

Congreso Nacional de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Mayab.

# CONIEEM

Abril de 2014



**MEMORIAS**

**ISSN 1665-0271**

# XIV CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA DEL MAYAB ABRIL 2014



## INSTITUCIONAL

- MC. Mirna Manzanilla Romero

**Encargada del Despacho de la dirección del  
Instituto Tecnológico de Mérida.**

- Dr. Alma Rosa Centurión Yah

**Subdirectora Académica.**

- MC. Jorge Carlos Canto Esquivel

**Jefe del departamento de la Ingeniería Eléctrica  
y Electrónica.**

- Ing. Iván Manuel Gil Domínguez

**Presidente de Academia de Ingeniería  
Electrónica.**

- Ing. Artemio Alpizar Carrillo

**Presidente de Academia de Ingeniería Eléctrica.**

- MTE. Maria Margarita Álvarez Cervera

**Presidente de Academia de Ingeniería  
Biomédica.**

## INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MÉRIDA

### CONSEJO EDITORIAL

#### **Editores.**

- Dr. Carlos Alberto Lujan Ramírez
- MTE. Maria Margarita Álvarez Cervera.

#### **Coeditores.**

- Br. Ricardo Orlando Álvarez Gamboa.
- Br. Octavio Guerrero Martinez
- Br. Edgar Omar Solís Yam

## **COMITÉ DE ARBITRAJE**

**Dr. Arnulfo Alanis Garza; Instituto Tecnológico de Tijuana, Mexico**

Área técnica: Potencia y automatización

**Dr. Miguel Angel Lopez Ramírez; Instituto Tecnológico de Tijuana, Mexico**

Área técnica: Potencia y automatización

**MTE. Margarita Alvarez Cervera; Instituto Tecnológico de Mérida**

Área Técnica: Digitales, Tecnología Educativa

**Ing. Ivan Gil Domínguez; Instituto Tecnológico de Mérida**

Área Técnica: Comunicaciones

**Ing. Agustin Flores Novelo; Instituto Tecnológico de Mérida**

Área Técnica: Electrica

**Ing. Quirino Jimenez Domínguez; Instituto Tecnológico de Mérida**

Área Técnica: Control

**Dr. Carlos Lujan Ramírez; Instituto Tecnológico de Mérida**

Área Técnica: Digitales procesamiento de imágenes.

**Dr. Jesus Sandoval Gio; Instituto Tecnológico de Mérida**

Área Técnica: control

**Dra. Citlalih Yollohtli Alejandra Gutierrez Instituto Tecnológico de Toluca**

Áreas Técnicas: la Ingeniería de Software, el Procesamiento de Lenguaje Natural, Inteligencia Artificial y Robótica. CIT

**Dr. Sergio Díaz Zagal; Instituto Tecnológico de Toluca**

Áreas técnicas: Circuitos Microelectrónicos y Microsistemas, con la aplicación a: "Concepción de un mini actuador a músculo artificial. Aplicación a la robótica médica, Maestro en Ciencias en Ciencias Computacionales, e Ingeniero en Electrónica.

**ISC Felipe Alfonso Ordoñez García, M.C.; Cd. Guzman**

Área Técnica: computación

**Dr. Julio Ramírez V.; Tecnológico de Nogales,**

Área Técnica: redes neuronales e inteligencia artificial

**MC. José Agustín Hernández Benítez; Instituto Tecnológico de Mérida**

Área Técnica: Telecomunicaciones

## Contenido

1. SISTEMAS DE CONTROL.....	7
1.1 “SISTEMA DE CONTROL DE ACCESO Y REGISTRO DE USUARIOS A LA BIBLIOTECA DEL ITM” ...	7
1.2 PLATAFORMA EN LABVIEW USADA COMO UN DISPOSITIVO DE CARACTERIZACIÓN AUTOMÁTICA EN UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS CONTROLADO POR UN FPGA. ....	17
1.3 CONTROL INVERSO NEURODIFUSO APLICADO A UN PROTOTIPO DE CONTROL DE CAUDAL.	29
1.4 CONTROL DE MOTOR DC MEDIANTE EL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN CAN CON INTEGRADOS DE LA FAMILIA DSPIC30F DE MICROCHIP. ....	39
1.5 DISEÑO DE UN CONTROLADOR DIFUSO DE 25 REGLAS EN LAS PLATAFORMAS MATLAB SIMULINK Y LABVIEW. ....	52
2. AUTOMATIZACIÓN .....	63
2.1 ACTUALIZACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL REGISTRO Y ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD MOTORA EN RATAS IMPLEMENTANDO COMUNICACIÓN ETHERNET, BLUETOOTH, Y ESCRITURA EN MEMORIAS FLASH USB. ....	63
2.2 PROPUESTA DIDÁCTICA DE BANDA TRANSPORTADORA AUTOMATIZADA PARA AUTOEQUIPAMIENTO. ....	71
3. BIOMEDICA.....	78
3.1 DISEÑO DE UN MÓDULO INALÁMBRICO PARA EL REGISTRO DE ACTIVIDAD CARDIACA Y MEDICIÓN DE FRECUENCIA RESPIRATORIA CON SENSORES DE MOVIMIENTO. ....	78
3.2 DISEÑO DE UN SISTEMA INALÁMBRICO VERSÁTIL PARA LA ADQUISICIÓN DE SEÑALES ELECTROMIOGRÁFICAS DE ALTA DENSIDAD.....	90
3.3 AVANCES EN EL DISEÑO DE LA ESTACIÓN BASE DE UN SISTEMA TELEMÉTRICO MULTICANAL PARA LA MEDICIÓN DE LA ACTIVIDAD CEREBRAL EN RATAS.....	100
3.4 LAMPARA LED DE FOTOTERAPIA PARA NEONATOS.....	113
3.5 AUTOMATIZACIÓN DE UN MICROSCOPIO ÓPTICO PARA LA DIGITALIZACIÓN DE IMÁGENES. .....	129
3.6 AVANCES EN EL DISEÑO DE LA ESTACIÓN BASE DE UN SISTEMA TELEMÉTRICO MULTICANAL PARA LA MEDICIÓN DE LA ACTIVIDAD CEREBRAL EN RATAS.....	137
4. COMPUTACIÓN E INGENIERÍA DE SOFTWARE .....	149
4.1 IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE REGISTRO DE ASISTENCIA A EVENTOS. ....	149
4.2 LA INGENIERÍA DE SISTEMAS APLICADA A LA AUTOMATIZACIÓN DE CONTROL DE HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA EN EL INTERIOR DE UN INVERNADERO. ....	160
4.3 MEDICAL SMART. ....	170
4.4 SISTEMA PARA SEGUIMIENTO PERSONALIZADO EN EL CONTROL DE RUTINAS DE UN GIMNASIO. ....	180

4.5 APLICACIÓN DE LA “TOP-DOWN NETWORK DESIGN METHODOLOGY” PARA EL DISEÑO DE LA RED DE COMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE CHETUMAL. ....	192
4.6 SISTEMA DE MENSAJERÍA INTERNA EMPRESARIAL. ....	199
4.7 LA METODOLOGÍA AGILE EN EL DESARROLLO DE SOFTWARE PARA MODELADO DE YACIMIENTOS PETROLEROS: UN CASO DE ESTUDIO.....	209
4.8 ANÁLISIS DE APLICACIONES MÓVILES ORIENTADAS A VENTAS PARA LAS PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS. ....	217
4.9 DESARROLLO DE APLICACIONES DE SOFTWARE MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DEL PROCESO DE DESARROLLO ÁGIL SCRUM Y EL PROCESO DE DESARROLLO TRADICIONAL RUP. ....	222
4.10 SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE AULAS Y DISTRIBUCIÓN DE HORARIOS. ....	233
4. 11 AUDITORÍA DE SEGURIDAD INFORMÁTICA UTILIZANDO UN SMARTPHONE.....	240
4.12 ESQUEMA DE SEGURIDAD CONTRA ATAQUES DOS Y DDOS.....	249
4.13 INVESTIGANDO ACERCA DE LA COMPUTACIÓN EN LA NUBE: LECCIONES APRENDIDAS DESDE UNA PERSPECTIVA TECNOLÓGICA Y EMPRESARIAL. ....	257
5. USO EFICIENTE DE ENERGÍA.....	263
5.1 “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR DE BAJO COSTO EMPLEANDO TUBOS CAPILARES. ....	263
6. ELÉCTRICA.....	269
6.1 COMPORTAMIENTO DEL GENERADOR EÓLICO DE INDUCCIÓN TIPO JAULA DE ARDILLA ANTE FALLAS EN LA RED. ....	269
6.2 AUDITORIA ELÉCTRICA EN ESPACIOS PÚBLICOS DE RECREACIÓN. ....	281
7. SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA.....	293
7.1 IMPLEMENTACIÓN DE LABORATORIO VIRTUAL EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CAMPECHE PARA LA CARACTERIZACIÓN DE SEÑALES OBTENIDAS DE UN SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA. ....	293
8. BIOELECTRONICA.....	304
8.1 ETAPA DE INTERFAZ DE USUARIO EN SISTEMA DE RADAR ARMÓNICO. ....	304
9. INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	315
9.1 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AMBULATORIO DE ADQUISICIÓN, REGISTRO Y ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA CARDIACA EN ESTADO DE REPOSO IMPLEMENTADO ....	315
9.2 SÍNTESIS DE UN SISTEMA DE MONITOREO DEL CONSUMO ELÉCTRICO IMPLEMENTADO EN UN DISPOSITIVO MÓVIL. ....	323
10. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES Y SEÑALES.....	330
10.1 VARIANTES EN LA DETECCIÓN DE BORDES UTILIZANDO EL OPERADOR DE PREWITT. ....	330

10.2 Evaluación de características en el dominio del tiempo como indicadores de la fatiga muscular en señales de EMG. ....	339
11. SEMICONDUCTORES, DISEÑO DE CIRCUITOS ANÁLOGOS Y SISTEMAS DIGITALES. ....	350
11.1 EFECTO DEL $ZnSO_4$ EN LA PREPARACIÓN POR BAÑO QUÍMICO DEL SEMICONDUCTOR ZnS. ....	350
11.2 ZnS FILMS DEPOSITED BY CHEMICAL BATH: EFFECTS OF THE ANNEALING PROCESS. ....	358
11.3 “ESTABLECIMIENTO DE UNA COMUNICACIÓN ENTRE UN MICROCONTROLADOR Y UN GLUCÓMETRO CONVENCIONAL”. ....	364
Interpretación de la respuesta del glucómetro .....	368
12. TECNOLOGÍA EDUCATIVA.....	371
12.1 “DESARROLLO E IMPLEMENTACION DEL TALLER DE LECTURA EN VOZ EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MÉRIDA” .....	371
13. TELECOMUNICACIONES. ....	384
13.1 Análisis descriptivo y funcional de las unidades básicas involucradas en un terminal óptico aplicado en una red de transmisión de datos. ....	384
13.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR FIBRA ÓPTICA PARA LA OBTENCIÓN DE SEÑALES RAMAN EN MUESTRAS LÍQUIDAS. ....	393
13.3 DESARROLLO DE UN GENERADOR DE TRÁFICO SINTÉTICO DE VoIP.....	400
13.4 ANÁLISIS MODAL DE PROPAGACIÓN DE SEÑALES ELECTROMAGNÉTICAS EN DUCTOS DE AIRE ACONDICIONADO.....	408
13.5 ANÁLISIS DEL TIEMPO DE TRANSMISIÓN DEL CAN DEPENDIENDO DE LA LONGITUD DEL BUS. ....	420

## 1. SISTEMAS DE CONTROL

### 1.1 “SISTEMA DE CONTROL DE ACCESO Y REGISTRO DE USUARIOS A LA BIBLIOTECA DEL ITM”.

Ing. Melo García Jacqueline, MTE. Álvarez Cervera María Margarita.  
Br. Borjas Martínez Leopoldo, Br. Solís Yam Edgar Omar, Br. Leyva Chan José Alfredo  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MÉRIDA

[jmelogitm@hotmail.com](mailto:jmelogitm@hotmail.com), [malvarez@itmerida.mx](mailto:malvarez@itmerida.mx), [LeopodoBorjas@hotmail.com](mailto:LeopodoBorjas@hotmail.com),  
[raqdesy\\_1988@hotmail.com](mailto:raqdesy_1988@hotmail.com), [jalc419@hotmail.com](mailto:jalc419@hotmail.com).

#### RESUMEN.

El "Sistema de control de acceso y registro de usuarios a la biblioteca del ITM". Como su nombre lo indica, nace con la necesidad de tener un control más exacto de los usuarios de la biblioteca del instituto Tecnológico de Mérida; para así recabar información para su análisis mediante un sistema de estadísticas, utilizando bases de datos de todos los usuarios.

El sistema cuenta con un Software de registro, el cual se encarga de generar una nueva base de datos donde se indicará el horario de entrada y salida de los visitantes; indicando si son docentes, alumnos de ingeniería, alumnos de maestría, en curso de titulación, visitantes ajenos a la institución, así como el área que visitarán durante su estancia.

El acceso al área, tanto en la entrada como en la salida cuenta con una barrera que se abrirá automáticamente cuando el usuario se haya registrado.

#### ABSTRACT.

The "access control system and user registry to the ITM library." As its name implies, is born with the need for more precise control of the users of the library of the Merida Institute of Technology; with the purpose of gather information for analysis by a statistical system, using a databases of all users.

The system has a logging software which is responsible for generating a new database where the time of entry and exit of visitors indicating whether they are teachers, students of engineering, master's students, in degree course, visitors outside the institution as well as the area you will visit during your stay.

Access to the area, both the inlet and outlet have a barrier that opens automatically when the user is registered.

#### 1. CARACTERÍSTICAS Y ELEMENTOS FÍSICOS.

El sistema cuenta con las siguientes características y elementos físicos: computadora, Scanner de código de barras, barrera que delimita el acceso o salida, botón de paro de emergencia, y un No-Break:

Computadora.- El sistema cuenta con una computadora, donde está instalado el Software de registro. El monitor muestra la interfaz gráfica del programa, así como las herramientas del



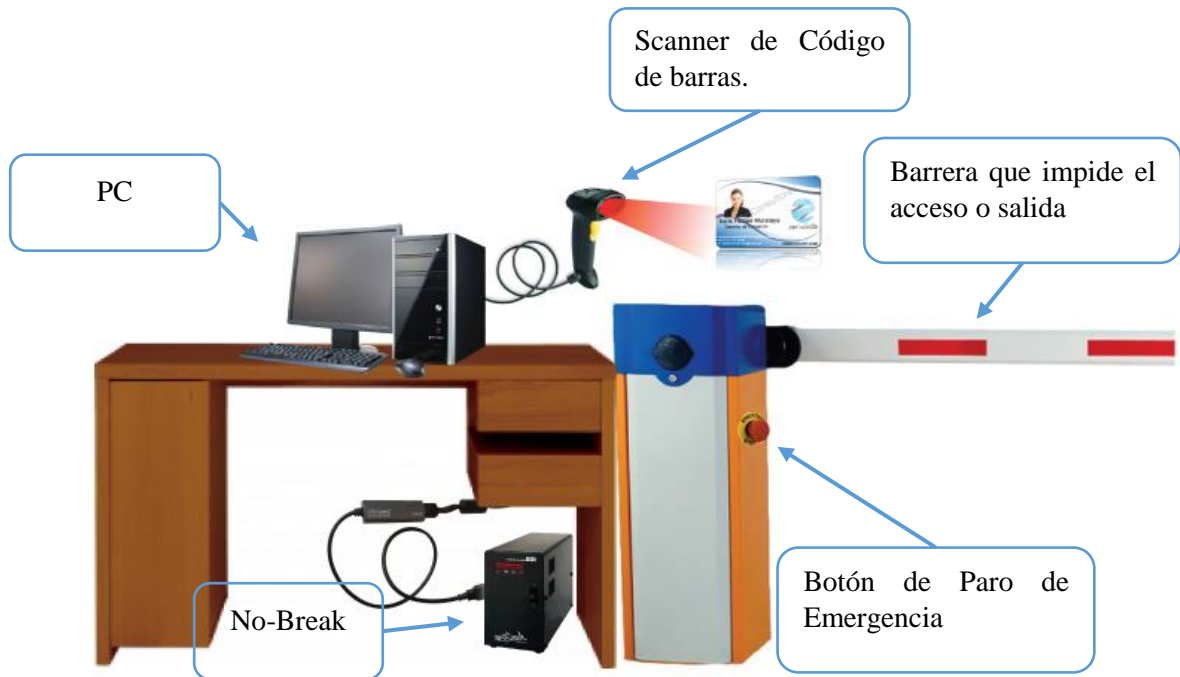
administrador. Los registros quedan guardados en su disco duro y el administrador puede acceder a ellos con facilidad.

Scanner de código de barras.- Para mayor comodidad de los usuarios el sistema cuenta con un scanner de códigos de barras; dentro del código se tienen todos los datos necesarios para el registro y el posterior acceso a la zona delimitada. Dejándole al usuario colocar sólo el área a la que se dirige.

Barrera.- Para que todos los usuarios queden debidamente registrados, se tiene una barrera que delimita el acceso; una vez capturado todos los datos, la barrera da acceso automáticamente al usuario. Ésta barrera cuenta con un conjunto de sensores para su correcto funcionamiento. Se abrirá y cerrará de manera automática.

Botón de Paro de Emergencia.- Ya que la barrera representa un obstáculo en la salida como en la entrada, se le colocó un botón de emergencia que abre la barrera en caso de algún percance.

No-Break.- Es otra medida de seguridad, ya que en caso de algún fallo eléctrico, la batería del No-Break da tiempo suficiente para dejar abierta la barrera y apagar el equipo de cómputo o hasta que se restablezca la energía eléctrica.



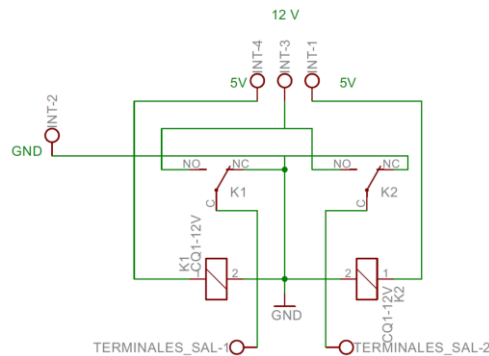
**Figura 1. Caricaturización del Sistema. Componentes físicos del sistema de control de acceso y registro de usuarios a la biblioteca del ITM.**

El sistema cuenta con una serie de sensores ubicados en la parte de la pluma de acceso, éstos delimitan su apertura; el motor se apaga al llegar a 90° para permitir el acceso y a 45° para delimitarlo. En la base metálica se tiene un sensor ultrasónico que da la señal al microcontrolador para bajar la pluma hasta el momento que el usuario haya accedido completamente a las instalaciones, mientras el sensor ultrasónico se encuentre obstruido, la barrera de acceso no se cierra.

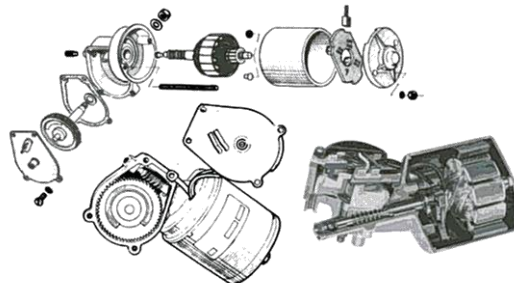
## 2. DESCRIPCIÓN MECÁNICA DEL SISTEMA.

Motor: El motor utilizado en ambos sistemas ya sea en la de entrada o la salida, es un motor a pasos, utilizado en automóviles para función de limpiaparabrisas. Este tipo de motores tiene la ventaja que trabaja con una tensión de 12V de Corriente Directa. Maneja una corriente de 11 A. Para darle la fuerza necesaria al embobinado para mover los engranes que contiene en su interior.

Este motor cuenta con una serie de engranes para darle el torque suficiente para mover la barrera de acceso utilizada en el sistema. Este motor será manejado por el sistema para darle el giro suficiente en cualquiera de sus dos lados, este motor permite el giro tanto para la derecha así como para la izquierda; para realizar ésta función del cambio de giro se implementó un puente H hecho con relevadores; el puente H recibe una señal del arduino según como se quiera hacer el giro del motor; sea a la izquierda o a la derecha.



**Figura 2. Esquema electrónico del puente H con relevadores**



**Figura 3. Partes internas del motor limpiaparabrisas**

Gabinete: En el sistema fueron utilizados una serie de materiales metálicos para darle la suficiente dureza y estabilidad al sistema ya que tendrá que ir fijado para mayor durabilidad una vez que se ponga en uso.

El gabinete fue hecho con metales soldados para darle rigidez al mismo, en él se fijó el motor en uno de los costados donde quedara el acceso. Se utilizaron medidas establecidas para que no perjudiquen el paso de los usuarios.



Figura 4. Motor montado en la estructura metálica (Gabinete).

Barrera de acceso: La barrera de acceso también fue diseñada con el mismo material metálico del gabinete cumpliendo una medida óptima para el acceso de personas con alguna discapacidad motriz por ejemplo.

Para el primer prototipo se decidió utilizar una barrera tipo pluma, parecida a las de acceso vehicular.

### 3. SOFTWARE DE REGISTRO.

El Software fue programado en JAVA para una mejor comunicación serial con el microcontrolador arduino que es el que se utiliza para la etapa de control.

El software toma registro de la hora de entrada y hora de salida de los usuarios (alumnos, docentes, postgrado, etc.) de la biblioteca del ITM, al igual toma el registro del área a la que piensan visitar.

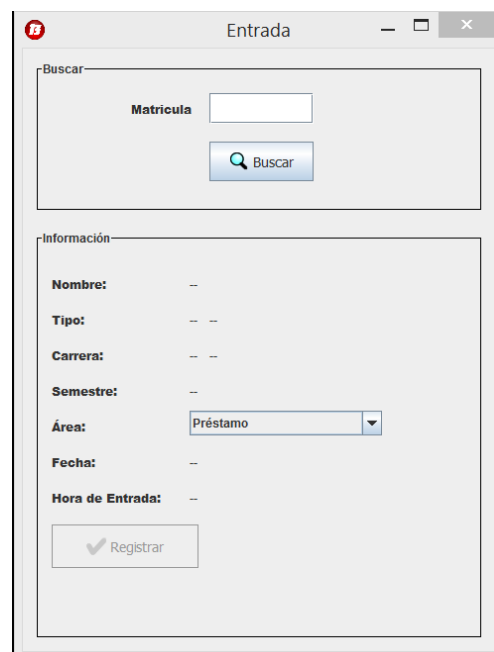


Figura 5. Interfaz gráfica del Software para el registro de entrada.

Para la entrada, el usuario debe de registrar su número de matrícula en caso de ser estudiante o su número de expediente si es docente o empleado. Sus datos personales aparecerán de forma automática ya que se toman de una base de datos precargada en el sistema; Sólo les queda seleccionar el área a la que se dirigen de una lista desplegable, al momento de dar en el botón registrar y si es un usuario válido se abre la barra de acceso y queda registrado su nombre, que clase de usuario es, de que carrera, semestre que cursa actualmente, área a la que se dirige, fecha y hora a la que ingresó.

Ya que la mayoría de los usuarios de la biblioteca del ITM, son alumnos y para optimizar el registro, se hace uso de los credenciales de los alumnos ya que éstas cuentan con un código de barras que contiene como información la matrícula del alumno; para leer esta información, el sistema cuenta con un lector de códigos de barras; volviendo el proceso de registro un poco más rápido.

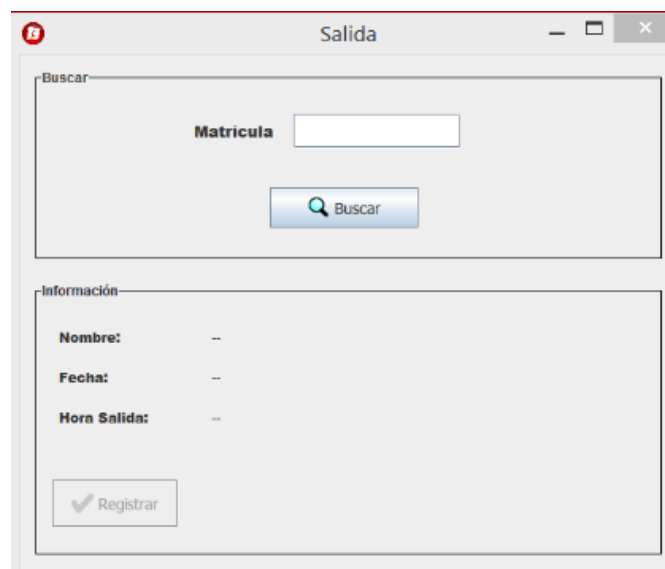
El escáner “lee” los códigos de barra, fijándose tanto en las líneas negras, como en el tamaño y espacios en blanco entre las barras. El decodificador revisa el número y transmite la información correspondiente sobre el artículo a la computadora en formato de texto. [1]

Existen escáneres fijos y de mano; éstos son muy utilizados en los puntos de ventas de los supermercados.

Tienen diferentes medios de conexión, actualmente por USB, BlueTooth y WiFi, los más viejos contaban con puertos seriales, PS2 del teclado por medio de algún adaptador; cuando se pasa un código de barras por el lector es como si se hubiese escrito en el teclado la información que contiene el código.

Los códigos de barras son leídos pasando un punto de luz sobre el símbolo del código de barras.

Para la salida, simplemente será necesario digitalizar el número de matrícula del alumno o el número de expediente del docente o empleado; si es una salida válida el sistema abrirá la barrera que delimita la salida para que el usuario pueda salir de las instalaciones; al igual que la entrada, la salida contará con su respectivo scanner de códigos de barras.



**Figura 6. Interfaz gráfica del Software para el registro de Salida.**

### 3.1 ADMINISTRACIÓN DEL SOFTWARE DE REGISTRO.

El Software de registro, cuenta con su respectiva área de administración; para ello hay que iniciar sesión con un nombre de usuario y una contraseña, existe un usuario y contraseña maestro para el software, pero desde el panel de administrador se pueden agregar nuevos usuarios.



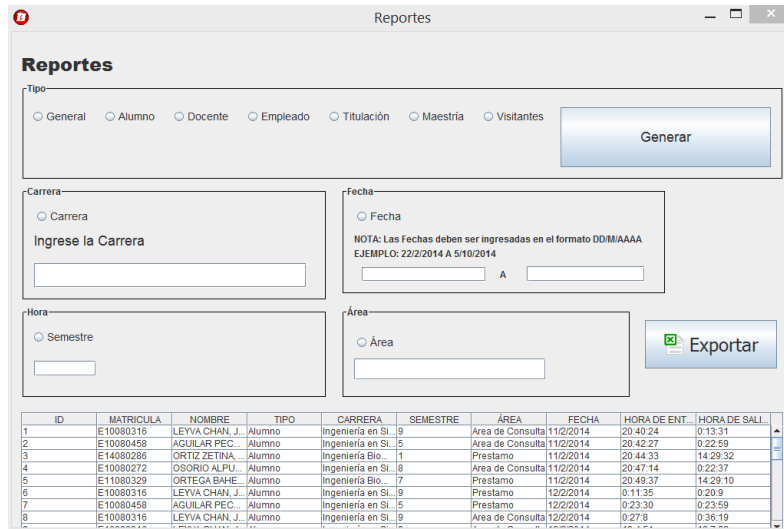
**Figura 7. Interfaz gráfica del Software para entrar al panel de administrador.**

En el panel de administrador, se pueden editar/agregar las áreas a visitar, editar/agregar administradores, editar visitantes y generar los reportes en Microsoft Excel.



**Figura 8. Interfaz gráfica del Software que muestra las herramientas del administrador.**

La herramienta del administrador más importante es la de los Reportes, ya que ésta es la que cumple con el objetivo principal del sistema, que es obtener estadísticas de todos los usuarios de la biblioteca del ITM. Los reportes que se generan son por tipo (estudiante, docentes, postgrado, etc.), por área que se visita, por semestre de los alumnos, por carrera y por rango de fechas, en donde se muestra la cantidad y quienes fueron los usuarios que ingresaron y la hora y salida a la que ingresaron al igual que el semestre y la carrera.



**Reportes**

Tipo:  General  Alumno  Docente  Empleado  Titulación  Maestría  Visitantes

Carrera:  Carrera  
Ingrese la Carrera:

Fecha:  Fecha  
NOTA: Las Fechas deben ser ingresadas en el formato DD/MM/AAAA  
EJEMPLO: 22/2/2014 A 5/10/2014  
 A

Hora:  Semestre

Área:  Área

ID	MATRICULA	NOMBRE	TIPO	CARRERA	SEMESTRE	ÁREA	FECHA	HORA DE ENT.	HORA DE SALI.
1	E10080316	LEYVA CHAN, J.	Alumno	Ingeniería en SI.	9	Área de Consulta	11/2/2014	20:40:24	0:13:31
2	E10080458	AGUILAR PEC.	Alumno	Ingeniería en SI.	5	Área de Consulta	11/2/2014	20:42:27	0:22:59
3	E14080289	ORTIZ ZETINA, J.	Alumno	Ingeniería Bio.	1	Prestamo	11/2/2014	20:44:33	14:29:32
4	E10080272	OSORIO ALFU.	Alumno	Ingeniería en SI.	8	Área de Consulta	11/2/2014	20:47:14	0:22:37
5	E11080329	ORTEGA BAHE.	Alumno	Ingeniería Bio.	7	Prestamo	11/2/2014	20:49:37	14:29:10
6	E10080316	LEYVA CHAN, J.	Alumno	Ingeniería en SI.	9	Prestamo	12/2/2014	0:11:35	0:20:9
7	E10080458	AGUILAR PEC.	Alumno	Ingeniería en SI.	5	Prestamo	12/2/2014	0:23:30	0:23:59
8	E10080316	LEYVA CHAN, J.	Alumno	Ingeniería en SI.	9	Área de Consulta	12/2/2014	0:27:8	0:36:19

**Figura 9. Interfaz gráfica del Software que muestra la herramienta “Reportes” del administrador.**

En la interfaz que se muestra en la figura 10, se observa la herramienta del administrador que genera los reportes según los datos que se quieran obtener; se puede obtener el reporte por intervalo de fechas o por área de visitas por mencionar algunas. Cuenta con el botón para generar el reporte según lo deseado y para poder exportarlo en una hoja de cálculo de Microsoft Excel.

#### 4. ETAPA DE CONTROL.

La etapa de control es la parte vital del sistema, ésta nos permite poner protocolos de seguridad para evitar incidentes, ya que contará con sensores, así como un botón de paro de emergencia, ya que la barrera representa un obstáculo en la salida como en la entrada, éste botón abrirá la barrera en caso de algún percance.

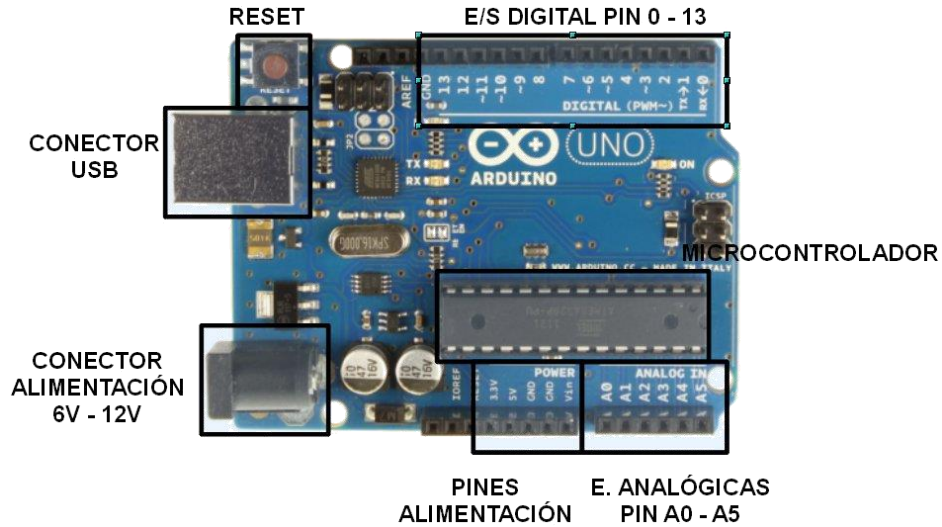
##### 4.1 MICROCONTROLADOR ARDUINO.

Es indispensable para el proyecto la etapa de la programación del microcontrolador para realizar el control de diferentes operaciones, para ello utilizaremos la tarjeta “Arduino”.

El Arduino Duemilanove ("2009") es una placa con microcontrolador basada en el ATmega168 o el ATmega328, Tiene 14 pines con entradas/salidas digitales (6 de las cuales pueden ser usadas como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un cristal oscilador a 16Mhz, conexión USB, entrada de alimentación, una cabecera ISCP, y un botón de reset. [2]

Se decidió usar como microcontrolador el Arduino, ya que el Software de registro fue programado con JAVA y el Software que maneja Arduino está hecho en base JAVA, así nos permite una fácil comunicación serial Computadora-Arduino, que nos servirá para mandar una señal que permita el abrir la barrera de acceso. Además de la facilidad de la programación.

El MC Arduino, recibe todas las señales de entrada de los sensores infrarrojos, ultrasónicos, así como mandar una señal al puente H para el respectivo movimiento del motor.



**Figura 10. Partes del Microcontrolador Arduino.**

**4.2 SENSORES.**

El sistema cuenta con una serie de sensores para mejor funcionamiento de éste. Cuenta un un par de sensores infrarrojos que delimitan la apertura de la barrera de acceso y un par de sensores ultrasónicos que servirá para sensar presencia y detectar obstrucciones mientras que la barrera de acceso esté abierta.

Sensor ultrasónica HC-SR04, es un sensor ultrasónico de bajo costo que no sólo puede detectar si un objeto se presenta, como un sensor PIR (Passive Infrared Sensor), sino que también puede sentir y transmitir la distancia al objeto. Ofrece una excelente detección son contacto (remoto) con elevada precisión y lecturas estables en un formato fácil de usar. El funcionamiento no se ve afectado por la luz solar o el mateial negro como telémetros ópticos. [3]

Por todo lo anterior, se decidió el el Sensor ultrasónico HC-SR04 es nuestra mejor opción según lo deseado en el sistema. La función del sensor ultrásonico es mandar la una señal al Arduino para cerrar la pluma de acceso, una vez que el usuario haya cruzado por completo la zona de la barrera, en caso de que el sensor ultrasónico siga persiviendo una opstrucción no dejará que cierra la barrera así evitando algún accidente.

En cuanto a los sensores inflarajos, solo nos serviran para limitar los ángulos de apertura de la barrera de acceso, ya que se utiliza un motor limpiaparabrisas con 360° de funcionamiento.



**Figura 11. Sensor Ultrasónico HC-SR04 Infrarrojo**



**Figura 12. Sensor**

Como se ha mencionado anteriormente, el sistema cuenta con un botón de paro de emergencia, que deshabilita todas las señales de los sensores y abre en automático la barrera de acceso para permitir el libre paso de los usuarios; siendo ésta una medida de seguridad indispensable para evitar accidente por algún percance que se ocurra dentro de las instalaciones de la biblioteca del ITM.

## 5. RESULTADOS OBTENIDOS.

Al implementar el sistema en la biblioteca, ha funcionado adecuadamente. Se ha cumplido con el objetivo de recabar información estadística de los usuarios de la biblioteca del ITM.

Todos los sensores funcionan de manera correcta, pues no se han presentado errores o accidentes que demuestren lo contrario.

La opinión de los usuarios es dividida, ya que entre algunos hay molestias al llevarles más tiempo ingresar a las instalaciones, mientras que otros no tienen problema alguno en esperar su registro para ingresar.

## 6. CONCLUSIONES.

Ya instalado el sistema de control de acceso y registro de usuarios a la biblioteca del ITM, se cumple con el objetivo principal del proyecto que es el recabar información de los usuarios al momento de ingresar a las instalaciones.

Y gracias a las herramientas del administrador del Software de registro, se pueden obtener las estadísticas de los usuarios de una forma sencilla para su análisis.

Contando con la información estadística que arroja el Software de registro, se pueden ir mejorando las áreas de la biblioteca de una forma jerárquica, así como pedir recursos para las áreas de mayor afluencia ya con datos fidedignos de los usuarios.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

[1] TRYENGINEERING. Todo sobre códigos de barras. [En línea] <[http://www.ieee.org/documents/Cracking\\_the\\_Code\\_Lesson\\_Plan%20Spanish.pdf](http://www.ieee.org/documents/Cracking_the_Code_Lesson_Plan%20Spanish.pdf)> [consulta: 10 Febrero 2014]

[2] ©2014 ARDUINO. Arduino Duemilanove. [En línea] <[http://arduino.cc/es/Main/arduinoBoardDuemilanove#.U0Xgq\\_I5PYk.html](http://arduino.cc/es/Main/arduinoBoardDuemilanove#.U0Xgq_I5PYk.html)> [Consulta: 14 Febrero 2014]

[3] Kevin Soria. Todo lo que tienes que saber sobre: HC-SR04 Sensor Ultrasónico. [En línea] <<http://bkargado.blogspot.mx/2013/09/todosobrehc-sr04.html>> [Consulta: 24 de Marzo de 2014]

## REFERENCIAS DE IMÁGENES.

**Figura 1.** Leopoldo Borjas Martínez. Diseño en Adobe illustrator. Caricaturización del Sistema. Componentes físicos del sistema de control de acceso y registro de usuarios a la biblioteca del ITM. (Fecha de actualización: 24 Marzo 2014)



Figura 2. Edgar O. Solis Yam. Esquema electrónico de puente H implementado con relevadores. 18 de Abril de 2014.

**Figura 3.** José Miguel Lunar Romero. Motor Limpiaparabrisas. Imagen tomada del sitio <<http://electroaut.blogspot.mx/2012/02/como-reparar-el-limpiaparabrisas.html>> (Fecha de actualización: 11 Abril 2014)

**Figura 4.** Edgar O. Solis Yam. Motor montado en la estructura metálica (Gabinete). Mérida Yucatán, México a 28 de Febrero de 2014.

**Figura 5.** José A. Leyva Chan. Captura de pantalla de la interfaz gráfica del registro de entrada del Software de registro. 18 de Abril de 2014.

**Figura 6.** José A. Leyva Chan. Captura de pantalla de la interfaz gráfica del registro de salida del Software de registro. 18 de Abril de 2014.

**Figura 7.** José A. Leyva Chan. Captura de pantalla de la Interfaz gráfica del Software para entrar al panel de administrador. 18 de Abril de 2014.

**Figura 8.** José A. Leyva Chan. Captura de pantalla de la Interfaz gráfica del Software que muestra las herramientas del administrador. 18 de Abril de 2014.

**Figura 9.** José A. Leyva Chan. Captura de pantalla de la Interfaz gráfica del Software que muestra la herramienta "Reportes" del administrador. 18 de Abril de 2014

**Figura10.** Platea. Partes del arduino. Imagen tomada del sitio <<http://platea.pntic.mec.es/~mhidalgo/edubasica/01arduino/01imgs/arduino01.jpg> >

**Figura11.** Zdenki. The HC-SR04 Ultrasonic Sensor. Imagen tomada del sitio <<http://www.ezdenki.com/ultrasonic.php>> (Fecha de actualización: 07 Mayo 2014)

**Figura 12.** 5Hertz Electrónica. Sensor infrarrojo rango largo Sharp SEN-08958. Imagen tomada del sitio < [http://5hertz.com/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=360](http://5hertz.com/index.php?main_page=product_info&products_id=360)>

## 1.2 PLATAFORMA EN LABVIEW USADA COMO UN DISPOSITIVO DE CARACTERIZACIÓN AUTOMÁTICA EN UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS CONTROLADO POR UN FPGA.

Luis Arceo-Miquel, Gerardo Moreno-López, Yuriy Shmaliy<sup>‡</sup>, Julián Félix, Mauricio Romero-López<sup>‡</sup>.

División de Ciencias e Ingenierías campus León (Universidad de Guanajuato, UG),  
División de Ingenierías campus Irapuato-Salamanca (UG)<sup>‡</sup>, Facultad de Ingeniería  
(Universidad Autónoma de Yucatán)<sup>‡</sup>.

Loma del Bosque No. 103 Col. Lomas del Campestre C.P. 37150, León, Gto.

Carretera Salamanca-Valle de Santiago Km 3.5+1.8 Comunidad de Palo Blanco C.P.  
36885, Salamanca, Gto.<sup>‡</sup>

Av Industrias no Contaminantes por Periférico Norte A.P. 150 Cordemex, Mérida,  
Yucatán. †.

[miquel@fisica.uqto.mx](mailto:miquel@fisica.uqto.mx), [gerardo@fisica.uqto.mx](mailto:gerardo@fisica.uqto.mx), [shmaliy@uqto.mx](mailto:shmaliy@uqto.mx), [felix@fisica.uqto.mx](mailto:felix@fisica.uqto.mx)  
[mromero@mda.cinvestav.mx](mailto:mromero@mda.cinvestav.mx)

**Área Técnica:** Control.

### RESUMEN.

Se construyó una tarjeta de adquisición de datos de un canal, de 10-bits a 100MHz (parámetros mínimos para aplicaciones en física de partículas), controlado por un FPGA, y ancilar de la tarjeta universal NEXYS2 de la manufactura DIGILENT. Para probar el funcionamiento de ésta y del firmware del FPGA se desarrolló un programa de caracterización en LabVIEW -que controla un generador de funciones, envía una señal de DC al sistema de adquisición de datos y lee la respuesta de éste y lo graba en un archivo de texto-. Se determinó que el ruido es aproximadamente de 8 mVpp, se depuró el código VHDL de la tarjeta NEXYS2 y el hardware de la tarjeta de adquisición de datos. Se proporcionan detalles de este método. Se recomienda este método para caracterizar otros dispositivos, usando instrumentos de medición con interfaz de computadora.

### INTRODUCCIÓN.

En el mercado existen muchas marcas y modelos de sistemas de adquisición de datos. Sin embargo, en algunas ocasiones por necesidad se requiere diseñar y construir un sistema que cumpla los requisitos de una aplicación particular; para después caracterizar éste.

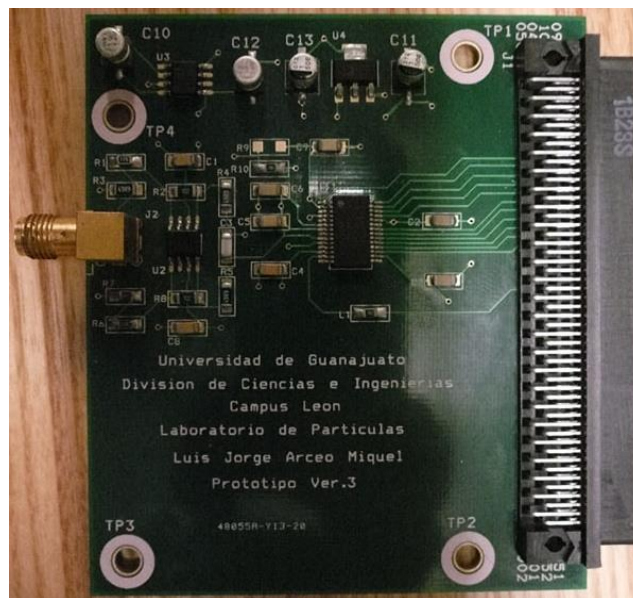
Para una aplicación particular en Física de Altas Energías se implementó un convertidor analógico a digital del modelo AD9214 de la manufactura Analog Device. Este sistema fue diseñado para una entrada analógica diferencial de 1 V o 2 V; con arquitectura Pipeline; y con salida digital configurable con Offset Binary (números positivos) o complemento a2 (números positivos y negativos) [1].

Al convertidor analógico a digital anterior se le incorporó un amplificador diferencial modelo AD8138 [2], con el objetivo de convertir una señal monopolar a diferencial, con una impedancia de

entrada a 50 ohms. Esos circuitos se ensamblaron en una sola tarjeta PBC, figura 1. Para capturar los datos de salida de ésta tarjeta PBC se requiere de un sistema electrónico digital que pueda hacer una interfaz a la computadora.

El problema planteado es acceder al convertidor analógico a digital AD9214 para leer su contenido, guardar la lectura hecha en 10 ns en una memoria FIFO hasta llenar 16 localidades y enviar el contenido completo de la memoria a la computadora. El sistema digital elegido es un FPGA de Xilinx, montado en la tarjeta de propósito universal NEXYS2 de la manufactura DIGILENT.

La tarjeta PBC de la figura 1 es ancilar de la NEXYS2 de DIGILENT. La simbiosis de estas dos tarjetas forma el sistema de adquisición de datos.



**Fig. 1.- Tarjeta PBC convertidora de señal analógica a digital de un solo canal a 100 MHz, formada con los circuitos AD9214 y AD8138.**

**DESARROLLO.**

Para caracterizar la tarjeta PCB se desarrollaron los tres pasos siguientes: primero, escribir el programa VHDL que se encarga del funcionamiento del sistema de adquisición de datos -que inicia la secuencia de conversión analógica a digital basado en un código ASCII @, guarda información en la memoria FIFO y envía los resultados de la digitalización a la computadora-. Segundo, montar el sistema experimental basado en un generador de funciones -configurado como fuente de voltaje en DC-, en el sistema de adquisición de datos y en una computadora. Tercero, programar en LabVIEW todas las funciones del sistema de experimental.

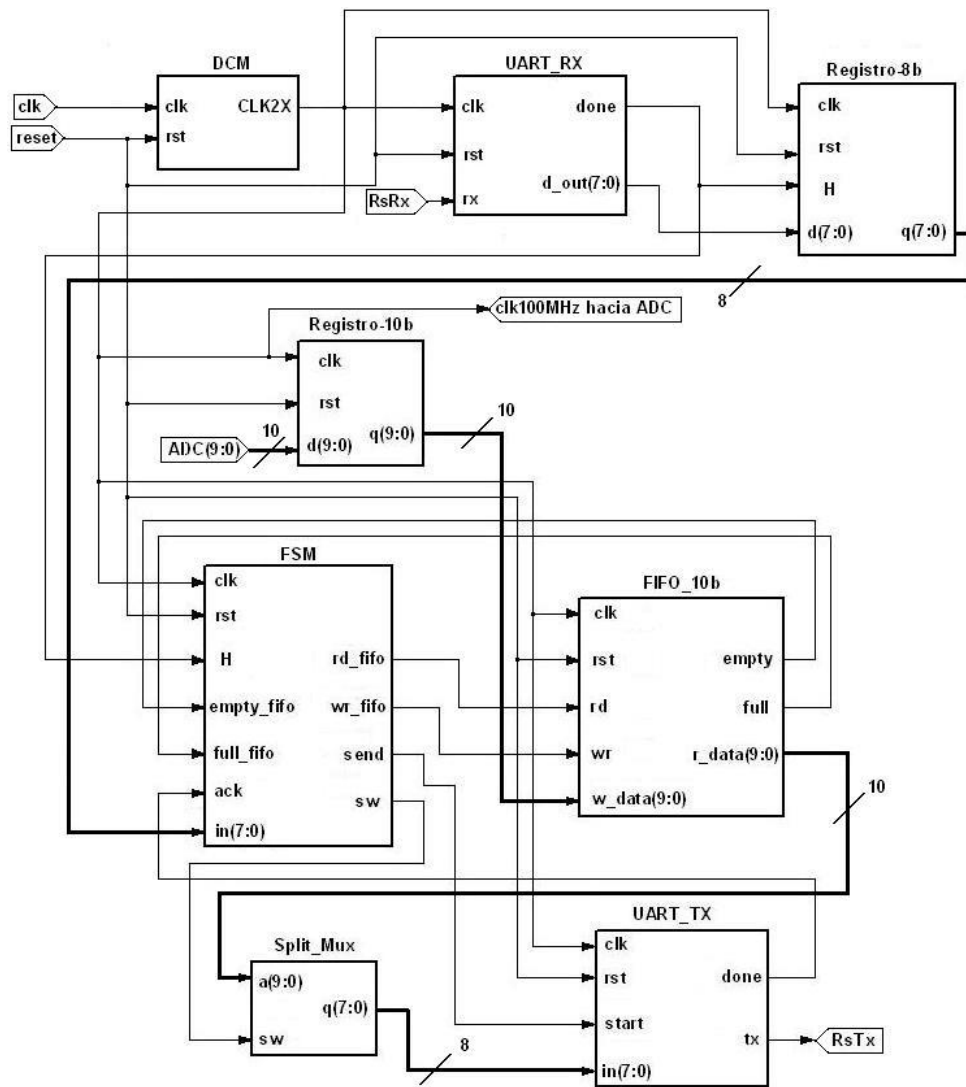
Todos estos pasos anteriores se explican con más detalle en las secciones siguientes.

**1.- Programa en VHDL (firmware controlador del sistema de adquisición de datos).**

Se compone de ocho módulos VHDL que se explican a continuación:

**Primer módulo. Registro-10b:** Funciona como sincronizador simple con borde de un disparo, esta técnica es muy sencilla y solamente hace uso de un elemento de memoria por cada entrada que se quiera sincronizar [3]. Al suministrarle los 100MHz de reloj al AD9214, se tiene que en el ciclo positivo (de 5 ns), el AD9214 se encuentra muestreando la señal de entrada, mientras que en el ciclo negativo tiene el resultado de la medición, listo para que el usuario pueda acceder la medición. Este módulo VHDL sostiene los datos del AD9214 en el ciclo negativo de la señal de reloj y los prolonga otros 5 ns (un ciclo completo de 10 ns). Este módulo trabaja permanente.

**Segundo módulo. FIFO\_10b:** se configura con un bus de entrada y salida de 10 bits, con una señal de reloj y señales de control en escritura y lectura. Funciona muy bien a 100 MHz. Si se mantiene la señal de control de escritura en estado alto durante cierto número de ciclos, la memoria FIFO grabará datos por cada ciclo (grabando cada 10 ns) hasta llenarse, activándose una bandera full. Este módulo se configuró con 16 localidades de memoria alcanzando hasta 512 localidades.



**Fig. 2. Diagrama a bloques del firmware en el FPGA.**

**Tercer módulo. DCM: (Digital Clock Manager):** utiliza la base de tiempo de 50 MHz de la NEXYS2 y la multiplica por dos, obteniendo 100 MHz; suministra esta señal a todos los módulos que componen el firmware y al convertidor analógico digital (ver figura. 2).

**Cuarto módulo. Split\_Mux:** selecciona los primeros ocho bits –de los menos significativos del AD9214- y luego selecciona los dos bits restantes del AD9214 y rellena seis bits con un estado cero lógico, obteniendo ocho bits. Como el estándar RS232 es de 8 bits (no se puede enviar 10 bits en una sola transmisión), en su lugar se requiere enviar dos mensajes de 8 bits.

**Quinto módulo. UART\_TX:** envía transmisiones de 8 bits de datos, es transparente para el usuario. Cuando se habilita la señal de control start automáticamente lee los datos, inserta el bit de inicio y el bit de parada y envía los ocho bits de datos a la computadora. Al terminar activa la bandera done. Tiene un “baud rate” de 115,200 Hz.

**Sexto módulo. UART\_RX:** Es el inverso del módulo UART\_TX, recibe primero el dato de ocho bits, elimina el bit de inicio y el bit de parada y activa la bandera done. Esta señal de control es monitoreada por el módulo FSM. Elimina el fenómeno Debouncing [4].

**Séptimo módulo. Registro\_8b:** es un registro de almacenamiento de 8 bits síncrono con habilitación.

**Octavo módulo. FSM (Finite-State Machine):** lleva el control de todos los módulos, funciona como un arbitrador; primero, se mantiene en un estado de espera. Cuando recibe un mensaje correcto de la computadora (@ en ASCII), sale del tiempo de espera y graba los datos por cada 10 ns provenientes del módulo Registro-10b hacia el módulo FIFO\_10b hasta llenarlo, luego envía los datos a la computadora (envía dos mensajes, primero los ocho bits menos significativos y luego los más significativos). Y el programa se reinicia.

## **2.- Montaje del sistema experimental.**

De la figura 3, la computadora (a) y el generador de funciones (d) se encuentran conectados a través de un cable USB, el programa LabVIEW configura el generador de funciones (d) a fuente de voltaje DC. La salida del generador de funciones (d) se encuentra conectada a la tarjeta PBC de adquisición de datos (c) con un cable coaxial de 50 ohms, el voltaje es introducido por el generador de funciones (d) y convertido a digital por la tarjeta PBC de adquisición de datos (c), conectada con la tarjeta FPGA NEXYS2 (b) vía conector Hirose FX2. La NEXYS2 (b) se conecta a la computadora (a) por un cable serial.

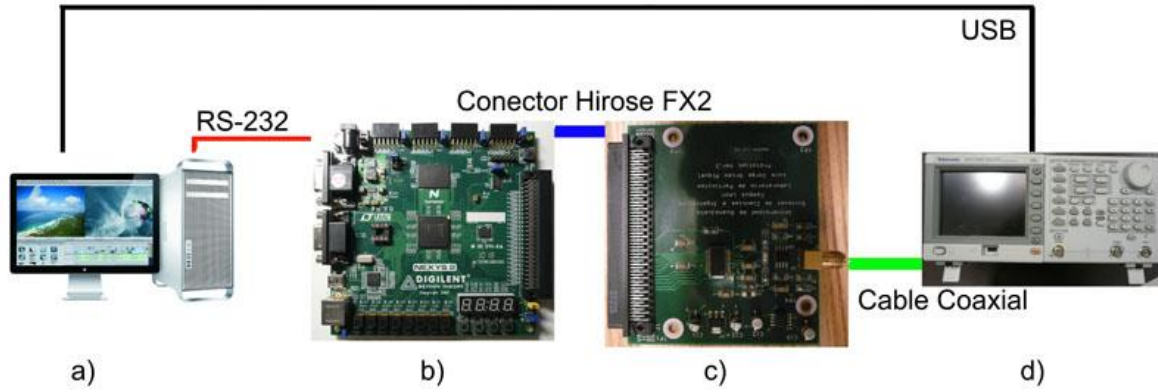


Fig 3.- Diagrama a bloques del dispositivo de caracterización.

En la figura 4 se exhibe el montaje del sistema experimental.

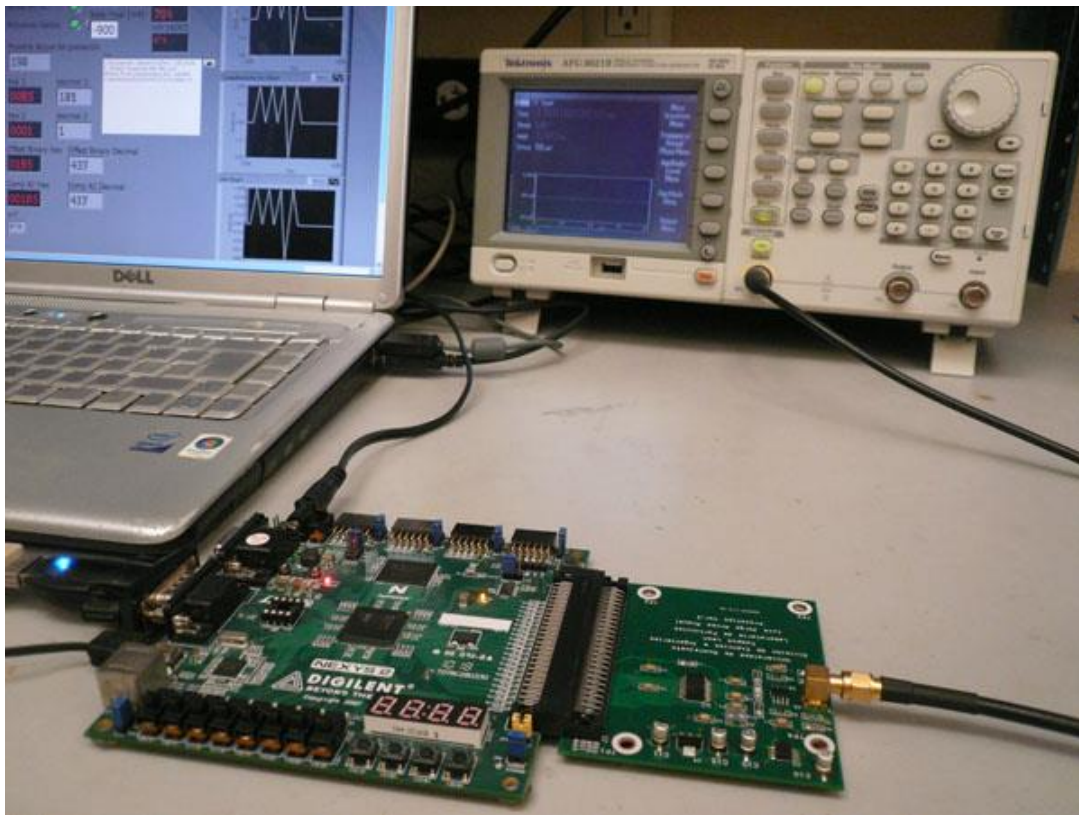


Fig. 4.- Sistema de caracterización montado.

### 3.- Caracterización automática del sistema de adquisición de datos.

Se introduce un barrido de voltaje DC desde 800 mV hasta -800 mV con decrementos de 1 mV al sistema de adquisición de datos módulos b y c de la figura 3 y se obtiene el valor correspondiente para ser enviado la computadora. El sistema de adquisición de datos completo requiere ser manejado como un dispositivo esclavo (basta con enviarle en código ASCII @, graba 16 muestras de la señal de entrada y las trasmite a la computadora), la fuente de voltaje requiere de una interfaz a computadora para ser manejado como esclavo (se utilizó el generador de funciones marca Tektronix, modelo AFG3101 [5]); la computadora es el único dispositivo maestro (ver figura 3).

### 4.- Programa en LabVIEW.

Los comandos de la tabla I se obtuvieron del manual de programación [6]; su propósito es la configuración del generador de funciones a fuente de voltaje CD. En la figura 5, el bloque (4) se compone del siguiente comando para cambiar el voltaje del AFG3130, **SOURce1: VOLTage: LEVel: IMMEDIATE: OFFSet[x] E-3, donde x es el voltaje** [6]. En el bloque (5), se programó un tiempo de espera de 250 ms para evitar cualquier transitorio en la señal, cuando es decrementado el voltaje del generador de funciones.

**Tabla I**

<b>Operación</b>	<b>Comando</b>	<b>Bytes de lectura</b>
Identificando Dispositivo	*IDN?	1
Deshabilitando el canal de salida	OUTPut:STATe off	X
Ajustando la Impedancia de Salida a 50 ohms	OUTPut:IMPedance 50E0	X
Seleccionando la forma de Onda	SOURce1:FUNCTion:SHAPe DC	X
Habilitando el canal de salida	OUTPut:STATe on	X

**Tabla I.- Comandos del Generador de Funciones AFG3130 para configuración.**

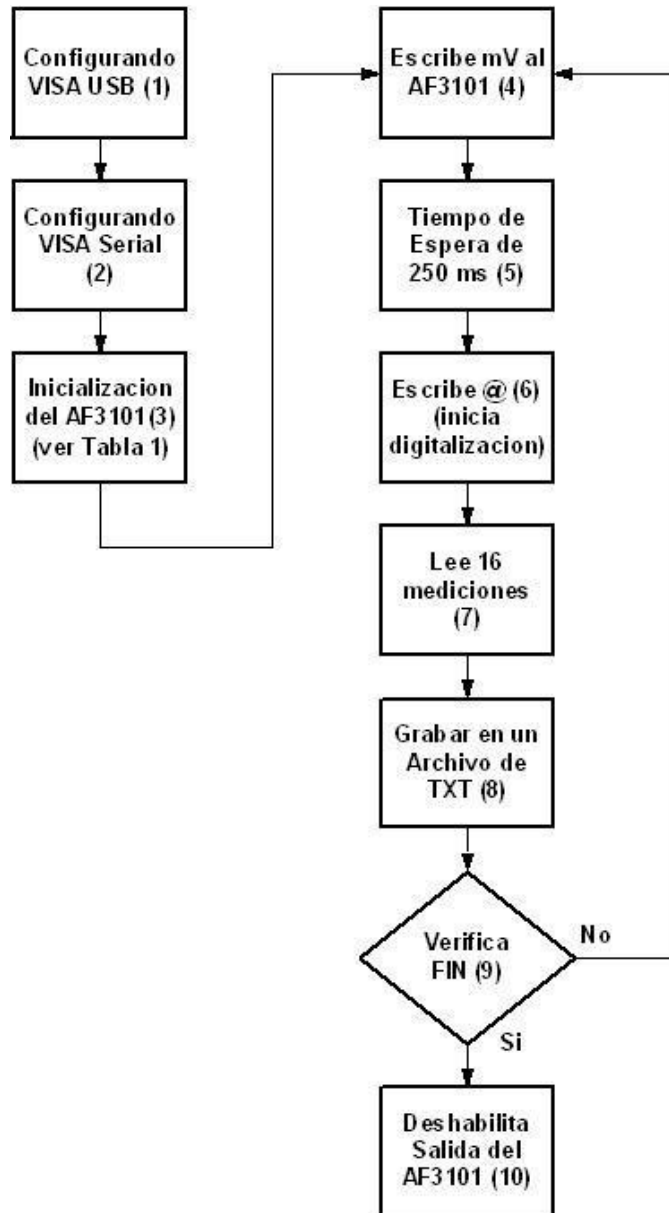


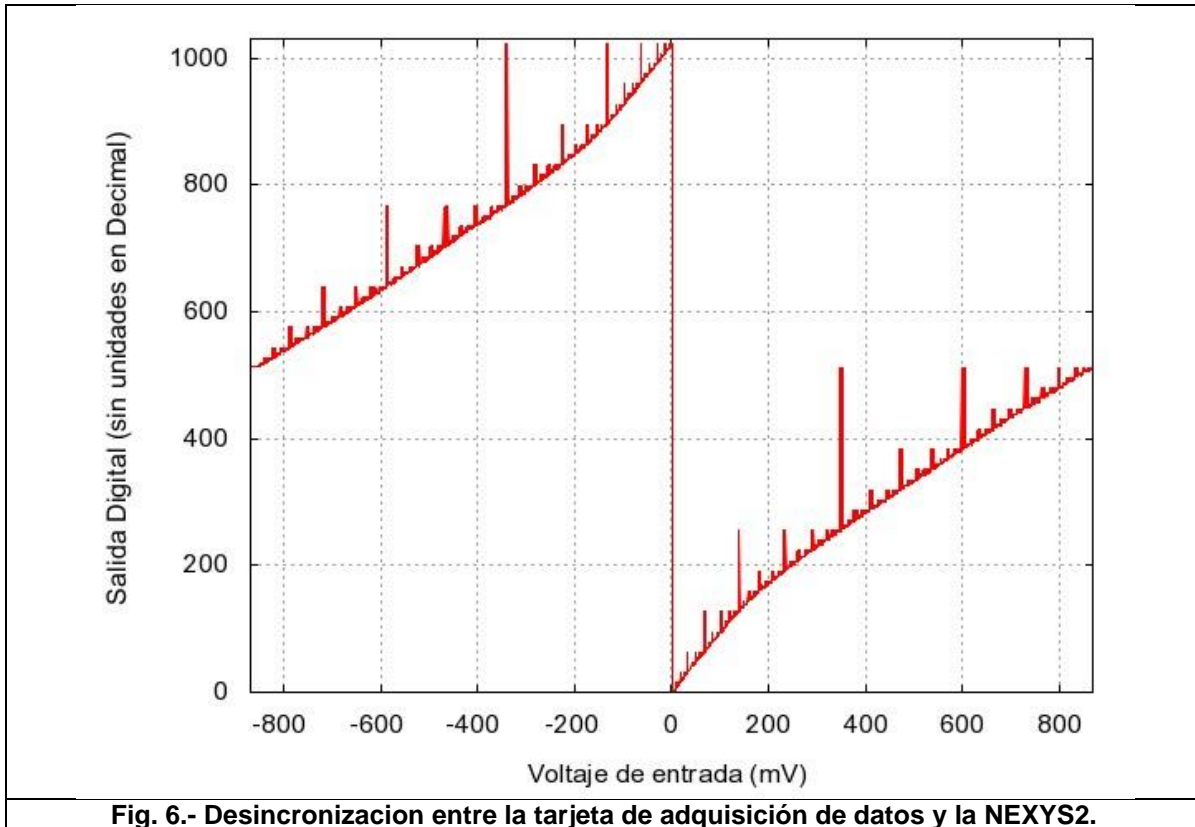
Fig. 5.- Diagrama a bloques del programa LabVIEW.

En el bloque (6), LabVIEW escribe el código ASCII @ para que el firmware del FPGA inicie el proceso de lectura del AD9214. En el bloque (7), el firmware del FPGA hace 16 mediciones del mismo voltaje de entrada y los envía a la computadora por el puerto serial. En el bloque (8), LabVIEW obtuvo sus 16 mediciones y los graba en un archivo de texto. En el bloque (9), LabVIEW verifica si terminó con el barrido en mV, si no ha terminado regresa al bloque (4). El bloque (10) es el final; deshabilita la salida del AF3101 y cierra los manejadores de instrumentos VISA.

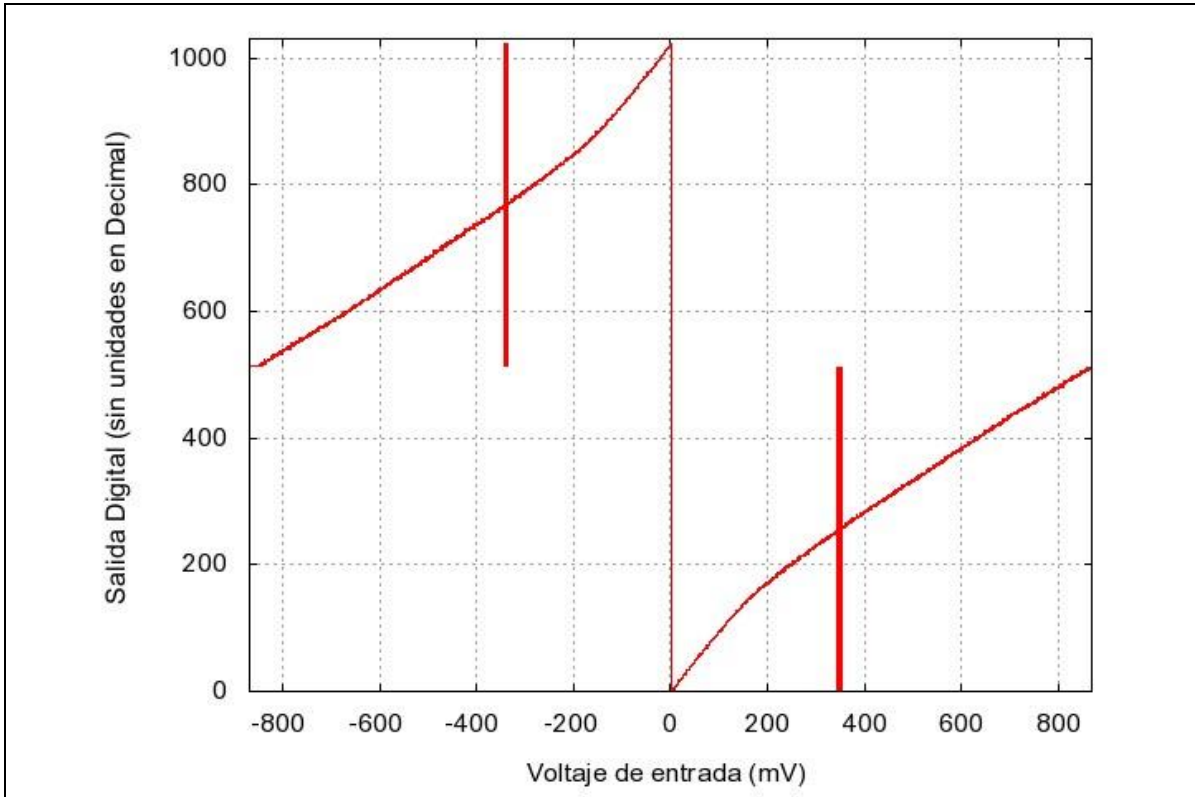


## RESULTADOS.

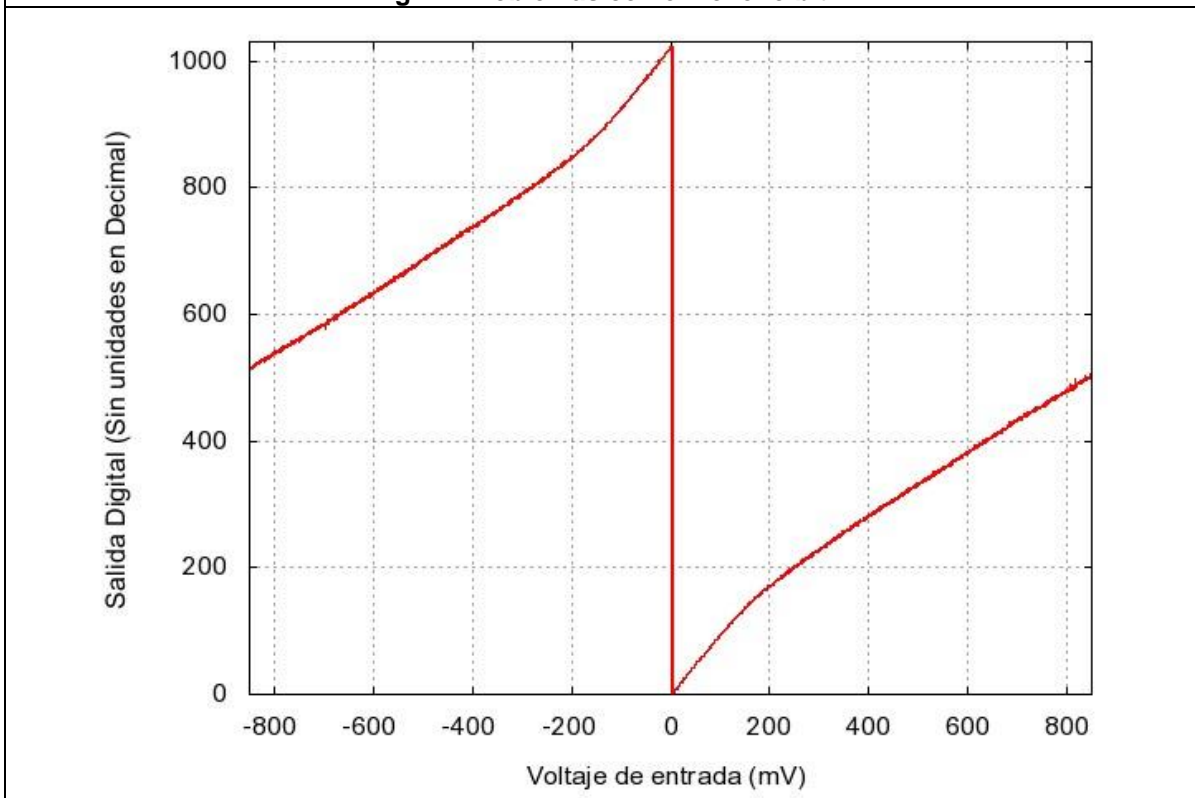
Se construyeron cinco versiones de la tarjeta de adquisición de datos. En las primeras dos versiones se obtuvo mucho ruido y fueron desechadas. La versión tres de la tarjeta fue diseñada para la Spartan3 [7]; la cuarta versión, para la NEXYS2 [8]; y la quinta, para la NEXYS3 [9] (los resultados de este trabajo son de la tarjeta NEXYS2).



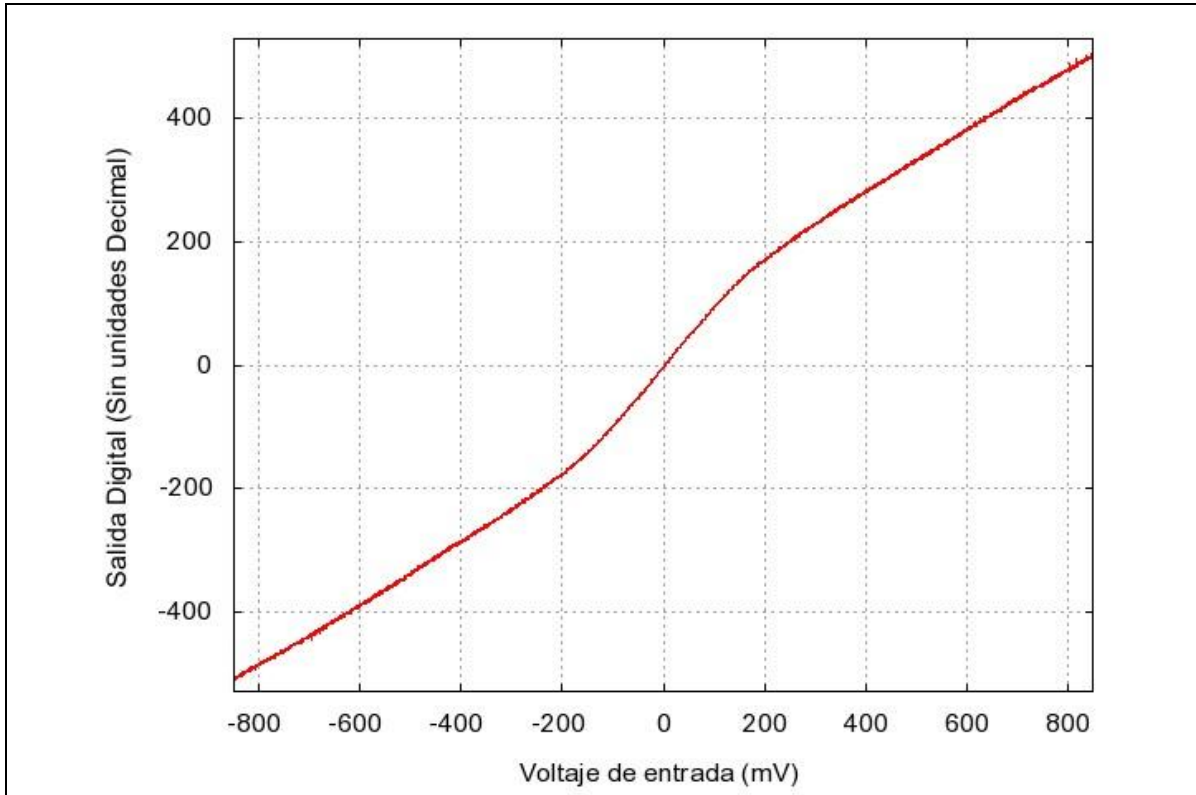
**Fig. 6.- Desincronización entre la tarjeta de adquisición de datos y la NEXYS2.**



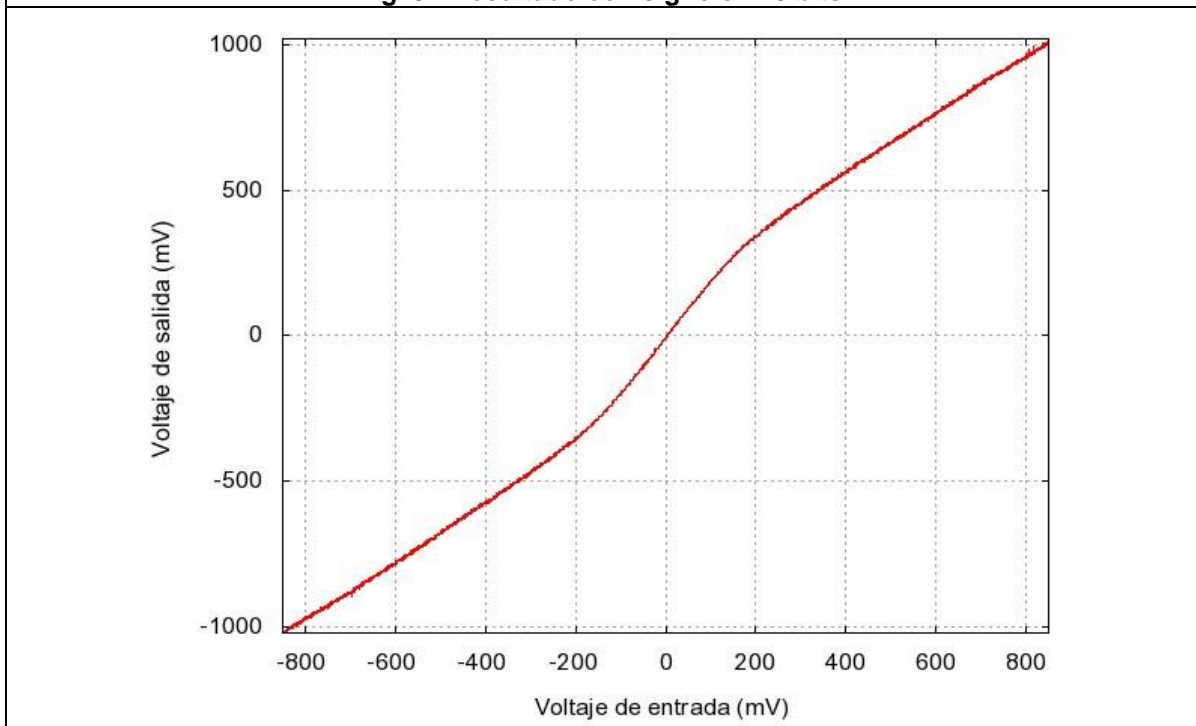
**Fig. 7.- Problemas con el noveno bit.**



**Fig. 8.- Resultados sin signo en 16 bits**



**Fig. 9.- Resultado con signo en 10 bits.**



**Fig. 10.- Aplicando escalamiento.**

### **1.- Resultado sin el módulo de sincronización Registro-10b.**

Originalmente, el programa de VHDL (ver figura 2), no contenía el módulo “Registro-10b”, la tarjeta de adquisición de datos estaba directamente conectado al módulo “FIFO-10b” y todos los módulos se configuraron para trabajar con el ciclo de subida obteniéndose los resultados de la figura 6.

Aparentemente es ruido, sin embargo, la tarjeta de adquisición de datos tiene dos fases de funcionamiento (muestreo y salida), durante la fase de muestreo la salida es inestable debido a que el inicio de la fase de salida en la tarjeta de adquisición y la lectura en el FPGA no coinciden; eso se veía como ruido, siendo más notable cuando había cambios en el noveno bit. Al cambiar la fase de reloj, se ajustó la sincronización de ambas tarjetas, corrigiendo estos errores.

### **2.- Resultado con habilitación del módulo de sincronización Registro-10b.**

Al habilitar el módulo de sincronización Registro-10b, se obtuvieron datos más limpios con dos sobretiros simétricos en -350 mV y 350 mV (ver figura 7). Revisando, los resultados, se observó que en realidad el noveno bit no se transmitía correctamente. Se depuró el módulo FSM que controla los módulos “Split-Mux” y “UART\_TX”.

### **3.- Resultado en la computadora sin signo en 16 bits.**

El sistema de adquisición de datos tiene una resolución de 10 bits, con una configuración fija de 2 volts de entrada y salida digital en complemento a2 en la figura 8, se observa la gráfica sin signo.

### **4.- Resultado en la computadora ajustando en 10 bits con signo.**

En la figura 9, se exhiben los resultados con signo; en LabVIEW se programo un objeto I10 (sólo hay disponible I8, I16, I32) el símbolo “I” significa “To Integer”. En LabVIEW, sólo fue necesario convertir los datos enviados por el sistema de adquisición de datos a binario y monitorear el décimo bit (ya que contiene el signo), si el décimo bit tiene el estado lógico de “0”, el objeto I10 lo deja pasar. Sin embargo, si el décimo bit tiene el estado lógico “1”, significa que el número es negativo, y el dato se le hace una resta de 1,024 y se le cambia el signo.

### **5.- Aplicando escalamiento.**

En la figura 9, se observan los datos obtenidos por el sistema de adquisición de datos con signo y en números enteros. Sin embargo, hay que aplicar un escalamiento y fue posible con una multiplicación. El dato binario “00 0000 0001” tiene un valor de 2 mV, para el dato binario “00 0000 0010” le corresponde un valor de 4 mV. De esta forma, se obtuvieron los resultados de la figura 10.

## **CONCLUSIONES.**

En la figura 10, se observa un error de digitalización: el amplificador diferencial no mantiene una ganancia unitaria, su salida diferencial se encuentra desbalanceada. Se recomienda cambiar las resistencias de montaje superficial al 1% de tolerancia.

Para que LabVIEW pueda reconocer datos binarios de 10 bits con signo (I10) en el programa de VHDL, el módulo "Split-Mux" en lugar de rellenar con seis bits del estado lógico cero, se puede rellenar con el valor actual del décimo bit.

Es muy recomendable diseñar y construir tarjetas de cuatro capas, hacer particiones de voltajes, y usar conectores SMA (son especiales para señales que se encuentran en 0-12.4 GHz) [10].

La caracterización es muy importante, ya que permite ver el desempeño del funcionamiento de un prototipo en desarrollo. También permite identificar si el hardware y el software tienen problemas de diseño. Por tal motivo, se recomienda este método para evaluar prototipos de adquisición de datos.

## REFERENCIAS.

- [1] AD9214: 10-Bit, 65/80/105 MSPS 3 V A/D Converter Data Sheet (Rev D, 02/2002).  
[http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD9214.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD9214.pdf)
- [2] AD8138: Low Distortion Differential ADC Driver Data Sheet (Rev F, 01/2006).  
[http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD8138.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8138.pdf)
- [3] René de Jesús Romero Troncoso, *Electrónica Digital y Lógica Programable*, (Universidad de Guanajuato, Salamanca), pg. 319, año 2007.
- [4] Pong P. Chu, *FPGA Prototyping by VHDL Examples*, (Wiley-Interscience a John Wiley & Sons, Inc., Publication, pg. 118, 2008.
- [5] AFG3000 Series Arbitrary Function Generators, Quick Start User Manual, 077-0957-00, pg53.
- [6] AFG3000 Series Arbitrary Function Generators, Programmer Manual, 077-0743-00.
- [7] DSD-0000162, Spartan-3 Starter Kit Board Reference Manual.  
[https://www.digilentinc.com/Data/Products/S3BOARD/S3BOARD\\_RM.pdf](https://www.digilentinc.com/Data/Products/S3BOARD/S3BOARD_RM.pdf)
- [8] 502-134, Nexys2 Reference Manual.  
[https://www.digilentinc.com/Data/Products/NEXYS2/Nexys2\\_rm.pdf](https://www.digilentinc.com/Data/Products/NEXYS2/Nexys2_rm.pdf)
- [9] 502-182, Nexys3 Reference Manual, 2014-01-21.  
[https://www.digilentinc.com/Data/Products/NEXYS3/NEXYS3\\_sch.pdf](https://www.digilentinc.com/Data/Products/NEXYS3/NEXYS3_sch.pdf)
- [10] Pomona Electronics Catalog, pg 24, 2013.

### **1.3 CONTROL INVERSO NEURODIFUSO APLICADO A UN PROTOTIPO DE CONTROL DE CAUDAL.**

William Torres Hernández<sup>1</sup>, Rosalío Farfán Martínez<sup>1</sup>, Luz del A. Cambrano bravata<sup>1</sup>,  
Josefina Cruz Cruz<sup>2</sup>, José A. Ruz Hernández<sup>2</sup>, Ramón García Hernández<sup>2</sup>, José L. Rullán  
Lara<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Campeche, Carretera Federal 180 s/n, San Antonio  
Cárdenas, Carmen, Campeche. México. C.P. 24381. Tel: 01 (938) 3816700, ext. 121  
williantorreshernandez, farfan678}@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidad Autónoma del Carmen, Calle 56, #4 esq. Avenida Concordia, Col. Benito  
Juárez, Carmen, Campeche, México. C.P. 24180. Tel: 01 (938) 3811018, ext. 1700  
jdelacruz, jruz, rghernandez, jrullan}@pampano.unacar.mx

#### **RESUMEN.**

En este trabajo se presenta la aplicación de la técnica de control por modelo inverso neurodifuso para controlar caudal, para lo cual se adquieren datos de entrada-salida del equipo, se obtiene el modelo inverso de la planta, se valida y se aplica en el esquema de control propuesto.

#### **ABSTRACT.**

In this paper the application of the technique of inverse neurofuzzy control model is presented for flow control, for which input-output equipment, acquired the inverse model of the plant is obtained, validated and applied to the scheme proposed control.

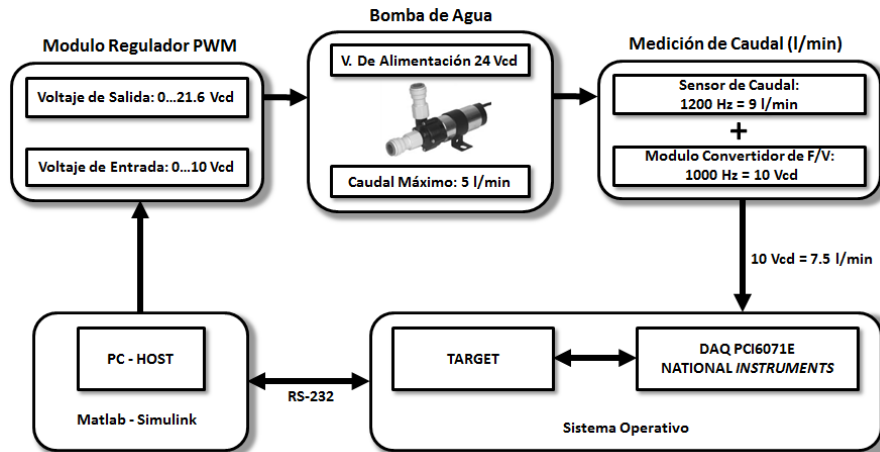
#### **1. INTRODUCCIÓN.**

Las medidas de caudal tienen una gran importancia dentro de los procesos ya que se utilizan habitualmente para control del proceso y para medidas de contabilidad (facturación, importación/exportación de productos, etc.), por lo que la selección de la mejor tecnología tiene una gran implicación. Así por ejemplo, los caudalímetros se utilizan para contabilizar productos dentro de la propia planta, con el exterior, etc. En cuanto al control de procesos, la medición de caudal es imprescindible para poder realizar control automático, así como para optimizar rendimientos en las unidades de producción aplicando balances de materia por esta causa los caudales deben medirse y controlarse cuidadosamente [1].

Uno de los problemas para la implementación de sistemas de control automático es obtener un modelo que describa la dinámica del sistema a ser controlado. Normalmente este modelo no está disponible o es muy complicado para propósitos de diseño. Por esto es importante disponer de un modelo lo suficientemente simple para trabajar con él, pero que incluya las características esenciales del proceso [2]. Los modelos que usan sistemas neurodifusos son útiles para estimar a partir de datos experimentales donde las no linealidades están incluidas. El ANFIS permite modelar sistemas con alto grado de no linealidad e invariante en el tiempo el cual combina los conceptos de las redes neuronales y la lógica difusa para formar un sistema inteligente que resalta la habilidad de adaptación y aprendizaje automático.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO A EMPLEAR.

En la figura 1 se muestra un diagrama a bloques de la interconexión de los elementos empleados en este trabajo, como son: un módulo regulador de voltaje PWM, una bomba de agua centrífuga, un sensor de caudal y una tarjeta de adquisición de datos la DAQ PCI6071E de National Instruments.



**Figura 1. Diagrama a bloques de la conexión del equipo regulador de caudal.**

Esta conexión es realizada para obtener datos de entrada y salida del proceso.

La bomba que se emplea en este trabajo, es una bomba centrífuga de la marca Johnson modelo CM30P7-1 número de pieza 10-24503-04 opera con un voltaje de 24 Vcd y proporciona un caudal máximo de 5 l/min., el modulo regulador PWM de la marca Kaleja modelo D-73553 es un convertidor cd-cd utilizado para controlar el voltaje aplicado a la bomba.

En la figura 2 se muestra el sensor de caudal marca IR-Opflow Tipo 2 cuenta con rotor y evaluación optoelectrónica (infrarrojo), es un medidor de flujo volumétrico.



**Figura 2. Sensor de Caudal tipo 2.**

Su margen de medición es de 0.3-9.0 l/min y la gama de frecuencias de salida de 40-1200 Hz y un factor K de 8000 impulsos/dm<sup>3</sup>, se deduce la ecuación 1.

$$1200 \text{ Hz} = 9 \text{ l/min} \quad (1)$$

El sensor de caudal tiene como señal de salida una frecuencia proporcional a la cantidad de litros por minutos por lo que es necesario emplear un convertidor de frecuencia a voltaje. Por diseño del convertidor v/f la frecuencia de entrada máxima que se le puede aplicar al sensor es de 1000 Hz proporcionando en su salida 10 Vcd, ecuación 2.

$$1000 \text{ Hz} = 10 \text{ Vcd} \quad (2)$$

En base a ecuación (1) y (2) el caudal máximo que se puede medir es de:

$$1000 \text{ Hz} \frac{9 \text{ l/min}}{1200 \text{ Hz}} = 7.5 \text{ l/min} \quad (3)$$

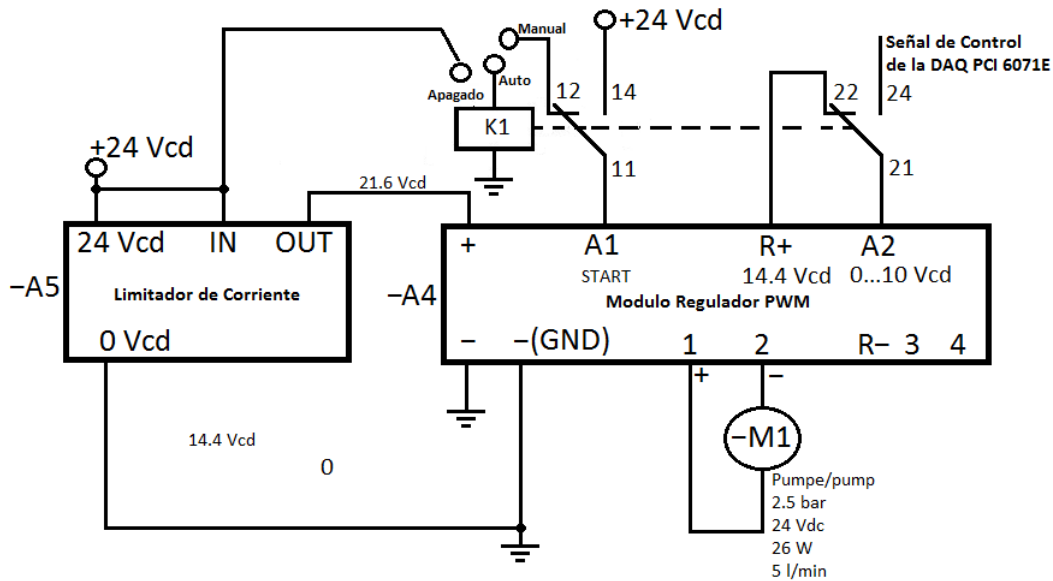
Por lo que se obtiene la siguiente relación:

$$10 \text{ Vcd} = 7.5 \text{ l/min} \quad (4)$$

El voltaje máximo que proporcionará el convertidor de frecuencia a voltaje con un flujo de 5 l/min es de:

$$(5 \text{ l/min}) \frac{10 \text{ Vcd}}{7.5 \text{ l/min}} = 6.66 \text{ V} \quad (5)$$

Debido a esto no hay riesgo de saturación del sensor y del convertidor. En la figura 3 se puede apreciar el diagrama eléctrico de conexión.



**Figura 3. Diagrama eléctrico de conexión del módulo regulador PWM.**

### 3. ADQUISICIÓN DE DATOS.

El primer paso en la identificación de procesos es llevar a cabo un tipo de experimento del sistema estudiado, para recopilar los datos de entrada y salida que se emplean para obtener el modelo final. Para generar esos datos se muestra el equipo experimental en la figura 4.

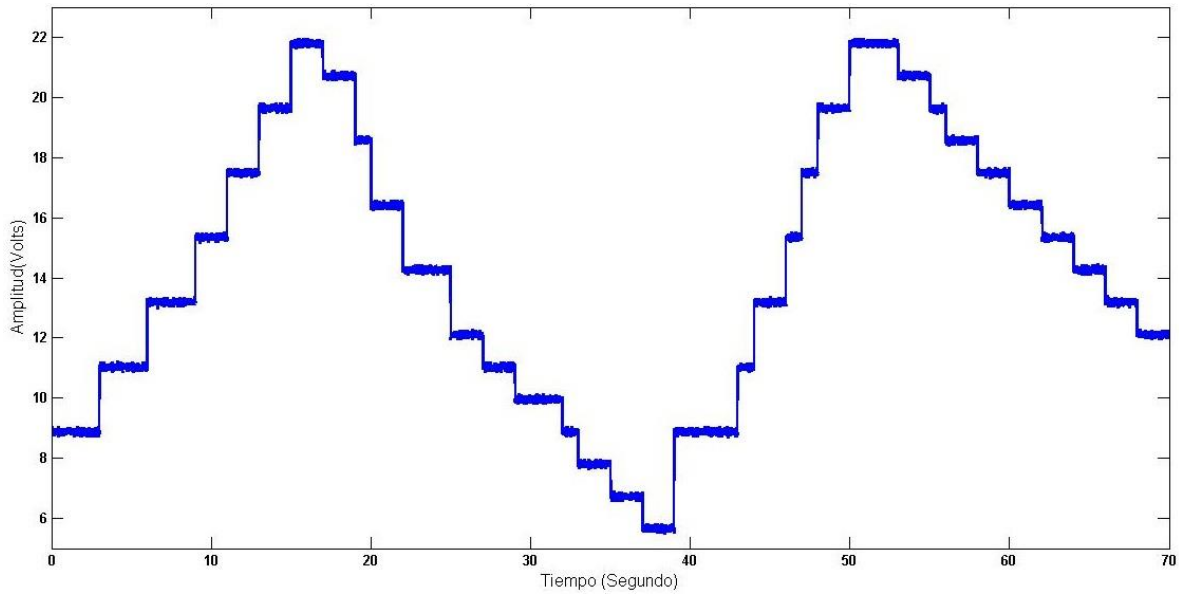




**Figura 4. Prototipo experimental.**

Cuando se trabaja con sistemas en tiempo real, el tiempo de muestreo depende también de algunos factores como: velocidad de procesamiento de la tarjeta de adquisición de datos y del tiempo de ejecución del código del modelo, y tiene una influencia decisiva en el experimento de identificación. El periodo de muestreo seleccionado es  $T= 0.001$  segundo el tiempo de adquisición de datos para este trabajo fue de 70 segundos obteniendo un total de 70000 datos los cuales se dividieron en 35000 para el entrenamiento y 35000 para la validación del modelo Neurodifuso.

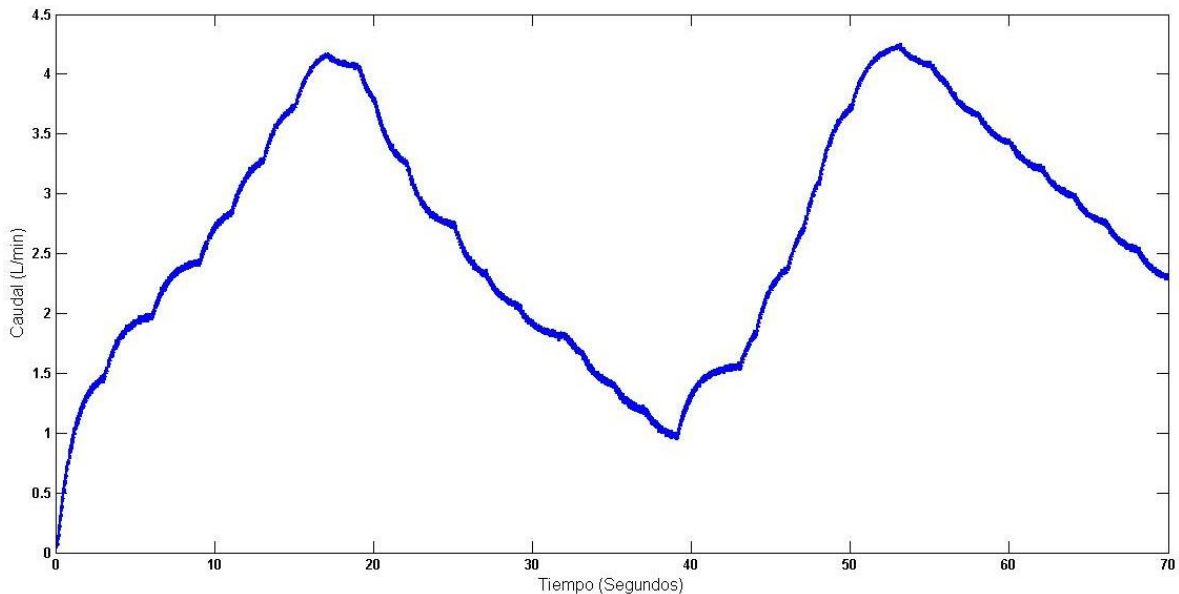
En la adquisición de datos se empleó una señal de voltaje escalonada con valores dentro de los márgenes de operación de la bomba esto es con la finalidad de que esta señal excite todos los modos de funcionamiento de interés, se muestra en la figura 5.



**Figura 5. Señal de voltaje aplicado a la bomba.**

Al no tener el ANFIS una estructura recursiva ni ninguna otra característica que lo dote de memoria, se utilizan valores pasados de las entradas y de las salidas para que capte la dinámica de la planta [3]. Los datos previamente obtenidos de Voltaje y de Caudal pueden usarse para el entrenamiento usando la herramienta de ANFISEDIT de Matlab.

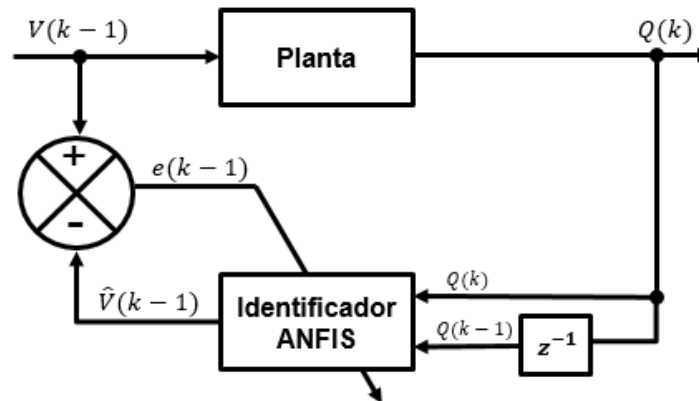
En la figura 6 se muestra la señal proveniente del sensor de caudal (L/min.).



**Figura 6. Datos experimentales obtenidos del sensor de caudal.**

#### 4. OBTENCIÓN DEL MODELO INVERSO NEURODIFUSO.

El propósito del entrenamiento es obtener un modelo neurodifuso sintonizado con la ventaja adaptativa de las redes neuronales artificiales, buscando una convergencia de error cercana a cero. El esquema de entrenamiento del modelo inverso puede apreciarse en la figura 7. El error  $e(k)$  obtenido por la diferencia entre la entrada de la planta y la salida del identificador, se usa como un índice de desempeño para satisfacer un conjunto de datos entrada-salida en el proceso de estimación paramétrica.



**Figura 7. Esquema de entrenamiento ANFIS para obtener el modelo inverso.**

En sistemas complejos, no siempre es fácil determinar las variables que pueden ser usadas como entradas al modelo, sin embargo, por medio del análisis de los sistemas dinámicos se sabe que para conocer la salida de un sistema en cualquier tiempo  $t \geq t_0$ , es necesario conocer el sistema en el tiempo  $t = t_0$  y la entrada del sistema en un tiempo  $t \geq t_0$ . [5]. Con base a esto se puede determinar las entradas que son necesarias para realizar la rutina de entrenamiento de una red ANFIS de un sistema arbitrario. De manera particular se puede determinar que la dinámica del equipo de control de caudal queda completamente caracterizada por el conocimiento de las variables: voltaje aplicado ( $V$ ) que es la entrada del sistema y el caudal ( $Q$ ) que es la salida del sistema. Por lo tanto el caudal de equipo en cualquier instante de tiempo  $t \geq t_0$  quedará determinado por el conocimiento tanto del Caudal como del voltaje aplicado en el tiempo  $t = t_0$ , así como como del caudal para un tiempo  $t \geq t_0$ . En otras palabras si se desea encontrar el caudal en un instante  $k+1$  es necesario conocer el caudal, y el voltaje aplicado en  $k$ , [6]. De acuerdo a lo anterior se puede escribir:

$$Q(k + 1) = f(V(k), Q(k)) \tag{6}$$

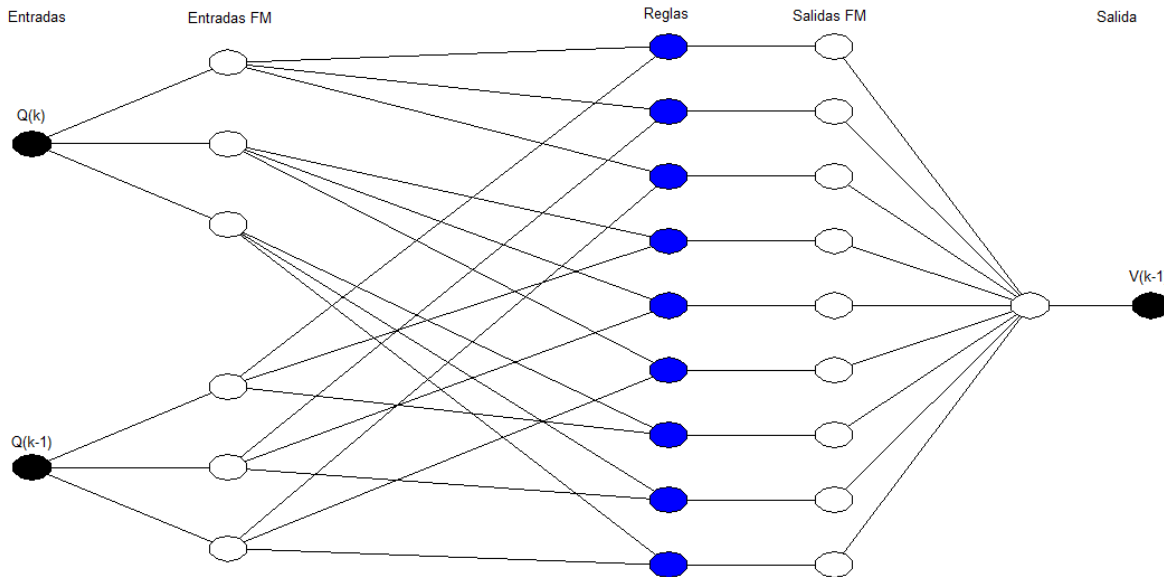
El caudal  $Q$  en el instante  $k$  se puede representar como:

$$Q(k) = f(V(k - 1), Q(k - 1)) \tag{7}$$

En el modelo neurodifuso del sistema inverso del equipo, se desea que su salida sea la entrada  $V(k - 1)$  que servirá como señal de control para el equipo. Las situaciones consideradas en el modelo neurodifuso aplican también en el modelado inverso, esto es, se puede determinar las entradas requeridas para el entrenamiento de este nuevo modelo a partir de la ecuación (7) donde se despeja para obtener la selección de entradas adecuadas para el entrenamiento del modelo inverso como:

$$V(k - 1) = f^{-1}(Q(k), Q(k - 1)) \tag{8}$$

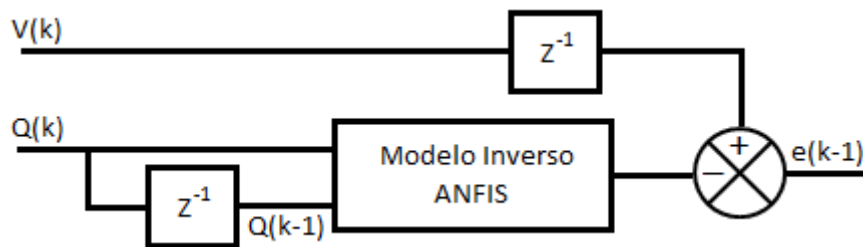
En el Toolbox ANFISEDIT, se utilizó el sistema de inferencia difusa (Takagi-Sugeno) T-S, 3 funciones de pertenencia del tipo triangular por entrada en la capa 1, el algoritmo de aprendizaje híbrido y los consecuentes de las reglas difusas del tipo TS en la capa 4. En la figura 8 se muestra la estructura de la red ANFIS.



**Figura 5. Estructura ANFIS para el Modelo Inverso Neurodifuso**

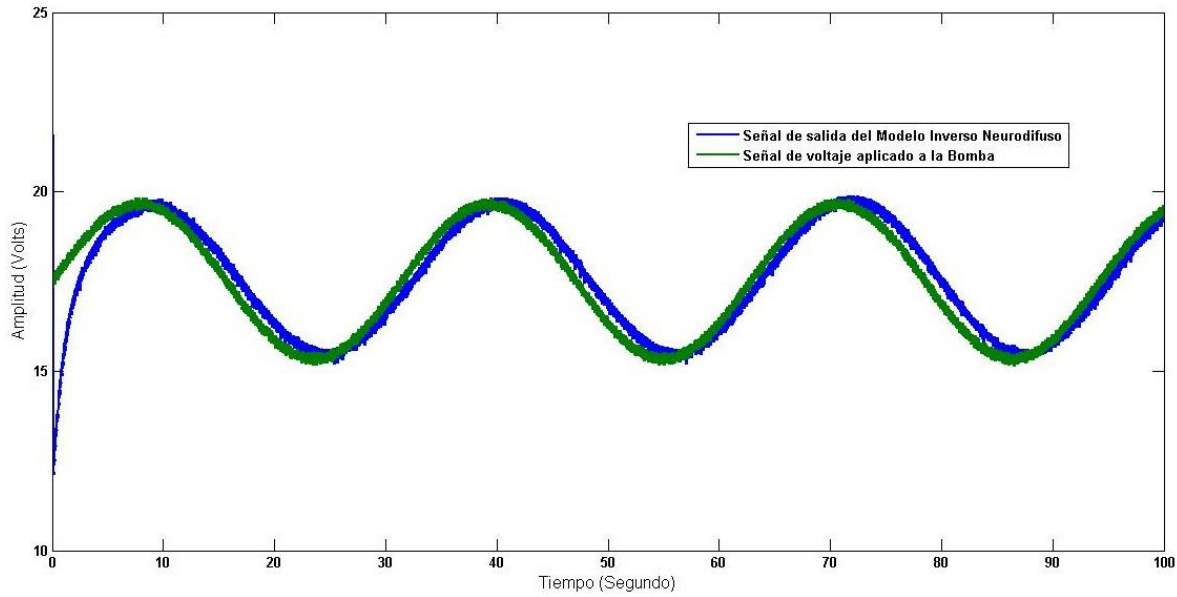
**5. VALIDACIÓN DEL MODELO INVERSO EN TIEMPO REAL.**

El modelo inverso ANFIS obtenido es validado usando la técnica de extrapolación como se muestra en el esquema de la figura 9.



**Figura 9. Estructura ANFIS para el Modelo Inverso Neurodifuso**

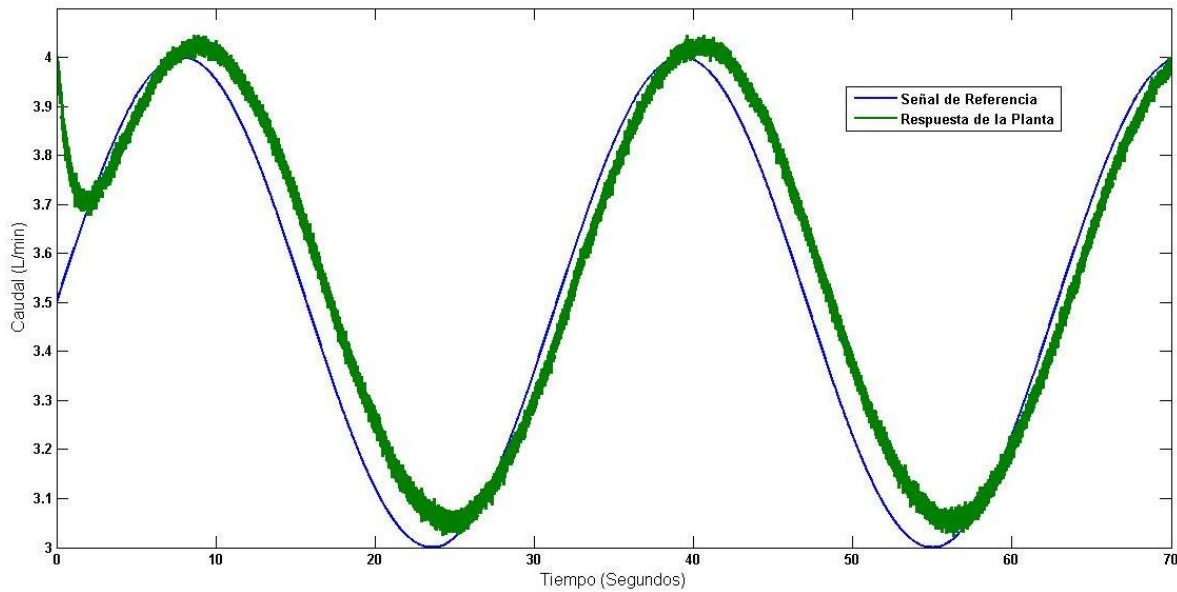
En la figura 10 se muestra las señales de voltaje como resultado de la validación del modelo inverso neurodifuso.



**Figura 10. Señales de voltaje y de salida del Modelo Inverso Neurodifuso**

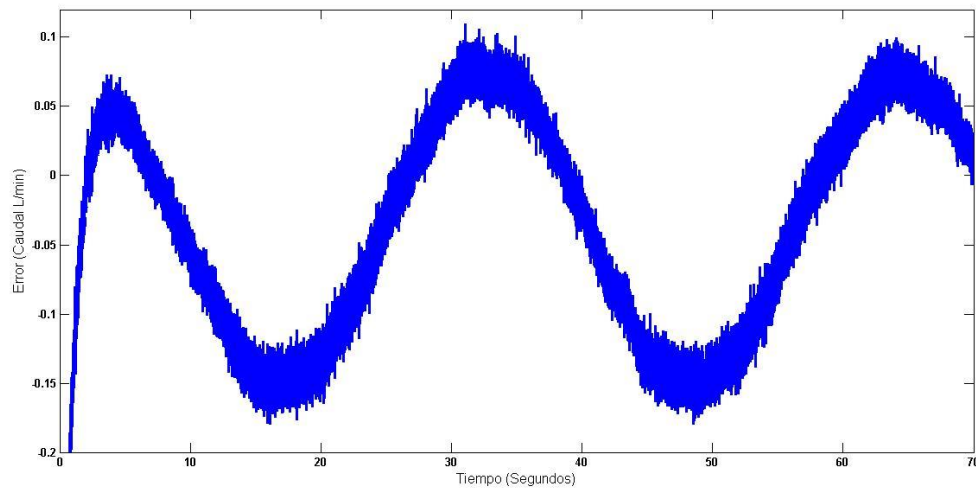
### 6. APLICACIÓN DEL CONTROL INVERSO EN TIEMPO REAL.

Para la validación del control por modelo inverso en tiempo real se aplicó una señal de referencia de tipo senoidal el resultado de este ejercicio se muestra en la figura 11.



**Figura 11. Se muestra la señal de referencia y la señal de salida de la planta cuando se le aplica el esquema de control inverso neurodifuso en tiempo real.**

En la figura 12 se muestra la señal de error que consiste en obtener la diferencia entre los valores de referencia y los valores reales de la planta.



**Figura 12. Se muestra la señal de error**

## 7. CONCLUSIONES.

Para el modelado de procesos es muy útil emplear la técnica de identificación neurodifusa ya que da muy buenos resultados y no se requiere mucha información de sistema sobre todo porque se basa en la obtención de datos directamente del equipo a través de los sensores.

## 8. REFERENCIAS.

1. Smith, C., & Corripio, A. (2010). *Control Automático de Porcesos Teoría y Práctica*. México: Limusa S.A. de C.V.
2. Chiasson, J., & Bodson, M. (1993). "Technical Notes and Correspondence Nonlinear Control of a Shunt DC". *IEEE Transactions on Automatic control*, 38(11), 935-942.
3. Saludes Rodil, S., & J. Fuente, M. (2007). Control IMC no Lineal Tolerante a Fallos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informatica Industrial*, 52-63.
4. Ching Tai Lin, C., & C. S. , G. (1986). *Neural Fuzzy Systems: A Neuro-fuzzy Synergism to Intelligent Systems*. Prentice Hall.
5. Ogata, K. (1998). *Ingenieria de Control Moderna*. Prentice Hall.
6. Ogata, K. (1996). *Sistemas de Control en Tiempo Discreto*. Prentice Hall.
7. J. G. Pacheco Richard, J. A. Ruz-Hernandez, and E. Shelomov. Tecnicas neurodifusas aplicadas al control del equipo de la bola y la viga. In *Proceedings of Seminario Anual de Automatica, Electronica Industrial e Instrumentacion*, pages 1–6, Vigo, Spain, 2003.
8. B. Allaoua, A. Laoufi, B. Gasbaoui, and A. Abderrahmani. Neuro-fuzzy dc motor speed control using particle swarm optimization. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, (15):1–18, 2009.
9. W. Torres Hernandez, R. Farfan Martinez, E. Reyes-Pacheco, J. Rullan-Lara, and J. A. Ruz-Hernandez. Identificacion y control de velocidad de un motor de corriente directa. In

Proceedings of VIII Congreso Nacional de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Mayab, pages 217–227, Mérida, Yucatán, México, 2008.

10. J-S R. Jang and C-T Sun. Neuro-fuzzy modeling and control. In Proceedings of the IEEE, pages 378–406, 1995.
11. N. Pitalua, U. Castro Peñaloza, J. A. Ruz-Hernandez, and R. Lagunas Jimenez. Introducción a los Sistemas Inteligentes. Departamento de Editorial Universitaria (UABC), Mexicali, Baja California, México, 2008.
12. J-S R. Jang. ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 23:665–685, 1993.

## **1.4 CONTROL DE MOTOR DC MEDIANTE EL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN CAN CON INTEGRADOS DE LA FAMILIA DSPIC30F DE MICROCHIP.**

Carlos Lujan Ramírez, Juan Alberto Ojeda Arana, Jesús Sandoval Gio

Instituto Tecnológico de Mérida Av. Tecnológico km. 4.5 S/N C.P. 97118

[juanelectron4@gmail.com](mailto:juanelectron4@gmail.com).

### **RESUMEN.**

A lo largo de la historia, las empresas dedicadas en la fabricación de circuitos integrados, han ido evolucionando de acuerdo a la necesidad tecnológica del momento. Esas empresas han desarrollado soluciones inteligentes a las necesidades industriales, educativas, etc. Es por eso, que en la actualidad muchas empresas nos ofrecen diferentes integrados para una aplicación específica, en la cual, es muy importante saber que comportamientos podrían tener en un determinado proyecto.

El bus CAN es uno de los buses más utilizados en el área automotriz y en el área de control, ya que permite la comunicación con varios dispositivos sin la necesidad de un denso cableado.

Esta investigación contiene el análisis de los integrados que permiten la implementación de una red CAN con MCU especiales de la familia Microchip.

### **ABSTRACT.**

Throughout history, the companies engaged in the manufacture of integrated circuits, have evolved according to the technological need of the hour. These companies have developed smart to industrial, educational, etc solutions. It is for this reason that many companies today offer us different built for a specific application, which is very important to know that behavior might have on a given project.

The CAN bus is more than one of the buses used in the automotive area and control area, enabling communication with multiple devices without the need for a dense wiring.

This work contains the analysis or prototype integrated to allow the implementation of a CAN network with special Microchip MCU family.

### **1. INTRODUCCIÓN**

Desde mediados de 1980 varios protocolos de bus de campo y protocolos sensor actuador han sido objeto de diseño y disposición, tal como profibus, interbus s, p-net, LON, FIP, etc. A finales de los 80 los llamados protocolos "de bus" han estado en su desarrollo final o fase de producción temprana.

El Protocolo CAN, comienza a ser unos de los protocolos bus más avanzados en esos días. En 1989 fue lanzado como un producto estándar de Intel. En el inicio de los 80, el protocolo CAN había sido inventado y manejado originalmente por el alemán R. Bosch Gnbh. En 1985 Boch coopero con Intel, para el futuro refinamiento de las especificaciones del protocolo. Posteriormente Intel había proporcionado la primera implementación "FULLCAN" 82526, lo cual fue remplazado por el 8252. Posteriormente Philips le siguió con el llamado Basic CAN, con el chip 82C200. Al poco tiempo varias empresas ofertaban, al menos, un producto que manejaba el bus CAN.



En la actualidad, las empresas que se dedican en la fabricación de circuitos integrados, han incluido en su oferta de productos, integrados que tienen la capacidad de comunicarse con diferentes protocolos o tipos de comunicación, entre los cuales, el bus CAN (Control Area Network), es el enfoque de este artículo.

Entre la variedad de empresas que ofrecen tales integrados, y de acuerdo a los fines didácticos de este artículo, se ha decidido poner a prueba los integrados CAN dsPIC30f4013 y el transceptor MCP2551 de la empresa Microchip, debido a su versatilidad al momento de hacer prototipos, y además de la experiencia que se tiene en el campo académico.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 El Modulo CAN en el dsPIC.**

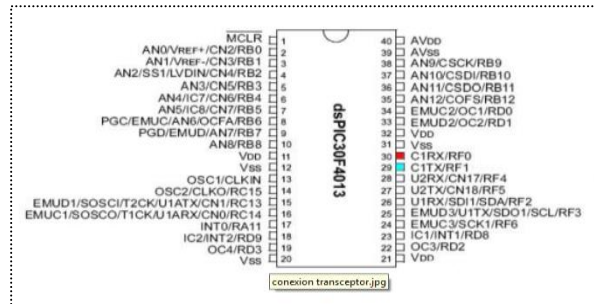
El modulo CAN, se implementa en el microcontrolador como una interfaz serie, utilizada para la comunicación con otros módulos CAN u otros dispositivos del propio microcontrolador. El módulo está formado por un “motor de protocolo” (protocol engine) y por un control y almacenamiento de los mensajes. El “motor de protocolo” CAN maneja todas las funciones encargadas de recibir y transmitir mensajes a través del bus.

El modulo CAN es un controlador de comunicación que permite la comunicación mediante el protocolo CAN 2.0 A/B tal y como especifica BOSCH. El modulo soporta las versiones CAN 1.2, CAN 2.0A, CAN 2.0B pasivo y la activa 2.0B.

Básicamente las características técnicas del módulo son las siguientes:

- Soporta tramas de datos estándar y extendidos.
- Máximo 8 bytes de longitud de datos.
- Velocidad de transferencia de datos de hasta 1 Mbit/segundo.
- Receptor de doble búfer
- 6 filtros de aceptación completa (full acceptance filter), tanto para mensajes con identificador estándar como extendido.
- 2 máscaras de filtro de aceptación completa (full acceptance filter masks)
- 3 buffers de transmisión con asignación de prioridades específicas y capacidad de aborto (cada búfer puede contener hasta 8 bytes de datos)
- Función de ‘despertador’ (wake-up) programable con filtros paso-bajo integrados.
- Modo Loopback programable con operación de ‘auto-test’ (self-test).
- Capacidad de señalización a través de interrupciones por parte de todos los receptores y transmisores de estados de error CAN.
- Reloj interno programable.
- 2 modos de baja potencia: Sleep (dormido) e Idle (parado).

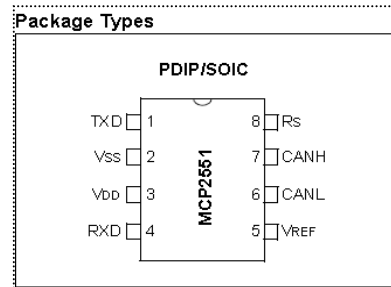
En la hoja de datos del dspic30f4013, se identifican TX y RX del bus:



**Figura 1. Pines del dsPIC30f4013.**

## 2.2 El transceptor de Microchip (transceiver).

Para poder implementar una comunicación CAN, es necesario contar con un transceptor, al menos para los integrados de la familia dspic30f de microchip. Este transceptor es el que se encarga del acoplamiento, la transmisión y recepción de los mensajes, es decir, se ocupa de la parte física de la transmisión diferencial de cada nodo. Dentro de la gama básica de transceptores de Microchip, está el MCP2551. A continuación se mostrará sus características:



**Figura 2. Empaquetado DIP.**

### 2.3.1 Función del transmisor.

El bus can tiene 2 estados: estado dominante y estado recesivo. Un estado dominante ocurre cuando el voltaje diferencial entre CANL y CANH es mayor que el voltaje definido (por ejemplo 1.2 v.). Un estado recesivo ocurre cuando el voltaje diferencial es menor que un voltaje definido (0v.). Ambos estados corresponden al BAJO y ALTO estado del pin de entrada TXD, respectivamente. Como siempre, un estado dominante inicializado por un nodo CAN anulara un estado recesivo en el bus CAN.

### 2.3.2 Función del receptor.

El pin de salida RXD, refleja la diferencia de voltaje en el bus entre el CANH y CANL. Los estados ALTOS y BAJOS del pin de salida RXD corresponden a los estados dominante y recesivo del bus CAN respectivamente.

### 2.3.3 Modos de operación.

El pin Rs, permite 3 modos de operación una vez siendo seleccionadas:

- Alta velocidad.
- Control de rampa.
- Standby

Cuando está en alta velocidad o control de rampa, los controladores de la señales CANL y CANH, son regulados internamente para proporcionar simetría controlada con el fin de minimizar las emisiones de EMI (Interferencia Electromagnética).

**Tabla II**

Mode	Current at $R_s$ Pin	Resulting Voltage at $R_s$ Pin
Standby	$-I_{RS} < 10 \mu A$	$V_{RS} > 0.75 V_{DD}$
Slope-Control	$10 \mu A < -I_{RS} < 200 \mu A$	$0.4 V_{DD} < V_{RS} < 0.6 V_{DD}$
High-Speed	$-I_{RS} < 810 \mu A$	$0 < V_{RS} < 0.3V_{DD}$

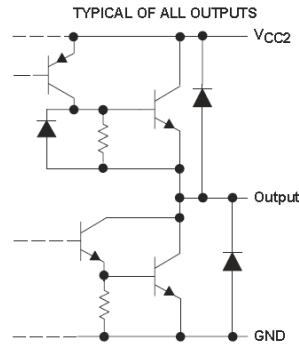
**Tabla 1. Comparación de la corriente y voltaje en los diferentes modos de operación.**

Pin Number	Pin Name	Pin Function
1	TXD	Transmit Data Input
2	Vss	Ground
3	VDD	Supply Voltage
4	RXD	Receive Data Output
5	VREF	Reference Output Voltage
6	CANL	CAN Low-Level Voltage I/O
7	CANH	CAN High-Level Voltage I/O
8	Rs	Slope-Control Input

**Tabla 2. Descripción de los pines del mcp2550.**

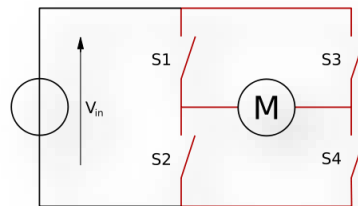
### 2.3 El Puente H SN754410.

El SN754410, es un controlador diseñado para suministrar bidireccionalmente corrientes con rangos de hasta 1 ampere en voltajes de 4.5 hasta 36 voltios. El integrados está diseñado para manejar cargas inductivas como lo son: relays, solenoides, motores dc y motores a pasos bipolares. Todas la entradas son compatibles con señales TTL y lógica CMOS de bajo nivel. Cada salida (Y) es un controlador polar, cuya salida tiene lógica con transistores Darlington como se muestra en la figura 3.



**Figura 3. Esquemático de las salidas del sn754410**

El nombre puente H se refiere a la posición en que quedan los transistores en el diagrama del circuito. El término "puente H" proviene de la típica representación gráfica del circuito. Esto se construye con 4 interruptores. Cuando los interruptores S1 y S4 están cerrados y S2 y S3 abiertos, se aplica una tensión positiva en el motor, haciéndolo girar en un sentido o viceversa.



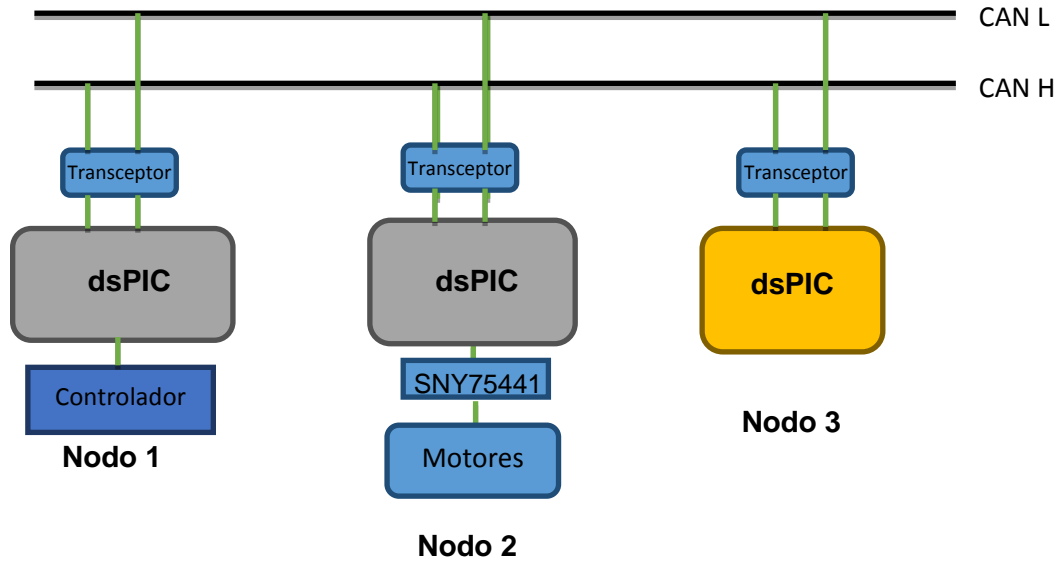
**Figura 4. Representación gráfica del funcionamiento del puente H.**

### 3. DESARROLLO

El objetivo principal de este artículo es implementar el bus de comunicación CAN con el dspic30f4013, enviando tramas estándar y con ello poder controlar motores en DC desde otro nodo de la red CAN. Hay que mencionar que este trabajo es realizado con fines educativos. A continuación se explicará el desarrollo de este proyecto.

#### 3.1. La red CAN.

Se pretende implementar una red con los integrados ya antes mencionados, la cual, como propuesta se pretende tener 3 nodos, en donde todos los nodos manejarán tramas estándar y operarán en modo normal (En el dspic30F se puede operar en otros modos). El nodo 1 estará conectado al controlador, el nodo 2 estará conectado al puente H, que harán funcionar los 2 motores DC y el nodo 3 solo mandará información que los nodos 1 y 2 ignorarán.



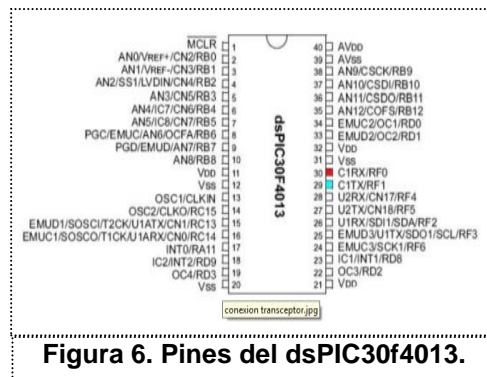
**Figura 5. Esquemático de la red CAN.**

**3.2. Armado del nodo 1.**

El nodo 1 tendrá el controlador de los motores, cuyo control será manual con 4 push botom.

**3.2.1 Cableado del dsPIC y del módulo CAN.**

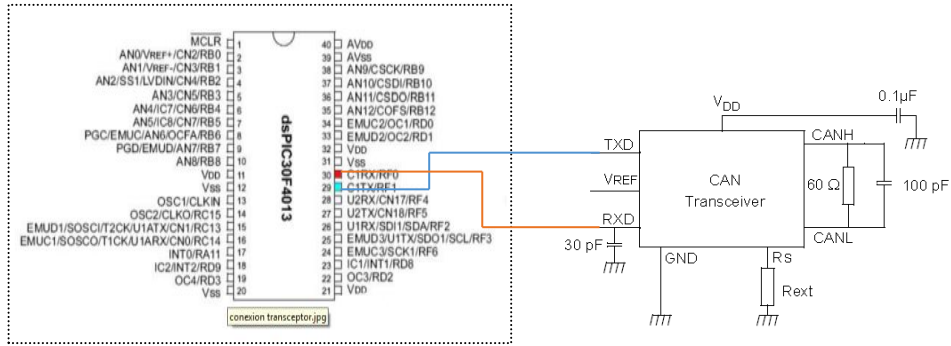
Al momento de armar el circuito, se energizó el dsPIC conectando a 5 volts los pines VDD y a tierra los pines VSS. También se conectaron los pines 30 y 29 del dsPIC que son la RX y TX que van al transceptor mcp2551, además se le conecto un cristal de 4Mhz en los pines 13 y 14 del dsPIC.



**Figura 6. Pines del dsPIC30f4013.**

**3.2.2 Cableado del transceptor mcp2551.**

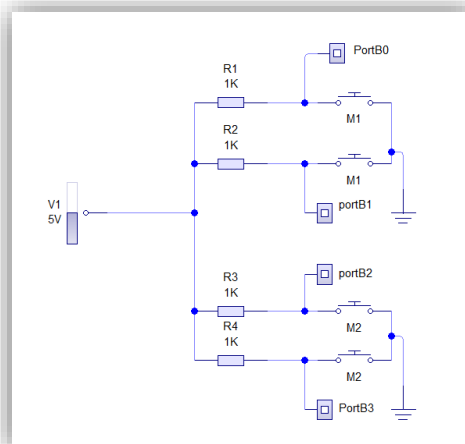
Siguiendo las recomendaciones de la hoja de datos del mcp2551, se armó el circuito sugerido por microchip. A continuación se muestra el esquema de conexiones.



**Figura 7. Conexiones del dsPIC al transceptor.**

### 3.2.3 Cableado del controlador.

El control va a constar de 4 botones (push botom) comúnmente abiertos, la cual, un par controlará el motor 1, y los restantes el motor 2. Dichos botones van a estar conectados con resistencias pull-up al puerto B del dsPIC.



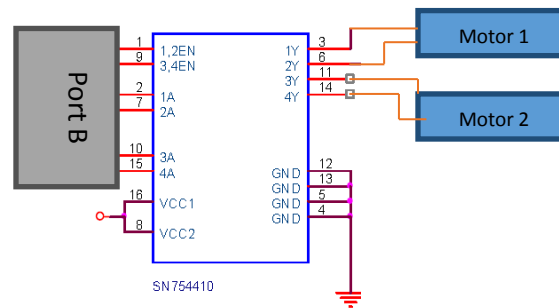
**Figura 8. Cableado del controlador al dsPIC.**

### 3.3 Armado del nodo 2.

El nodo 2, se encargará de manejar el puente H sn754410 para el control de los motores en DC. Las conexiones de energización del dsPIC y la conexión del transceptor son iguales a la sección 3.2.1 y 3.2.2 de este documento.

### 3.3.1 conexiones del puente H.

Las conexiones realizadas en el puente H fueron hechas para controlar 2 motores de DC. El sn754410 permite el control de 2 motores, en donde cada motor es habilitado por el pin 1(motor 1) o el 9(motor 2), cuya polaridad es manejada por los pines 2 y 7(motor 1) y 10 y 15(motor 2).



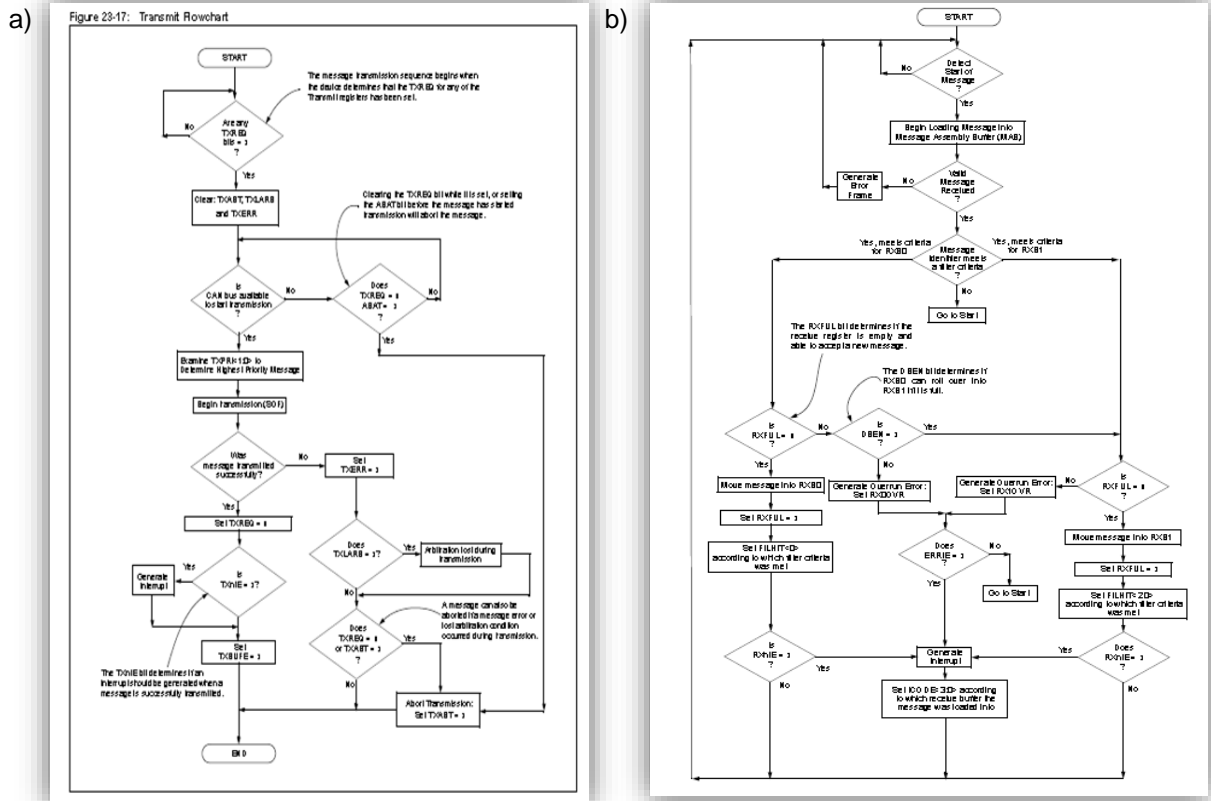
**Figura 9. Cableado del puente H.**

### 3.4 Armado del nodo 3.

Este nodo, simplemente ignorara los demás nodos (1 y 2) y enviará datos a la red. El armado del circuito de energización y del transceptor es el mismo que las secciones 3.2.1 y 3.2.2.

## 4. PROGRAMACIÓN DEL DSPIC.

Para un dsPIC, enviar y transmitir un mensaje CAN tiene una cierta lógica al momento de manejar los registros, máscaras y filtros de aceptación. A continuación se muestra el diagrama de flujo del envío y recepción de buffers de datos:



**Figura 10. Diagramas de flujo de a) envío de datos, b) recepción de datos.**

Una vez entendido lo anterior se procedió a programar en la IDE MPLAB de microchip. Primero se configuran los registros mencionados en los diagramas de flujo, así también como el baud rate.

```

MPLAB IDE v8.40 - C:\TM\NewArticles\can\src\c
File Edit View Project Debugger Programmer Tools Configure Window Help
Checksum: 0x03ac Debug
22 ADPCFG = 0xFFFF; //Configuro mis salidas digitales
23 LATB = 0x00; //inicializo mis salidas como 0
24 TRISB = 0x00;
25
26 //Configuración de la trama CAN
27 lat CONTADOR=0;
28
29 CTRLbits.CANCAP=0x01; //habilito la captura de CAN
30 CTRLbits.CSIDL=0x00; //el modulo CAN continua en operacion cuando esta en modo idle
31 CTRLbits.CANCKS=0x01; //defino mi frecuencia CAN con mi PCY
32 CTRLbits.RSQOP=0x00; //Configuro como modo standart
33 CTRLbits.OPMODE=0x00;
34
35 CIRC0S0bits.SID=0x01;
36 CIRC0S1bits.ECIDR=0x00;
37
38 CIRC0S0bits.SID=0x01;
39 CIRC0S1bits.MIDR=0x01;
40
41 CINTREbits.RG0IE=0x01;
42 //REG
43 CIRC0CObits.RXFUL=0x00;
44 CIRC0CObits.FILHIT=0x00;
45
46 //BAUDRATE
47 CIRCPS0bits.BR=0;
48 CIRCPS0bits.CTRM=0x00;
49
Watch
ANALISIS: ACCA AddSymbol SP
  
```

**Figura 11. Programación en Mplab.**



La configuración del módulo CAN es la misma para todos los nodos a excepción los bits de identificación de cada nodo, a continuación se muestra la ID de cada nodo:

Nombre del nodo	ID
Nodo 1	0x01
Nodo 2	0x02
Nodo 3	0x03

**Tabla 3. ID de cada nodo del bus.**

#### 4.1 programación del nodo 1.

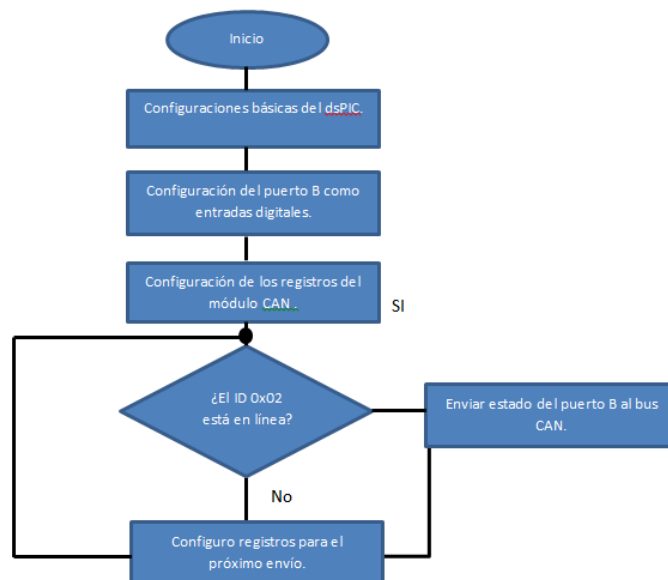
Para la programación del nodo 1, se siguió una lógica, la cual, envía los datos del puerto B del dsPIC al bus siempre y cuando el nodo 2 esté listo. La lógica se puede visualizar en el diagrama de flujo mostrado en la figura 12.

#### 4.2 Programación del nodo 2.

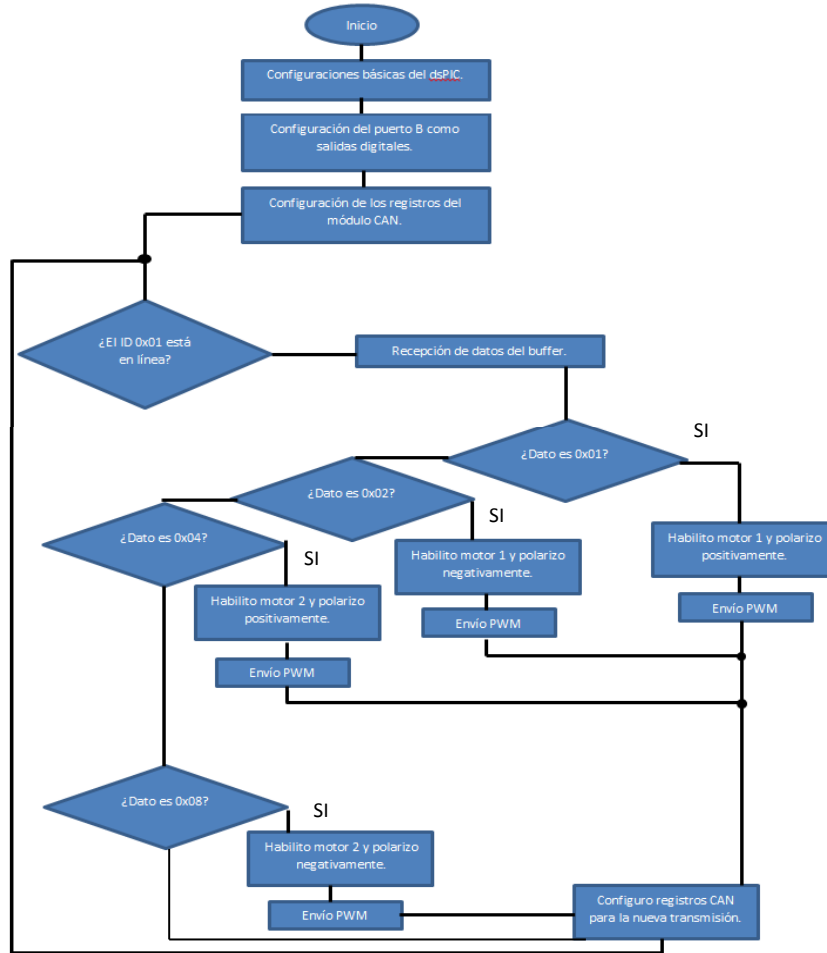
El nodo 2 está programado de manera que cuando recibe los datos del nodo 1, este envíe los valores pertinentes en el puerto B para habilitar y polarizar el motor deseado. Los datos que recibe del nodo 2, es el estado por puerto b del nodo transmisor, los cuales los valores 0x01, 0x02, polarizan y habilitan el motor 1 y los valores 0x04,0x08 al motor 2. La lógica de programación se visualiza en la figura 13. En el diagrama de flujo solo se visualiza que solo se comparan 4 valores, pero esta aplicación además acepta los valores 0x05 y 0xA para polarizar los motores 1 y 2 en ambos sentidos.

#### 4.3 Programación del nodo 3.

El nodo 3 está programado para que solamente envíe datos al bus y ocupe un tiempo el bus y de esa manera, poder ver la reacción de los nodos que están en el bus. El diagrama de flujo para la configuración de este nodo, está en la figura 10.



**Figura 12. Diagrama de flujo del nodo 1**



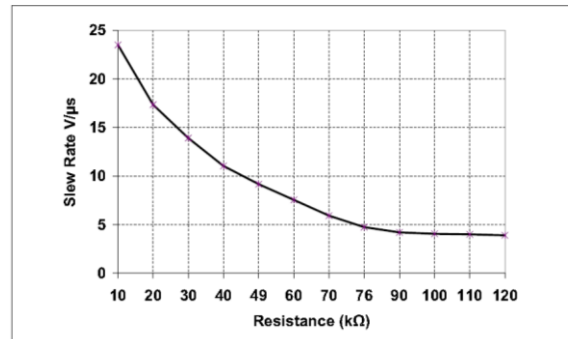
**Figura 13. Diagrama de flujo del nodo 2.**

**5. RESULTADOS.**

Al momento de poner a prueba la comunicación CAN entre los nodos obtuvimos los siguientes resultados:

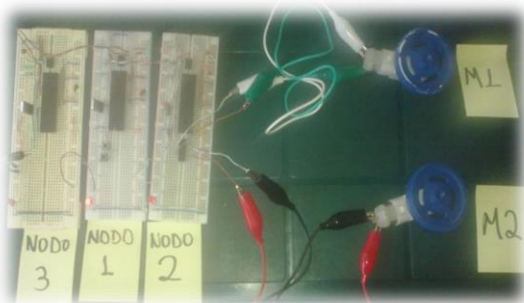
1. Al momento de presionar el botón 1, el motor 1 giraba en sentido positivo
2. Al presionar el botón 2, el motor 1 giraba en sentido negativo.
3. Al presionar el botón 3, el motor 2 giraba en sentido positivo.
4. al presionar el botón 4, el motor giraba en sentido negativo.
5. al presionar el botón 1 y 2, el motor 1 no giraba como se esperaba.
6. al presionar el botón 3 y 4, le motor 2 no giraba como se esperaba.
7. al presionar los botones 1 y 3, los motores 1 y 2 giraban en sentido positivo.
8. al presionar los botones 2 y 4, los motores 1 y 2 giraban en sentido negativo.

Hay que mencionar que al momento de realizar las primeras pruebas, los nodos CAN no podían sincronizarse de manera correcta y había la necesidad de resetear los dsPIC para que comience la transmisión. Este problema de sincronización es debido al slew rate de las tramas que mandaba el mcp2551, este problema se solucionó cambiando la resistencia Rext a 100kΩ que estaba a 50kΩ. La relación resistencia vs Slew Rate se muestra en la figura 14.

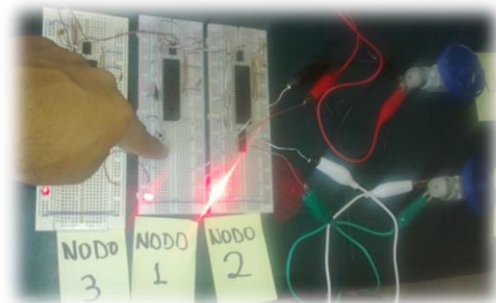


**Figura 14. Relación Slew Rate vs resistencia de Rext.**

La reacción de los nodos 1 y 2 ante el envío de datos del nodo 3, es casi nula, es decir, no afecta de manera significativa la comunicación entre nodos, pero, si tienen un pequeño retardo, lo cual confirma que el nodo 3 ocupa un espacio en el bus de datos.



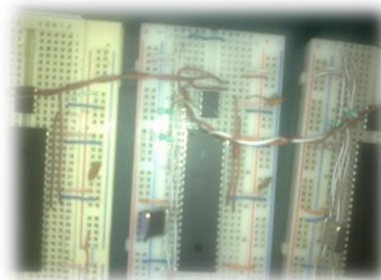
**Figura 15. Implementacion lista para su prueba.**



**Figura 16. Implementacion lista siendo probada.**



**Figura 17. Motor 1 en polarizacion positiva.**



**Figura 18. Cableado del bus CAN.**

## 6. CONCLUSIONES.

El dsPIC30F4013, es un microcontrolador especial, la cual, tiene integrado un módulo CAN, que puede implementar una comunicación fullCAN, es decir, puede enviar trama estándar como extensa y trabajar en varios modos de operación. Para la aplicación básica en la cual se implementó el bus CAN se concluye lo siguiente:

1. El entorno de programación para la programación del dsPIC de la empresa microchip es muy poco conocido, al menos, en el mundo del habla hispana, por lo tanto, es más difícil la incursión en el entorno de programación.
2. El integrado MCP2551, es un transceptor muy sensible, por lo que se necesita tener una fuente de alimentación con una señal limpia, si no es así, es necesario acondicionar dicho integrado con capacitores en VDD y VSS.
3. La velocidad máxima del bus CAN es hasta 1 Mhz, en opinión propia, se piensa que entre más grande sea el número de nodos, el nodo maestro, debe operar a mayor frecuencia, debido a que va a requerir de más tiempo para comparar los valores de ID que son aceptadas o rechazadas.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. M<sup>a</sup> Angulo, A. Etxebarria, I. Angulo e I. Trueba. Dspic. Diseño Práctico de Aplicaciones. Editorial Mc Graw-Hill (2006)
- [2] J. M<sup>a</sup> Angulo, B. García, I. Angulo y J. Vicente. Microcontroladores Avanzados dspic. Editorial Thomson (2006)
- [3] Can Module Section 23, Microchip, 2007.
- [4] Wolfhard Lawrenz, Can System Engineering, Springer-Verlag, 1997.
- [5] Dspic30F3014, dsPIC30F4013 Data Sheet, Microchip, 2007.
- [6] MCP2551, Microchip, 2010.

## 1.5 DISEÑO DE UN CONTROLADOR DIFUSO DE 25 REGLAS EN LAS PLATAFORMAS MATLAB SIMULINK Y LABVIEW.

José de Jesús García Cortés, Jaime Jalomo Cuevas, Felipe Alfonso Ordoñez García,  
José Alberto Chávez López.

Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán

[jesusgc@itcg.edu.mx](mailto:jesusgc@itcg.edu.mx), [jjalomo3@yahoo.com.mx](mailto:jjalomo3@yahoo.com.mx), [alfonso777@hotmail.com](mailto:alfonso777@hotmail.com),  
[betobhf@hotmail.com](mailto:betobhf@hotmail.com)

### RESUMEN.

En este artículo se presenta el diseño de un controlador PD+I Difuso de 25 reglas para controlar la variable pH del agua de riego para un invernadero. Se utiliza el Software MATLAB Simulink para la obtención y validación del modelo matemático y el Software LabVIEW para su implementación en tiempo real. Actualmente el control de pH es realizado por controladores que utilizan los algoritmos de control del tipo On-Off y On-Off proporcional, pero el control logrado no es muy eficiente. La finalidad de este proyecto es diseñar y evaluar el desempeño de un Controlador PD+I Difuso y comparar su desempeño con otro de los Controladores más utilizados como lo es el Control PID Clásico.

### 1. INTRODUCCION.

La lógica difusa es un área de la inteligencia artificial que emula el pensamiento humano y presenta una alternativa de alta tecnología para el control de procesos. Se puede configurar un sistema difuso como se hace con la mayoría de los sistemas de computación: definiendo las salidas de acuerdo al mapeo de las entradas (figura 1).

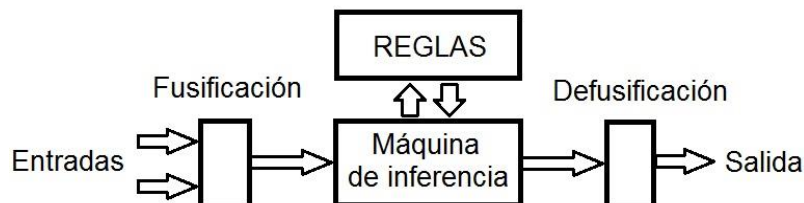
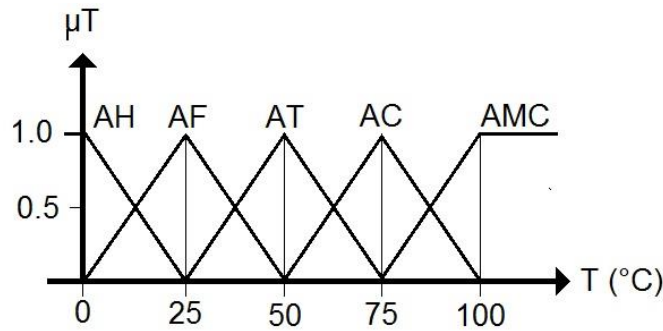


Figura 1. Sistema difuso.

El sistema difuso consta de una etapa de entrada o fusificación, un conjunto de reglas con estructura "IF **input a** AND **input b** THEN **output c**", una máquina de inferencia y una etapa de salida o defusificación. La etapa de fusificación convierte los valores de las variables de entrada en conjuntos difusos llamados términos lingüísticos (figura 2).



**Figura 2. Términos lingüísticos de una variable.**

Por ejemplo si la variable temperatura del agua adopta valores entre 0 y 100°C, estos valores pueden ser agrupados en cinco conjuntos difusos o términos lingüísticos llamados: agua helada (AH), agua fría (AF), agua tibia (AT), agua caliente (AC) y agua muy caliente (AMC). A diferencia de la lógica clásica de Aristóteles que solo acepta la validez o falsedad de un argumento (0 o 1). La lógica difusa creada por Lotfi Zadeh en 1965 es multivalores [6], al permitir que un valor pueda pertenecer con igual o diferente grado de membrecía a diferentes conjuntos (En el ejemplo mostrado en la figura 2, una temperatura del agua de 6.25 °C puede pertenecer con un grado de membrecía del 75 % al conjunto AH y con un grado de pertenecia del 25 % al conjunto AF). En lógica difusa la unión de los conjuntos difusos está definido por la función de pertenencia:

$$A \cup B \Rightarrow \mu_{A \cup B}(x) = \text{MAX}[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (1.1)$$

La intersección de los conjuntos difusos esta definida por la siguiente función de pertenencia:

$$A \cap B \Rightarrow \mu_{A \cap B}(x) = \text{MIN}[\mu_A(x), \mu_B(x)]. \quad (1.2)$$

La función de pertenencia para el complemento difuso está definida por la ecuación (2.3).

$$\neg A \Rightarrow \mu_{\neg A}(x) = 1 - \mu_A(x). \quad (1.3)$$

La máquina de inferencia evalúa las variables de entrada y dependiendo del grado de pertenencia a cada función de membrecía seleccionará de una base de conocimientos las reglas IF THEN que aplican. Las reglas contienen todo el conocimiento de un operador experto y definen la salida del sistema difuso. La etapa de defusificación convierte la salida difusa en un valor único nítido denominado crisp. En desarrollo de aplicaciones difusas los defusificadores son seleccionados teniendo principalmente en cuenta su simplicidad computacional. Los dos métodos de defusificación más utilizados son el método del centro de gravedad (1.4) y el método del centroide (1.5).

$$y = \frac{\int \mu_B(y) dy}{\int \mu_B(y) dy} \quad (1.4)$$

$$y = \frac{\int y \mu_B(y) dy}{\int \mu_B(y) dy} \quad (1.5)$$

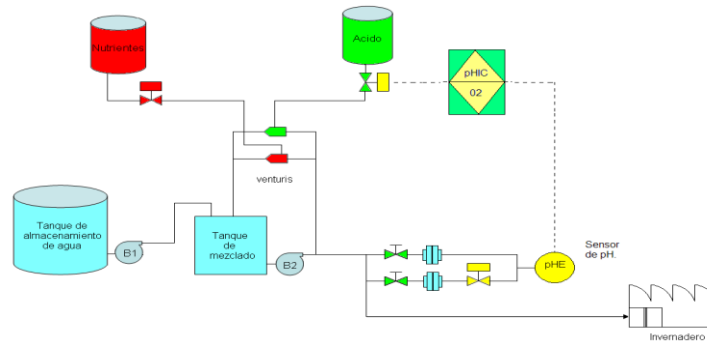
Por otro lado el controlador clásico Proporcional más Integral más Derivativo (PID) es un controlador lineal que actúa siempre que exista un error [5]. La salida del controlador PID está dado por (1.6)

$$y = m(t) = K_p e(t) + (K_i) \int d(e)/dt + K_d d(e)/dt \quad (1.6)$$

Dado que el Controlador Difuso es no lineal, presentan una mejor solución para el control de procesos no lineales (la mayoría de los procesos del mundo real son no lineales).

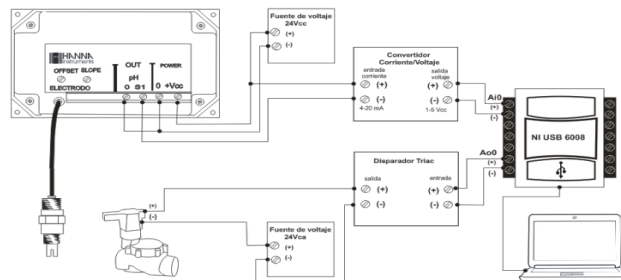
## 2. DESCRIPCION DEL SISTEMA.

El agua de riego utilizada en invernaderos debe tener un pH específico que está determinado por el tipo de cultivo. Por ejemplo para el cultivo de jitomate el agua de riego debe tener un pH de 6.8. Si el pH del agua está por encima de este valor deberá adicionarse una solución acida y si se encuentra por debajo de este valor deberá aplicarse al agua de riego una solución alcalina. En la figura 3 se presenta el Diagrama de Tuberías e Instrumentación (DTI) de un sistema de control de pH.



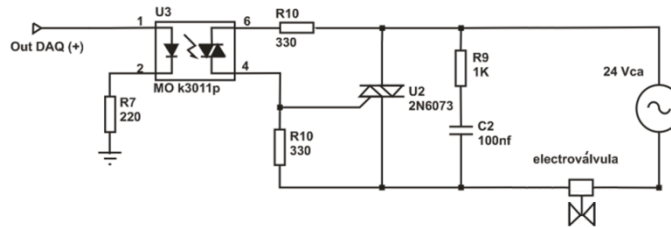
**Figura 3. Diagrama de Tuberías e Instrumentos del proceso.**

En la figura 4 se presenta el diagrama eléctrico punto a punto el control de pH. La medición se realiza por medio de un sensor que genera una señal de micro voltios que es proporcional al potencial de iones hidrogeno contenidos en el agua de riego. La señal del transmisor es conectada a un transmisor que amplifica la señal de micro voltios y la convierte en una corriente de 4 a 20 miliamperios, para que pueda ser enviada hasta el tablero de control en donde se tiene una tarjeta convertidora de corriente a voltaje, El voltaje de salida de la tarjeta acondicionadora se hace llegar al canal cero de una tarjeta de adquisición de datos NI DAQ USB-6008. La tarjeta NI DAQ es conectada a computadora PC donde se tiene instalado el Software LabVIEW y MATLAB Simulink en los cuales se desarrollaran los controladores PID clásico y PD+I Difuso.



**Figura 4. Lazo de control de pH.**

La salida de los controladores son convertidas por medio de un programa en LabVIEW a una señal PWM (pulsos de con amplitud constante de 5 VCD modulados en frecuencia). Finalmente estos pulsos 5 VCD son transformados por medio de una tarjeta con opto acopladores a niveles de voltaje de 24 Vca (figura 5) que son aplicados a las electro válvulas encargadas de dosificar las soluciones acidas o alcalinas que regularan el nivel de pH.



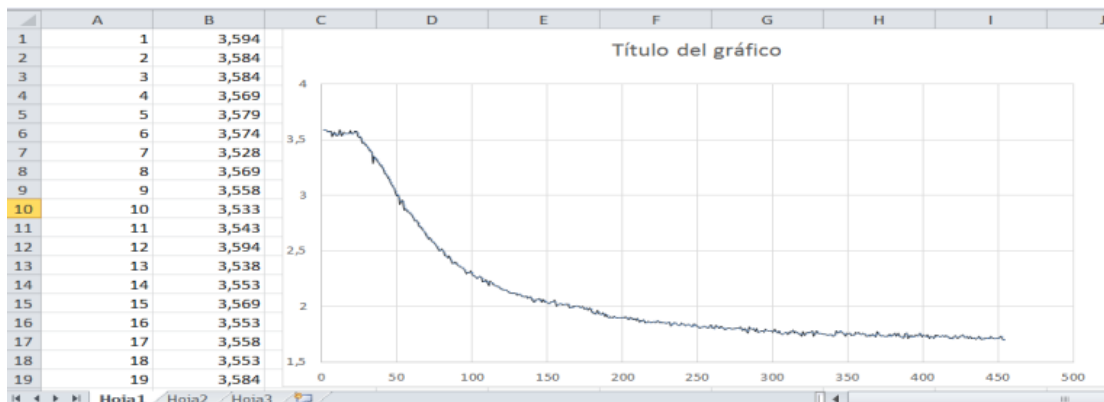
**Figura 5. Circuito opto acoplador para control de electroválvulas de 24Vca.**

La metodología seguida en este proyecto consiste en la caracterización de la planta para obtener el modelo matemático de la misma. Una vez obtenido el modelo matemático este debe ser validado utilizando el Software MATLAB Simulink. El modelo matemático obtenido permite disminuir el tiempo de diseño y evaluación de los controladores. Una vez diseñados y evaluados los controladores PID clásico y PD+I Difuso y en el ambiente de simulación MATLAB Simulink se procederá a programar los controladores en la plataforma LabVIEW para poder realizar los experimentos en tiempo real.

## Resultados

### 2.1 Modelado de la planta.

En la planta de estudio se encontró que el agua de riego por tener un contenido alto de carbonatos, el nivel de pH siempre es mayor de 7.0, por lo cual no será necesario utilizar el tanque de solución alcalina mostrado en la figura 3, y solo se utilizará el tanque de ácidos. Entre los ácidos más comunes con los cuales se trabaja son el ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido fosfórico y en el caso de cultivos orgánicos vinagre y jugo de limón. Al caracterizar la planta se obtuvo el comportamiento mostrado en la figura 6.



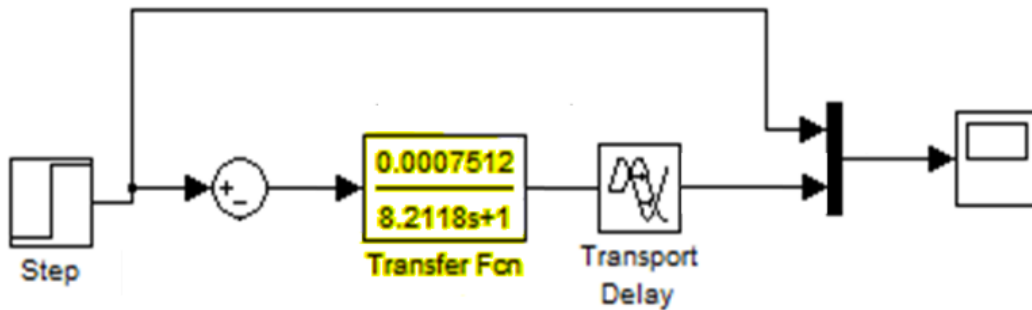
**Figura 6. Caracterización de la planta.**



El modelo obtenido utilizando la función ident de MATLAB fue el siguiente:

$$G(s) = \frac{0.0007512e^{-13.172}}{8.2118s+1} \quad (2.1)$$

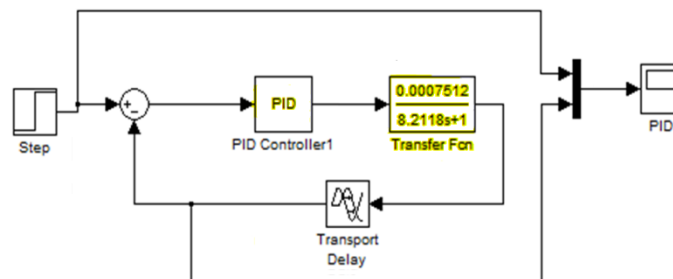
La validación del modelo matemático obtenido se realiza con el programa mostrado en la figura 7. El programa de validación es desarrollado en el Software Simulink de MATLAB.



**Figura 7. Programa en Simulink para validar el modelo matemático.**

### 2.2 Diseño del Controlador PID clásico en el Software MATLAB Simulink.

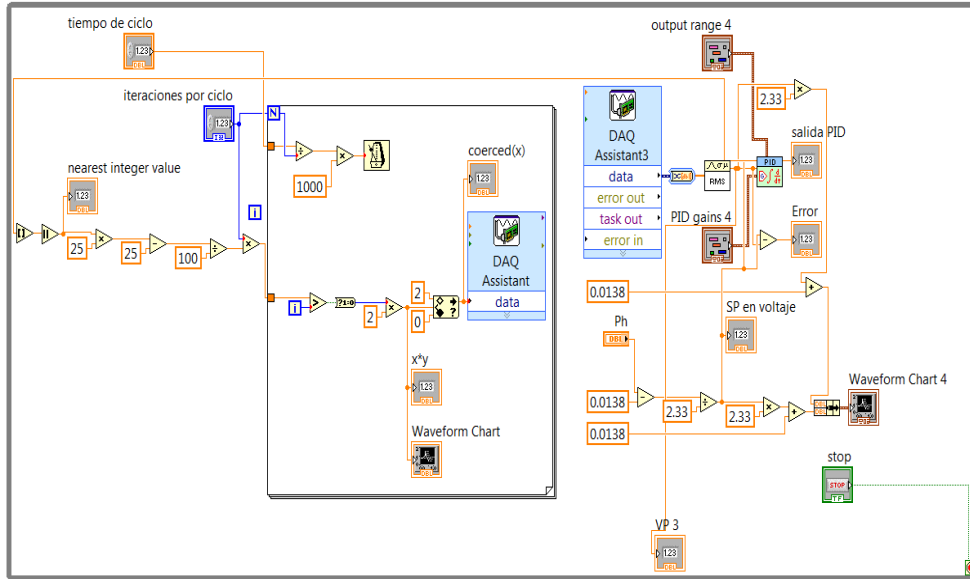
Una vez obtenido el modelo matemático de la planta se procede a realizar en MATLAB la simulación del control de pH con el PID Clásico (figura 8)



**Figura 8. Controlador PID clásico diseñado en la plataforma MATLAB Simulink.**

### 2.3 Diseño del Controlador PID clásico en el Software LabVIEW de National Instruments.

En la figura 9 se presenta el controlador PID clásico desarrollado en la plataforma LabVIEW de National Instruments.



**Figura 9. Controlador PID clásico diseñado en la plataforma LabVIEW**

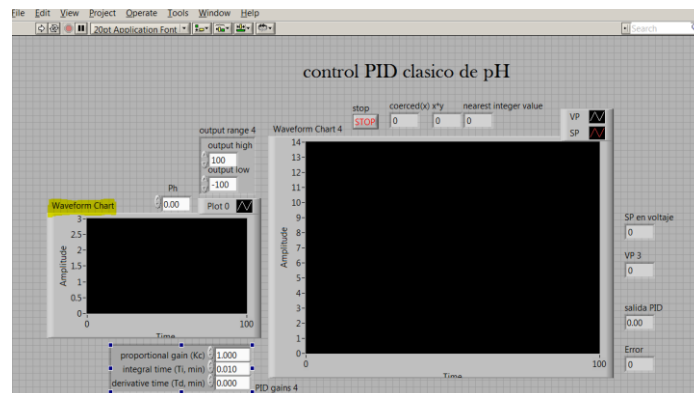
El cálculo de los parámetros de sintonía  $K_p$ ,  $t_i$ , y  $t_d$  del controlador PID clásico fue el siguiente:

$$k_p = \frac{0.85}{k\bar{i}} = \frac{0.85}{0.0007512(8.2118)} \quad k_p = 137.7923 \quad (2.2)$$

$$t_i = 4.8\bar{i} = 4.8(8.2118) \quad t_i = 39.4166 \quad (2.3)$$

$$t_d = 0.4\bar{i} = 0.4(8.2118) \quad t_d = 3.2847 \quad (2.4)$$

En la figura 10 se presenta el front panel del controlador PID clásico desarrollado en LabVIEW.

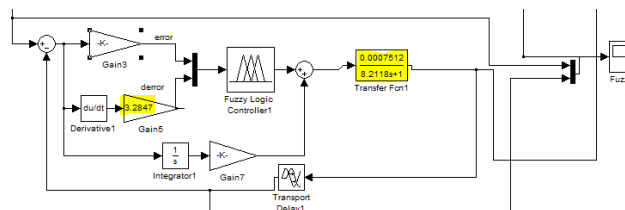


**Figura. 10 Front panel del control PID clásico.**

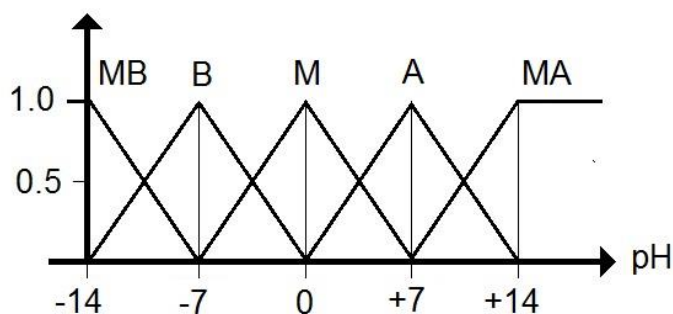
En la figura 10 pueden apreciarse dos gráficas; en la gráfica de tendencias “Waveform chart” se tiene el despliegue de los tiempos de apertura y cierre de la electroválvula y en la gráfica “Waveform Chart 4” se grafica el Setpoint y la tendencia de la variable “pH”.

### 2.4 Diseño del Controlador PD+I difuso en el Software MATLAB Simulink

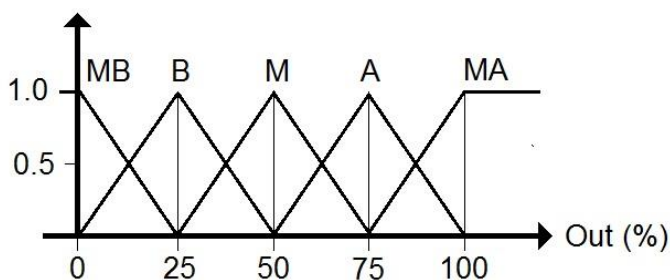
En la figura 11 se presenta el controlador PD+I Difuso desarrollado en la plataforma Simulink de MATLAB. El desarrollo del controlador en esta plataforma de simulación nos permite la creación y optimización de las reglas de operación de la base de conocimientos.



**Figura 11. Controlador PD+I Difuso.**

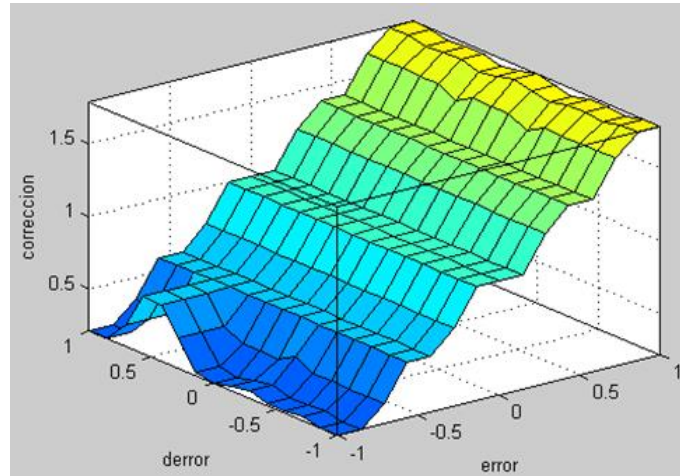


**Figura 12. Universo de discurso de la variable de entrada "Error".**



**Figura 13. Universo de discurso de la variable de salida "Corrección".**

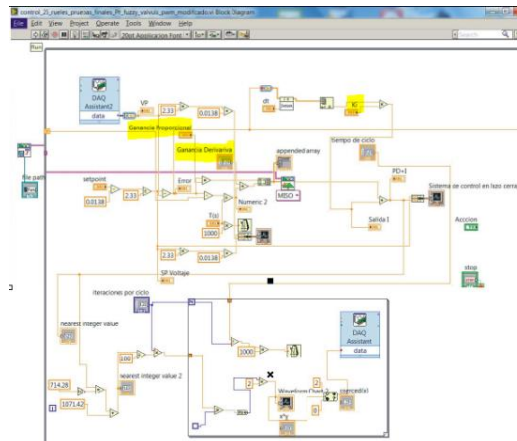
Las 25 combinaciones posibles de los términos Lingüísticos de las dos variables de entradas determina el número de reglas



**Figura 14. Superficie de control del controlador Difuso.**

### 2.5 Diseño del Controlador PD+I difuso en el Software LabVIEW

En la figura 15 se presenta el Controlador PID+I Difuso desarrollado en el Software LabVIEW para su ejecución en tiempo real.



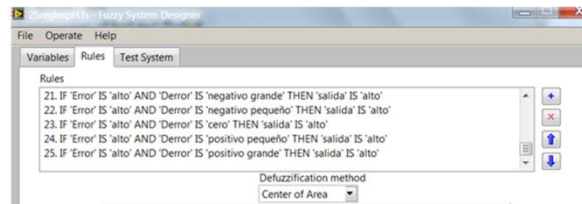
**Figura 15. Control PD+I fuzzy desarrollado en la plataforma LabVIEW.**

En la figura 16 se muestra el Font panel del control PD+I difuso para pH.



**Figura 16. Front panel del control PD+i difuso.**

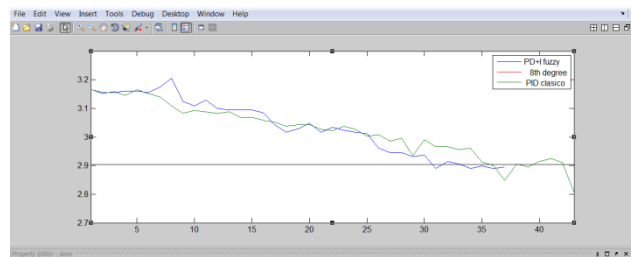
En la figura 17, se muestran las 25 reglas en labView



**Figura 17. Edición de las 25 reglas en LabVIEW**

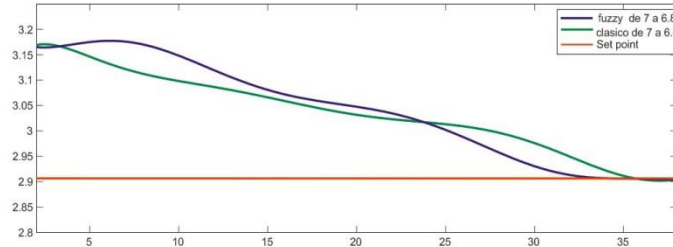
### 3 ANALISIS DE RESULTADOS

En la figura 18 se presenta el desempeño en tiempo real de los controladores PD+i difuso y PID clásico. Los resultados en tiempo real fueron logrados utilizando el Software LabVIEW. En la gráfica de la figura 18 se muestra el comportamiento de los dos controladores cuando el pH esta en un valor de 7.6 (3.16 VCD) y se cambia el Setpoint a 6.8 (2.9 VCD).



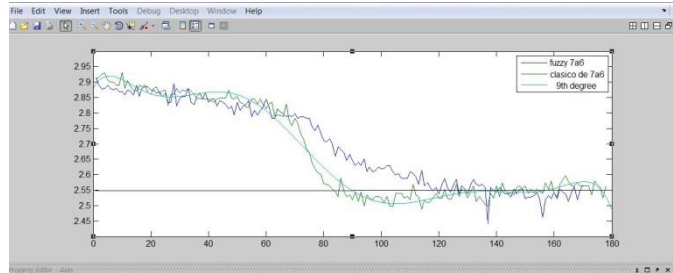
**Figura 18. Control difuso vs Control clásico para un cambio de Setpoint de 7.0 a 6.8.**

En la figura 18 se muestran los resultados reales y en la figura 19 observamos la misma gráfica pero estilizada con el comando spline de MATLAB. En este experimento se observa como el control Difuso (línea en color azul) logra llegar en menor tiempo al Setpoint que el controlador PID clásico (línea de color verde).

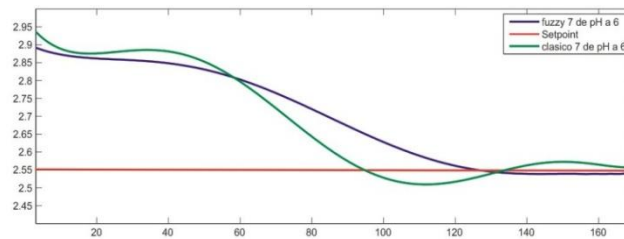


**Figura 19. Grafica estilizada del Control difuso vs Control clásico para un cambio de Setpoint de 7.6 a 6.8 de pH.**

En las figuras 20 se presenta otro experimento en el cual se muestra el desempeño de los controladores para un cambio de Setpoint de 7.6 a 6.0. En este experimento se observa como el control Difuso (línea en color azul) logra un mejor desempeño que el controlador PID clásico (línea color verde). En la figura 21 observamos el mismo experimento pero estilizando la gráfica con el comando spline de MATLAB



**Figura 20. Control difuso vs Control clásico para un cambio de Setpoint de 7.6 a 6.0. Tiempo de muestreo: una lectura cada 10 segundos.**



**Figura 21. Gráfica estilizada del desempeño de los controladores difuso y clásico para un cambio de Setpoint de 7.6 a 6.0.**

		$\Delta e$				
		NG	NP	C	PP	PG
$e$	MB	MB	MB	MB	MB	B
	B	MB	MB	B	B	M
	M	B	M	M	M	MA
	MA	M	MA	MA	A	A
	A	A	A	A	A	A

**Figura 22. Base de conocimientos del controlador PD+I Difuso diseñado.**

#### 4. CONCLUSIONES.

El controlador difuso es diseñado como un traje a la medida para cada aplicación y puede superar al control clásico debido a que es un controlador no lineal y en el mundo real la mayoría de los procesos son también no lineales. El controlador difuso diseñado en el presente proyecto de investigación puede mejorarse optimizando las reglas de la base de conocimientos y superar con un mayor margen al controlador PID Clásico. La principal aportación de este proyecto es la base de conocimientos obtenida, la cual que representa la sabiduría de un operador experto.

#### 5. REFERENCIAS.

- 1 A. Kandel y G. Langholz. 1998. Fuzzy hardware: Architecture & applications. Kluwer Academic Publishers.
- 2 Bart Kosko. 1992. Neural Networks and Fuzzy Systems: a dynamical systems approach to machine intelligence. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- 3 International Symposium on Engineering of Intelligent Systems. Feb'98. España.
- 4 Jerry M. Mendel. 1995. "Fuzzy Logic Systems for engineering". A tutorial. Proceedings of the IEEE. Vol. 83,
- 5 Katsuhiko, Ogata. 2003. Ingeniería de Control Moderna. Editorial Prentice Hall. Madrid, España.
- 6 Leonid, Reznik. 2009. Fuzzy Controllers. Newnespress, LaVergne, USA
- 7 N. Acosta; E. Todorovich. 1999. A high – level synthesis tool for generating fuzzy logic controllers. Lima.
- 8 N. Acosta; J. Garrido. 1998. Segment representation for membership functions.
- 9 Paul H. Lewis; Chang Yang. 1999. Sistemas de control en ingeniería. Editorial Prentice Hall. Madrid, España.
- 10 W, Bolton. 2001. Ingeniería de control. Alfaomega. México.

## 2. AUTOMATIZACIÓN

### 2.1 ACTUALIZACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL REGISTRO Y ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD MOTORA EN RATAS IMPLEMENTANDO COMUNICACIÓN ETHERNET, BLUETOOTH, Y ESCRITURA EN MEMORIAS FLASH USB.

Francisco José Heredia López, Daniel Roberto Chacón Matú, Geenkel Miguel Coss Lara

Eduardo Castro Castro

Centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi

hlopez@uady.mx, dchaconmatu@gmail.com, mcoss002@hotmail.com,  
moneda\_20@hotmail.com

#### RESUMEN.

Se presenta una alternativa robusta para el almacenamiento y administración de datos provenientes de un sistema de medición y registro de la actividad motora de ratas de laboratorio. El diseño original del sistema de medición consiste en una caja elaborada de acrílico transparente con dimensiones de 50 x 50 x 50 cm, la cual cuenta con sensores instalados de manera que se puedan recolectar datos en un formato de coordenadas cartesianas (x, y, z). La versión actual del dispositivo es controlado por un PIC18F877 el cual, al terminar el experimento, almacena los datos obtenidos en una tarjeta de memoria SD (Secure Digital) para su posterior análisis en una PC utilizando un software diseñado para esta actividad. El ambiente en el que se realizan los experimentos deteriora dicha memoria por lo cual, su vida útil se reduce aproximadamente a 2 meses. El diseño del sistema en desarrollo incluye comunicación Ethernet, envío de datos por Bluetooth y escritura en memorias flash USB. Con esto se pretende garantizar la integridad y disponibilidad de los datos obtenidos. Se conservan únicamente los circuitos y las rutinas utilizadas para la obtención de la posición de la rata.

#### ABSTRACT.

A robust alternative for the storage and management of data from a system of measuring and recording the motor activity of rats is presented here. The original design of the measuring system consists of a box made of acrylic with dimensions of 50 x 50 x 50 cm, which has installed sensors so that data can be collected in a form of Cartesian coordinates ( x , y , z ) . The current version of the device is controlled by a PIC18F877 which stored the data at the end of the experiment on a SD(Secure Digital) memory card for analyze it on a PC using software designed for this activity. The current environment in which the experiments are performed deteriorates the memory; therefore his life is reduced to about 2 months. The new system design includes Ethernet communication, data sent via Bluetooth and USB flash memory writing. This is for ensure the integrity and availability of data. The circuits and the routines used to obtain the position of the rat will be maintained.

#### 1. INTRODUCCIÓN.

En el terreno de la neurociencia se utilizan múltiples modelos animales como analogías experimentales de enfermedades. Estos modelos son imperfectos y, por lo general, la similitud con el hombre es lejana y únicamente relativa a algunos aspectos concretos de la enfermedad. A pesar



de esto, se utilizan para comprender los mecanismos de las enfermedades y poder establecer nuevos tratamientos. Todos los ámbitos del comportamiento se someten a la experimentación animal. La creación de modelos tiene sus limitaciones, ya que se trata de reproducir en un animal sano conductas humanas complejas. La rata es uno de los modelos animales más utilizados. Para observar su comportamiento, estando sometidas a un fármaco o una lesión cerebral, se utilizan diferentes modelos.

A menudo, estos experimentos deben repetirse varias veces el mismo día y cada uno puede durar varias decenas de minutos. Para una persona, observar y registrar el comportamiento de la rata durante un periodo de tiempo prolongado es una tarea repetitiva, tediosa y cansada que puede ocasionar que ésta cometa errores. Por este motivo se han desarrollado diferentes sistemas que realizan el análisis y el registro de manera automática, eliminando así la subjetividad que pudiera tener el experimentador.

Los componentes electrónicos de los que pudiera estar constituido el sistema de medición deben operar bajo ciertas condiciones en el ambiente para garantizar su correcto funcionamiento. Tales condiciones podrían no coincidir con las presentes en el lugar donde se realizan los experimentos. Esto podría ocasionar que el sistema presente una falla y que los datos obtenidos pudieran no ser los correctos.

## **2. ANTECEDENTES.**

Dos tipos de movimiento del animal de estudio son el desplazamiento horizontal o locomoción (libre movimiento sobre sus cuatro patas) y exploración vertical (erguida en dos patas). La locomoción es una de las conductas más prominentes en el repertorio del comportamiento espontáneo de las ratas.

La actividad motora de los animales puede alterarse debido a muchos factores como pueden ser la curiosidad, el miedo y la novedad. Por lo tanto es necesario que el animal pase por una etapa de habituación antes de cualquier proceso experimental.

Para la realización de experimentos orientados al estudio de los efectos que los fármacos tienen sobre el sistema locomotor, se emplean ratas las cuales previamente han sido adaptadas a un ambiente determinado. Esto se hace con el fin de lograr que antes de iniciar los tratamientos el animal se familiarice con el entorno y desarrolle una conducta considerada normal. Dicha conducta puede ser usada como control o referencia al estudiar nuevamente su conducta tras aplicarle fármacos que se espera tengan algún efecto sobre ésta.

### **2.1 Importancia de la medición de la actividad motora**

Medir la actividad motora es de gran importancia en muchas áreas de investigación biomédica, ya que con esta se puede obtener información del comportamiento general del animal en estudio. Las variaciones en el comportamiento pueden ser usadas como indicador de actividad en el sistema nervioso de interés.

### **2.2 Métodos disponibles para la medición de la actividad motora**

Métodos observacionales: El más comúnmente usado es el de campo abierto. Un típico campo abierto es un espacio cuadrado cerrado bastante grande para que el animal pueda moverse por todas partes. El área es dividida en unidades periféricas y centrales. La ventaja de los métodos observacionales es que el experimentador puede ver directamente al animal durante todo el tiempo de experimentación y puede detectar comportamientos raros o inesperados. La desventaja es que son laboriosos y tediosos.

Métodos automatizados: (Geyer et al., 1986) y (File et al., 1975), reportan el uso de un sistema automatizado basado en haces infrarrojos para medir la cantidad de actividad espontánea en ratas. Un segundo grupo de metodologías para censar conducta motora, contempla el uso de sistemas de video como los descritos por (Golani, et al., 1993), (Schwartzing, et al., 1993) y (Sams, 1995). Todos estos sistemas requieren el uso de programas de computación para realizar el análisis de la conducta observada.

La ventaja de los sistemas automáticos es que se elimina completamente la subjetividad del observador, haciendo el registro más confiable y eficiente. Una desventaja es el alto costo de adquisición.

### **2.3 Descripción del diseño original**

Los módulos con los cuales cuenta el diseño original son los siguientes:

- Módulo de sensores ópticos para detección de movimientos.
- Módulo de control (“driver”) de LEDs y receptores infrarrojos.
- Módulo de control y manejo de datos obtenidos.
- Fuente de alimentación.

A continuación se describen cada uno de estos:

**Módulo de sensores ópticos:** Consiste en un conjunto de 54 elementos: 27 emisores infrarrojos y 27 fototransistores receptores integrados a 6 rieles de plástico que los distribuyen en grupos de 9 sensores alineados. Tres de estos rieles son de emisores y 3 de receptores instalados en paredes opuestas de la caja de acrílico.

**Módulo de control (“driver”) de LEDs y receptores infrarrojos:** Se encarga de tomar los datos enviados por los sensores para después adecuar sus características eléctricas de manera que estas puedan ser enviadas al módulo de manejo y manipulación de datos, a través de un bus de 9 líneas.

**Módulo de control y manejo de datos obtenidos:** Consiste en un microcontrolador PIC16F877 programado en lenguaje ensamblador con rutinas que permiten la lectura de los datos enviados por el “driver”, y que realiza operaciones para poder codificar en el formato ASCII la información eléctrica obtenida, para después desplegarla en una pantalla LCD de 32 caracteres. Asimismo controla el almacenamiento en memorias EEPROM. También controla las opciones para el inicio del experimento, la configuración de la duración del experimento, y la terminación del mismo. Por otro lado, cuenta con un software desarrollado con el sistema de programación gráfica LabVIEW, el cual permite a los usuarios obtener los datos enviados a la PC en un formato que les permita registrar y analizar los resultados de los experimentos. Para la transferencia de los datos a la PC se utiliza comunicación USB. Además, las rutinas en el PIC16F877 permiten crear un archivo de texto en una memoria SD en donde se almacenan los resultados.

**Fuente de alimentación:** Para la alimentación del sistema se utiliza un eliminador de baterías conectado a un tomacorriente. Como energía de respaldo se utilizan 7 pilas AA recargables, las cuales tardan en cargarse por completo aproximadamente 3 horas con 24 minutos.

### **3. HIPÓTESIS.**

Al implementar comunicación Ethernet, USB y Bluetooth para el almacenamiento y respaldo de los datos obtenidos en los experimentos sustituyendo a la memoria SD, así como la sustitución de la energía de respaldo por una pila de Li-Ion se garantizará la integridad de los datos y se logrará un mejor manejo de estos.

#### 4. OBJETIVO.

Añadir confiabilidad y eficiencia al diseño del sistema de medición de actividad motora al agregar escritura en memorias USB, envío de datos por Bluetooth a un dispositivo móvil o por Ethernet a una base de datos, así como utilizando componentes modernos con menor gasto de corriente y sustituyendo la energía de respaldo por una pila de Li-Ion.

#### 5. METODOLOGÍA.

Los cambios que se realizarán en el diseño electrónico de la caja de medición de actividad motora son los siguientes:

1. Fuente alimentación basada en bombas carga.
2. Cargador de pilas Li-Ion.
3. Sustitución del microcontrolador principal.
4. Integración del módulo Bluetooth.
5. Integración del módulo de "USB On The Go"<sup>1</sup>.
6. Integración del módulo de Ethernet.

##### 5.1 Fuente de alimentación basada en bombas carga

Se modificó la parte correspondiente a la fuente de alimentación con la finalidad de mejorar el sistema de carga de las pilas. La corriente que alimenta a todo el sistema proviene de un eliminador de baterías conectado a un tomacorriente. Éste entrega 9 Volts de corriente directa que deben regularse a 5 Volts. Debido al alto consumo de corriente del sistema, para regular el voltaje de entrada a 5 Volts se utilizarán dos reguladores LM7805 conectados en paralelo para lograr una corriente máxima de 4 Amperes que alimentaran al sistema y además cargará la pila de Li-Ion. Se utilizarán 2 diodos Schottky para multiplexar la alimentación. Si está conectado a la red eléctrica el circuito no tomará energía de la batería. Debido a que el voltaje de la batería es de 3.7 Volts es necesario incrementar su voltaje a 5 Volts ya que varios componentes funcionan con este nivel de voltaje. Para ello se empleará el circuito integrado LT1935 en configuración de convertidor tipo Boost el cual puede otorgar 5 Volts en su salida teniendo un voltaje de entrada desde 2.3 Volts. Como este circuito solo puede otorgar 1 Ampere se decidió utilizar dos de estos en paralelo ya que se cuenta con los componentes necesarios como se puede apreciar en la figura 2.

##### 5.2 Cargador de pilas Li-Ion

El diseño actual tiene 7 baterías AA recargables NiMH de 1.2 Volts que sirven como alimentación de respaldo y cuenta con el circuito necesario para cargarlas. Para el nuevo diseño se utilizará una pila de Li-Ion de 2200mAh la cual tiene una mayor capacidad de carga por unidad de área. El circuito original para la carga de las baterías fue remplazado por completo. Se utilizará el circuito integrado de Microchip Inc. Mcp73833 para el control de la carga de la pila de Ion-Litio. El circuito de regulador de voltaje y cargador de batería puede verse en la figura 1.

---

<sup>1</sup> USB On The Go permite a un puerto actuar como servidor o como dispositivo; esto se determina por qué lado del cable está conectado al aparato. Incluso después de que el cable está conectado y las unidades se están comunicando, las 2 unidades pueden "cambiar de papel" bajo el control de un programa.

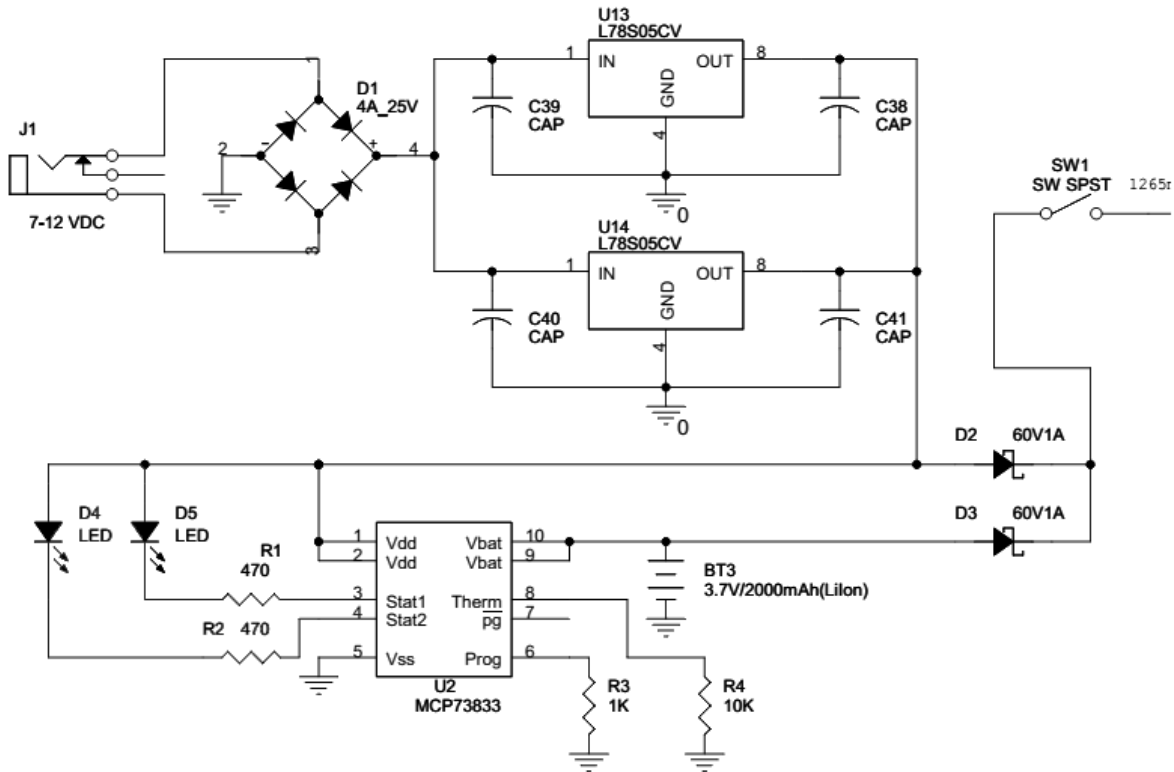
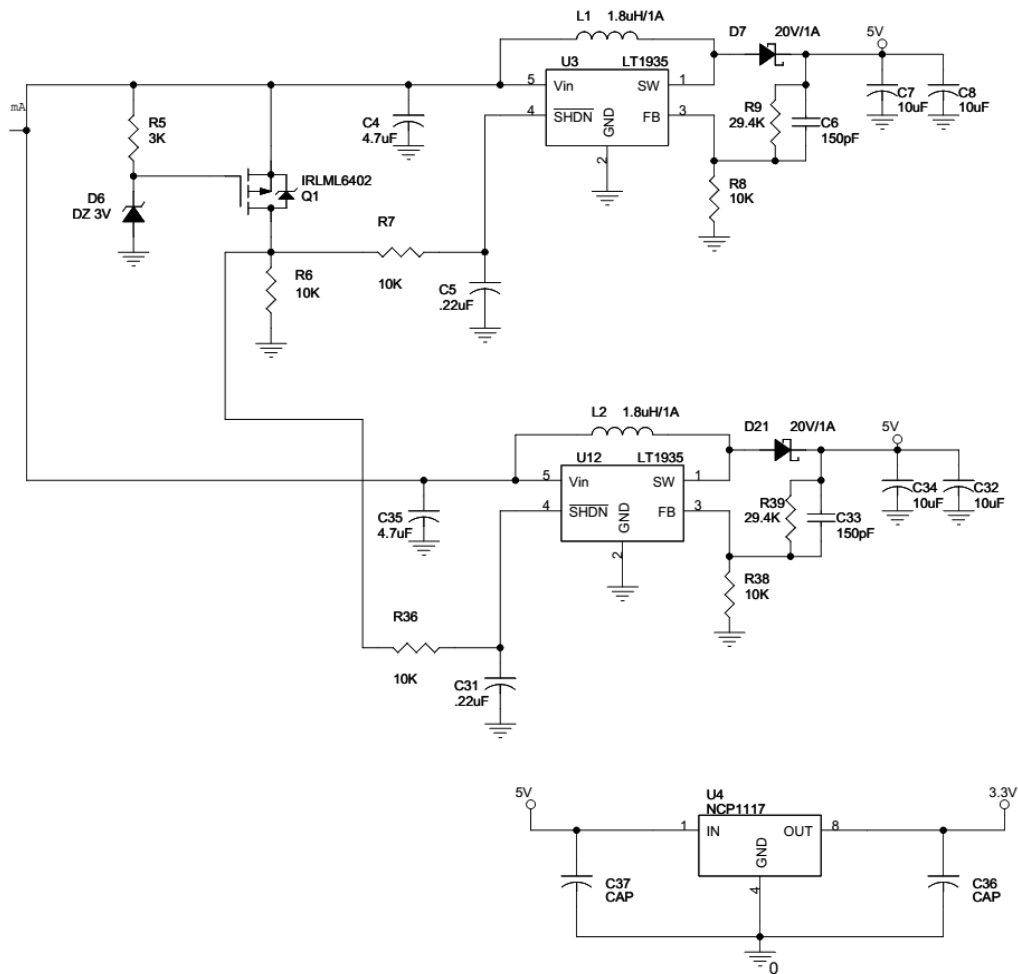


Figura 2. Circuito de bomba de carga de 5 Volts y regulador de 3.3 Volts

### 5.3 Sustitución del microcontrolador principal

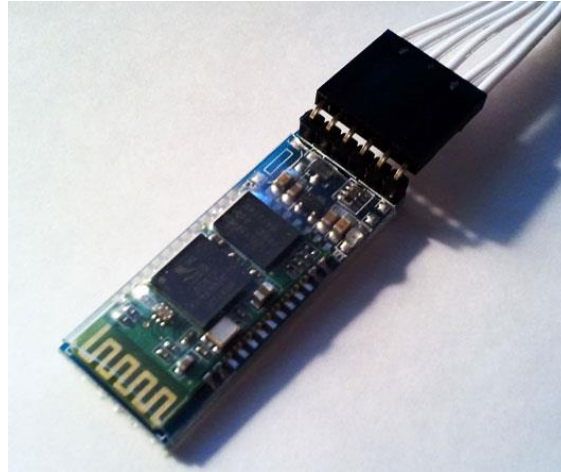
EL microcontrolador PIC16F877 será sustituido por un PIC18F4550 el cual posee más memoria de programa además de que puede programarse con mayor eficiencia. Este microcontrolador se comunicará con el módulo de control de LEDs y receptores infrarrojo para obtener la posición de la rata en la caja. Los datos obtenidos se almacenaran en primera instancia en una memoria no volátil FRAM de bajo consumo. Este microcontrolador tendrá las rutinas para convertir los datos recolectados del experimento almacenados en la FRAM a formato ASCII para luego ser enviados al módulo Bluetooth, al módulo USB o al microcontrolador encargado de enviar los datos por Ethernet.



**Figura 3. Circuito de bomba de carga de 5 Volts y regulador de 3.3 Volts.**

#### 5.4 Integración del módulo Bluetooth

Debido a que el Bluetooth es un tipo de comunicación muy común entre los dispositivos móviles se decidió añadir un módulo Bluetooth al sistema para el envío de los datos del experimento. Con esto se pretende que si el experimentador no cuenta, en el momento de terminar el experimento, con una memoria flash USB, pueda utilizar su teléfono celular para obtener los datos. Para ello se desarrollara una aplicación para el sistema operativo Android y Windows Phone que sea capaz de comunicarse con el sistema de medición. El módulo de Bluetooth que se utilizará es el HB-01 el cual utiliza comunicación serial asíncrona para comunicarse con el microcontrolador. Este módulo simula ser un cable serial que tiene como extremos el dispositivo al cual está conectado físicamente y el dispositivo móvil.



**Figura 4. Módulo Bluetooth HB-01.**

### **5.5 Integración del modulo USB On the Go**

Para la escritura en memorias flash USB se utilizó el módulo VDrive2 de la compañía “Future Technology Devices International” (FTDI). El módulo dispone de una interfaz de conexión USB conectado al controlador VNC1L el cual es un host de USB producido por la misma compañía. Para comunicarse con el microcontrolador PIC18F2550 el módulo cuenta con una interfaz UART de 4 líneas. Los datos se almacenaran en un archivo de texto dentro de la memoria flash conectada al módulo.



**Figura 5. Módulo USB Vdrive2.**

### **5.6 Integración del modulo Ethernet**

Surgió la necesidad de guardar los datos de cada experimento de manera permanente, segura, fácil administración y consulta. Esto se soluciono agregando un modulo Ethernet que está basado en el ENC28J60 de Microchip Inc. Éste módulo contiene todo lo necesario para disponer de una interfaz de red Ethernet para cualquier microcontrolador. Para el control del módulo se utilizará un microcontrolador PIC18F2550 el cual recibirá los datos del experimento utilizando comunicación i2c. Este microcontrolador ejecutara las rutinas del stack del protocolo TCP/IP proporcionadas por Microchip las cuales segmentan y empaquetan los datos que después son enviados al módulo Ethernet por medio de comunicación SPI. El módulo envía los datos sobre la red local a un servidor.

Se ha desarrollado una base de datos basado en el modelo relacional, en el cual se almacenarán todos los datos generados por los experimentos. Esto con el fin de tener la información

centralizada, sistematizada, con alta disponibilidad, protegida y que pueda ser consultada en cualquier momento desde cualquier computadora del centro de investigaciones. Para el acceso a esta información por parte del usuario, se desarrollará un sistema web en lenguajes de programación PHP, HTML, JAVASCRIPT, y AJAX que contará con los módulos de seguridad, de consulta y administración de usuarios.



**Figura 6. Módulo Ethernet.**

## 6. CONCLUSIONES

Se propusieron varios métodos para almacenar los datos provenientes de los experimentos utilizando los protocolos de comunicación más utilizados en la actualidad para estar a la vanguardia. El producto terminado permitirá al investigador, usuario de la caja de medición de actividad motora, tener un mejor manejo de los datos provenientes del experimento. Además, el experimentador no perderá tiempo si llega a presentarse una falla eléctrica. Sólo tendrá que preocuparse por analizar los datos obtenidos y no de cómo obtenerlos.

## REFERENCIAS

1. John G. Webster (2010), Medical Instrumentation application and design, Cuarta edición, John Wiley & Sons Inc.
2. Francisco J. Heredia López, "A system for automatic recording and analysis of motor activity in rats", Behav Res (2013) 45:183–190.
3. Karen Navarrete (2004), "Diseño y construcción de un sistema para la captura y análisis de datos de conducta motora de ratas en experimentación"
4. [http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS\\_Vinculum-II.pdf](http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_Vinculum-II.pdf)
5. M. Geyer, P. Russo, V. Masten, Pharmacol B., 25, (1986), 277 - 288
6. E. File, H. Baldwin, A. Johnston, L. Wilks, Pharmacol B., 30, (1988), 809 - 815
7. N.T. Brockwell, D.S. Ferguson, R.J. Beninger, J Neurosci M., 64, (1996), 227 - 232
8. I. Golani, Y. Benjamin, D. Eilam, Behavioral B., 53, (1993), 21 - 23
9. R. Schwarting, R. Goldenberg, H. Steiner, J. Fornaguera, J. Huston, J Neurosci M., 49, (1993), 199 - 210

## **2.2 PROPUESTA DIDÁCTICA DE BANDA TRANSPORTADORA AUTOMATIZADA PARA AUTOEQUIPAMIENTO.**

Martha I. Aguilera Hernández, José Luis Ortiz Simón, Francisco Zavala Ochoa, Pedro Solís Álvarez

Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo

maguilera@hotmail.com, mecatron\_itnl@yahoo.com.mx

### **RESUMEN.**

Este trabajo presenta una propuesta didáctica para la implementación de un prototipo tipo banda transportadora que realiza la operación de estampado para la identificación de piezas. El prototipo fue diseñado con fines didácticos como auxiliar en materias afines al manejo de PLC (Controladores Lógicos Programables) y forma parte de un programa de autoequipamiento de aulas-laboratorio de la Academia de Ingeniería Mecatrónica del Tecnológico de Nuevo Laredo.

### **1. INTRODUCCIÓN.**

En la actualidad se requiere de apoyos a la educación que permitan al alumno tener un aprendizaje con el cual logre enlazarse con la vida real. La propuesta de aulas-laboratorio permite tener esa opción para alcanzar en gran parte este objetivo. Pero esta propuesta requiere de un sistema de autoequipamiento que permita tener en estas aulas apoyos didácticos enfocados al área de especialización de cada materia. La automatización y la agilización de nuestros procesos industriales se han convertido en una cuestión de suma importancia debido a la necesidad de realizar las tareas de manera más sencilla y a bajo costo. El concepto del control de piezas procesadas es básico en las empresas ya que si se tiene un buen control de la materia prima trabajada podremos tener mejor control sobre la calidad en nuestro producto, es decir, se busca la manera de que tengamos siempre identificado el lugar de donde provienen nuestras piezas fabricadas con alguna marca personalizada en nuestro producto. Por esta razón en este trabajo se presenta una propuesta didáctica para la implementación de un prototipo tipo banda transportadora que realiza la operación de estampado para la identificación de piezas. Este prototipo tiene como procesador central a un PLC (Controlador Lógico Programable)

Para el caso de este prototipo se dio a la tarea de investigar algunas de las necesidades de las empresas para mejorar en cuanto a sus sistemas de producción y los elementos necesarios para que los alumnos puedan interactuar y conocer acerca de la relación de todos los elementos que contiene estos sistemas de producción. Esto nos permite realizar prácticas con las que podamos llevar la simulación a un nivel de aplicación más experimental brindando la experiencia necesaria para poder desenvolverse en el ámbito laboral de mejor manera.

Otro de los aspectos importantes a considerar en la realización de este prototipo fue buscar la manera de poder implementarlo utilizando material reciclado. Para realizar la estructura de todo el sistema fue necesario diseñar las bases donde van montados los pistones para poder realizar la estación de la simulación del estampado del material.

Las áreas o materias en las cuales nos será de gran utilidad este prototipo son las siguientes:

- En el área de eléctrica.

Para el conocimiento relacionado con las conexiones de todos los elementos en el circuito, brindando el conocimiento de las partes y la manera en la que se conectan de acuerdo al circuito.

- En el área de plc's.



Conocimientos de programación y simbología para uso de la lógica ya que es una de las partes más importantes en el ámbito laboral que un egresado de ingeniería en Mecatrónica debe tener.

- En el área de neumática.

Conocimiento de simbología y conexión.

- En el área de ensamblajes mecánicos.

Para conocimiento sobre mecanismo para la transferencia de movimientos y de potencia.

## **2. DESARROLLO.**

El sistema de competencias que actualmente está vigente en el Sistema de Institutos Tecnológicos ha implementado la titulación integral. Esta forma de titulación consiste en que el alumno durante su carrera debe desarrollar un proyecto encaminado a solucionar algún aspecto relacionado con su especialidad. Se le ha denominado proyecto integrador [1]. Este proyecto puede ser realizado dentro ó fuera de la institución.

Para los proyectos que se desarrollan dentro de la institución se ha establecido que las academias tengan un banco de proyectos en los cuales el alumno puede seleccionar uno de su interés.

Cada trabajo que el alumno selecciona se le debe dar un seguimiento. Con estos proyectos se pretende que el alumno aplique los conocimientos adquiridos en la carrera en la solución de un problema de su especialidad.

Este seguimiento se realiza a través de diversas materias de acuerdo al proyecto seleccionado. La Academia de Ingeniería Mecatrónica propuso un Proyecto General denominado de autoequipamiento de aulas-laboratorio. Las aulas-laboratorio requieren de prototipos didácticos para aplicar de forma óptima el sistema de competencias. De esta manera, surge esta propuesta didáctica encaminada a lograr un equipamiento específico de las aulas-laboratorio sobre todo en las materias que componen el Módulo de Especialidad de este instituto que es el de "Automatización avanzada".

### **2.1 Ejemplo de la aplicación de la propuesta didáctica**

En esta sección se muestra el desarrollo de un proyecto que los alumnos iniciaron en el cuarto semestre de la carrera y al cual se le dio seguimiento hasta convertirse en su trabajo de titulación, pero además formando parte del objetivo de autoequipamiento de la Academia de Mecatrónica.

Para su implementación, se buscaron los elementos necesarios de un sistema de automatización básico, ya que en la actualidad se pueden encontrar productos de este tipo con tecnología de punta pero a unos precios muy elevados. En la figura 1 se muestra el esquema general del prototipo de la Banda Transportadora Automatizada (BTA). Este esquema muestra la parte de control formada por un PLC, la parte sensorial, la cual utiliza un sensor laser y la parte motriz la cual se la dan los motores y actuadores.

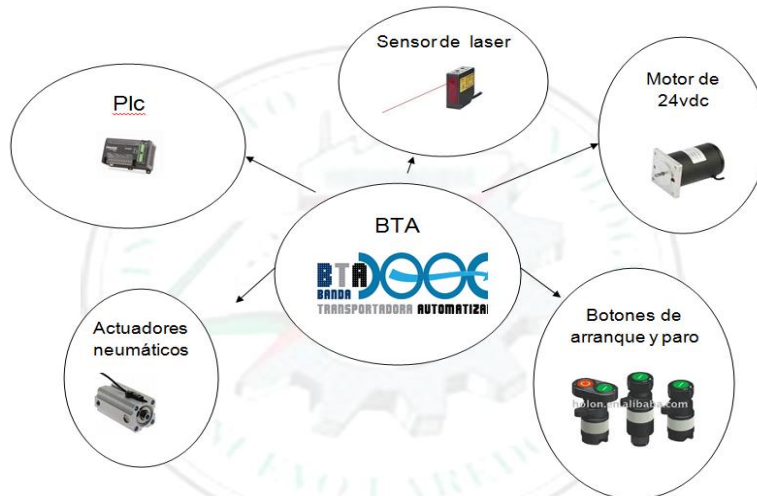


Figura 1. Esquema general del prototipo BTA.

Algunos elementos fueron aprovechados de materiales en desuso y fueron procesados para poder realizar la estructura. Estos materiales se muestran en las figuras 2, 3,4.



Figura 2. Bases de pistones.



Figura 3. Bases de pistones (2)



Figura 4. Estructura para pistón.

Para crear la caja de control se utilizó el material que se muestra en la figura 5.

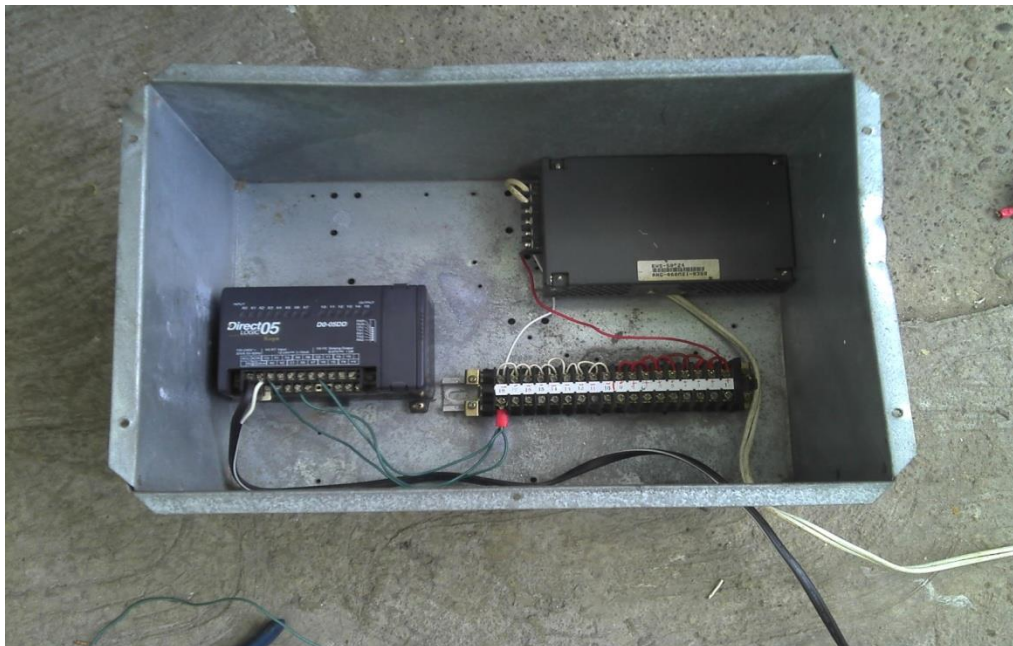


Figura 5. Caja de control vista superior.



**Figura 6. Banda con pistones montados**

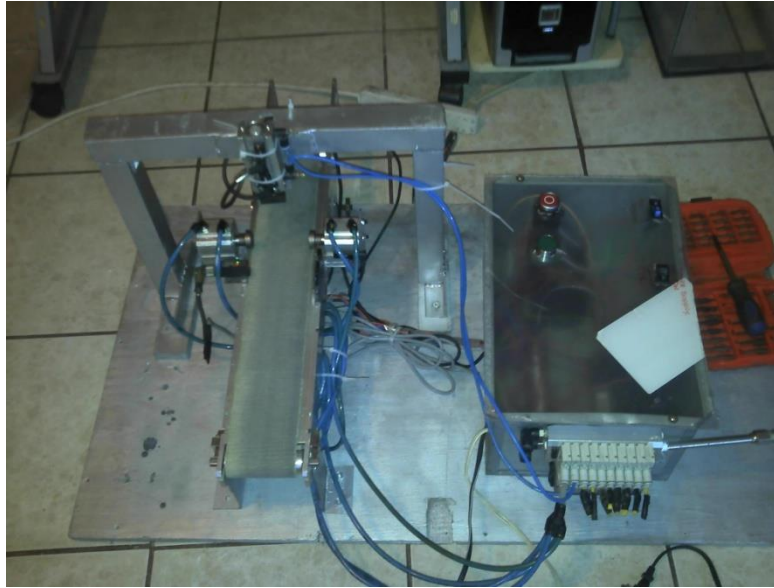
En la etapa de desarrollo fue necesario contar con programas de simulación que permitieron diseñar (simular), antes de conectar los componentes eléctricos y neumáticos, además de probar la programación antes de ser descargada en el programador, y así evitar malos funcionamientos en el sistema.

Después, se procedió a desarrollar todo en forma práctica, desde el ensamblaje hasta las pruebas necesarias utilizando diferentes métodos de programación. (Figuras 5, 6 y 7).



**Figura 7: Proceso de ensamblaje**

Obteniendo como resultado el prototipo de la figura 8, la cual cuenta con lo necesario para realizar las diferentes prácticas didácticas.



**Figura 8: Prototipo terminado.**

Se tiene actualmente la propuesta de poder realizar diversas estaciones con diferentes procesos tales como:

1. Conteo de piezas con selección por color.
2. Selección de piezas por forma
3. Embalaje de piezas

De modo que se puedan entrelazar y poder apoyar a partir de estos prototipos la materia de redes industriales que sería de gran beneficio para la carrera.

Este trabajo se presentó en diversos foros para darle la continuidad al proyecto:

- Exposición de Proyectos en Semana Académica de Ing. Mecatrónica. Diciembre del 2011.
- Participación en el Concurso CTU 2012. Premio al Primer Lugar en Innovación Tecnológica. Mayo del 2012.

## **2.2 Requerimientos para aplicar esta propuesta didáctica.**

a) Realizar en academia un estudio de las necesidades de equipamiento ya sea de aulas-laboratorio ó su laboratorio. Coordinar el fondo económico para apoyar a los proyectos viables.

a) Crear una base de datos de proyectos enfocados a cubrir las necesidades de autoequipamiento. Cada proyecto con su profesor responsable de dar el seguimiento.

b) Establecer comunicación constante entre los miembros de la academia para el seguimiento.

c) Realizar cada semestre ó año una exposición de los proyectos realizados y en proceso. Esto es para fomentar la motivación en los alumnos acerca de los logros alcanzados en cada etapa. También se fomenta la participación de los Padres de Familia que asisten a ver el trabajo realizado por sus hijos.

d) Publicar los resultados de los proyectos en algún medio para la comunidad. (Periódico, Congresos, Revistas, Concursos de innovación tecnológica, Semanas académicas.)

e) Establecer una base de datos de los proyectos ya realizados con la finalidad de darles continuidad a los que se requieran y evitar duplicidad de resultados. (Página de internet del

Instituto).

f) Implementar talleres acerca de un tema especializado que los alumnos requieran para mejorar sus proyectos. (Ejemplo: talleres de máquinas-herramientas, software de simulación, etc.)

### **2.3 Comparación de la propuesta con otras instituciones con autoequipamiento.**

El Instituto Tecnológico de Chihuahua tiene el programa "CRODE CHIHUAHUA" [4], que diseña prototipos para el servicio de las diversas carreras de los tecnológicos. Pero es un programa general. La propuesta de este artículo está enfocada a lograr el equipamiento encaminado al módulo de especialidad, que es muy específico para cada tecnológico. También esta propuesta tiene una visión en desarrollo sustentable, de modo que materiales en desuso se puedan reutilizar. Por último, la propuesta es una ayuda para desarrollar sistemas que fomenten el desarrollo de proyectos integradores propuestos en el sistema de competencias.

### **3. CONCLUSIONES**

En este trabajo se presentó una propuesta didáctica para el desarrollo del seguimiento e implementación de una banda transportadora de materiales con un énfasis en el desarrollo sustentable.

Este prototipo se considera piloto en el inicio de autoequipamiento de las aulas-laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecatrónica de este instituto. Los resultados del prototipo son un ejemplo para fomentar los programas de investigación.

Se espera poder realizar las demás estaciones para realizar las prácticas del área de redes industriales y crear todo un proceso completo desde las estaciones de distribución de material, almacenamiento, procesamiento y empaque.

### **4. REFERENCIAS**

1. Dirección de docencia DGEST, Documento: "*Proyectos integradores para el desarrollo de competencias en el SNIT*", Octubre del 2013.
2. Zavala O. Francisco, Solís A. Pedro, Reporte de Proyecto de Taller II: "*Banda Transportadora Automatizada*", Mayo del 2013.
3. Automatización en la industria, <http://www.skf.com/portal/skf/home/industries?contentId=512920>, 16 de marzo 2012.
4. Crode, Chihuahua, <http://www.crodechihuahua.edu.mx/equipos.htm>, Abril del 2014.

### 3. BIOMEDICA

#### 3.1 DISEÑO DE UN MÓDULO INALÁMBRICO PARA EL REGISTRO DE ACTIVIDAD CARDIACA Y MEDICIÓN DE FRECUENCIA RESPIRATORIA CON SENSORES DE MOVIMIENTO.

Br. José Gaspar Cruz Guillén, I.C. Diego E. Salazar Loría, M.C. Irving Cifuentes González,

Dr. Francisco José Heredia López

Escuela de Ingeniería, Universidad Modelo

Centro de Investigaciones Regionales “Dr. Hideyo Noguchi”

gasparcruz@live.com.mx, diego.salazar.ic@gmail.com, irving.aacg@gmail.com,

hlopez@uady.mx

#### RESUMEN.

En este trabajo se presenta el diseño de una tarjeta electrónica con transmisión inalámbrica de datos, que permita el registro de señales cardiacas y de frecuencia respiratoria de un paciente; implementará sensores de movimiento (acelerómetro y giroscopio). El sistema será capaz de monitorear y transmitir dicha información por medio de radiofrecuencia (RF) a una tarjeta electrónica receptora. El implementar una comunicación por radiofrecuencia con un módulo transceptor GFSK (Gaussian Frequency Shifting Keying), permitirá una alta tasa de transferencia de datos. La tarjeta receptora inalámbrica integrará un transceptor de radiofrecuencia y un microcontrolador, lo que permitirá la comunicación con una computadora por medio de USB (Universal Serial Bus). Mediante un programa en desarrollo dentro del ambiente LabVIEW, la computadora será capaz de procesar las señales biológicas y presentarlas al usuario final. Esto permitirá el monitoreo de las señales biológicas en tiempo real.

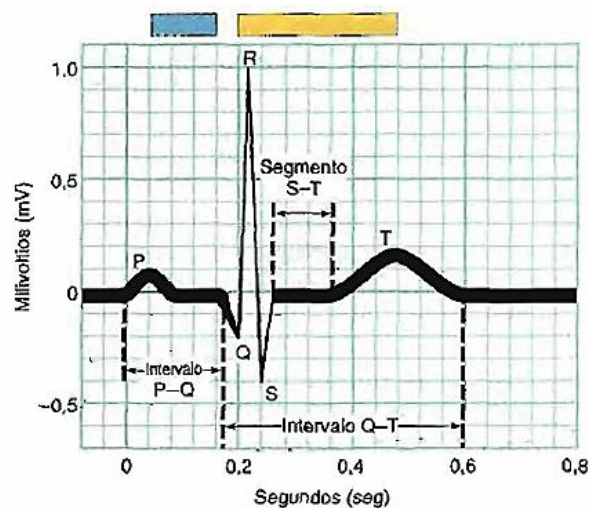
#### ABSTRACT.

This work contains the design of a wireless transmitting electronic card that will capture cardiac signals and breathing frequency from a patient, this card will also implement movement sensors (accelerometer and gyroscope). It will be able to send these signals through radio frequency (RF) to a receiving electronic card. When implementing a communication through radiofrequency using a GFSK (Gaussian Frequency Shifting Keying) transceiver module, this enables a high data rate transmission. The wireless receiving card will integrate a RF transceiver and a microcontroller that will allow the communication with the computer via USB (Universal Serial Bus). Using software in development into the environment of LabVIEW, the computer will be able to process the biological signals and show them to the final user. This will allow a real time monitoring of biological signals.

## 1. INTRODUCCIÓN.

A medida que los potenciales de acción se propagan a través del corazón, generan corrientes eléctricas que pueden ser detectadas desde la superficie corporal. Un electrocardiograma, abreviado ECG, es un registro de las señales eléctricas. El ECG es una representación de los potenciales de acción producidos por todas las fibras musculares cardiacas durante cada latido. El instrumento utilizado para grabar estos cambios es el electrocardiógrafo [1].

En la práctica clínica, para realizar el ECG se colocan electrodos en los brazos y piernas (derivaciones de los miembros) y en seis ubicaciones a nivel torácico (derivaciones precordiales). El electrocardiógrafo amplifica las señales eléctricas cardiacas y produce 12 trazados diferentes surgidos de combinaciones diferentes de las derivaciones de los miembros y precordiales. Cada electrodo detecta una actividad eléctrica levemente diferente según la posición que ocupa respecto del corazón [1]. En un trazado típico, aparecen en cada latido tres ondas claramente reconocibles, como se muestra en la figura 1.



**Referencias:**

- Contracción auricular
- Contracción ventricular

**Figura 1.- Electrocardiograma normal o ECG (Derivación II). Onda P = despolarización auricular; complejo QRS = despolarización ventricular; Onda T = repolarización ventricular. Tomado de [1].**

La adquisición de las señales eléctricas cardiacas es importante debido que al analizar la lectura de un ECG, el tamaño de las ondas puede dar pistas sobre anomalías en el corazón. Las ondas P grandes indican un agrandamiento auricular, una onda Q de mayor magnitud puede indicar un infarto de miocardio y las ondas R grandes generalmente indican agrandamiento ventricular. La onda T es más aplanada que lo normal cuando el músculo cardiaco está recibiendo



insuficiente oxígeno como, por ejemplo, en la enfermedad coronaria. La onda T puede estar elevada en la hiperpotasemia que es un nivel elevado de  $K^+$  plasmático superior a 5 mEq/L [1], [2].

El análisis del ECG también incluye la medición de los espacios existentes entre las ondas, denominados intervalos o segmentos.

- Intervalo P-Q. Cuando en el tejido cardiaco existen cicatrices, causadas por procesos como la enfermedad coronaria o la fiebre reumática, el potencial de acción debe desviarse y rodearlas, prolongando el intervalo P-Q [1].
- Segmento S-T. El segmento S-T se eleva (por encima de la línea isoelectrica) cuando el corazón recibe un aporte de oxígeno insuficiente [1].
- Intervalo Q-T El intervalo Q-T se puede alargar por lesión miocárdica, isquemia miocárdica (disminución del flujo sanguíneo) o por anomalías de la conducción [1].

#### **ANTECEDENTES.**

T. Pereira *et al.* [3] Implementaron un sistema de monitoreo de señales ECG/EMG de bajo consumo de energía alimentado por una batería, basado en el Front-End (FE) analógico ADS1198 (Texas Instruments Incorporated, Austin Texas). El sistema fue diseñado para adquirir señales de ECG por medio de tres derivaciones incluyendo el circuito Right-Leg-Drive (RLD) del ADS1198. El front-end diseñado fue conectado a una tarjeta NI-USB 8451 para propósitos de pruebas, las señales fueron adquiridas por medio de LabVIEW. El software en LabVIEW permite la configuración del ADS1198, la adquisición y el almacenamiento de datos. En este sistema se implementó una etapa preamplificadora conectada a uno de los canales del ADS1198. Se empleó una frecuencia de muestreo de 1000 S/s (muestras por segundo). El ADS1198 provee detección a la desconexión, apagando la señal de salida, pero la recuperación después de la reconexión tarda alrededor de 15 a 20 segundos. Este sistema tiene el inconveniente del uso de una tarjeta NI-USB 8451 lo que aumenta su costo y tamaño. De igual manera el tiempo de reconexión de electrodos es muy tardado.

Anucha Punapung *et al.* [4] Presentan el diseño de un módulo FE configurable basado en ADS1298 para diferentes tipos de medición de ECG: dos configuraciones para el registro estándar de ECG, colocación de 10 y 6 electrodos. A pesar de que se ha desarrollado un módulo capaz de medir señales de ECG en diferentes configuraciones, el módulo propuesto no integra comunicación inalámbrica y se propone la integración futura de funciones de almacenamiento y administración de batería.

Yihang ZHANG *et al.* [5] presentan un sistema de adquisición de ECG de 12 derivaciones basado en el ADS1298 con un RF24LE para implementar una transmisión de datos inalámbrica. Sin embargo no integra sensores de movimiento (acelerómetro y giroscopio).

E. Reyes *et al.* [6] Presentan el diseño y construcción de un electrocardiógrafo que integra una etapa de protección contra desfibrilación. Utiliza descargadores a gas y diodos zener conectados a través de las líneas de entrada de los electrodos para proveer protección contra el pulso del desfibrilador. Para el cálculo de la frecuencia cardíaca se implementó un algoritmo en tiempo real para la detección del complejo QRS el cual se aplica a un vector de 2000 muestras de la Derivación DII, que corresponde a 4 segundos de captura de la señal. Se utiliza una frecuencia de muestreo de 500Hz. Sin embargo si el uso de una etapa de protección contra desfibrilación incrementa el tamaño, complejidad y costo del sistema.

M. Cassim Munshi *et al.* [7] diseñaron un nodo de monitorización utilizable sobre el cuerpo con las siguientes características: utiliza dos electrodos para capturar la señal de ECG, y no posee el circuito RLD. Se utilizó un ADC con resolución de 12 bits y una frecuencia de muestreo de 1 KS/s. El no utilizar el circuito RLD provoca que la señal de ECG medida sea fácilmente obstaculizada por interferencias de modo común, especialmente el ruido de las líneas de energía eléctrica de 50/60 Hz.

En [4] se encontraron problemas con la administración de la energía que consume el módulo, por lo que en nuestro trabajo se propone la implementación de un módulo que administre de manera eficiente el uso de la batería. No se implementó la protección contra desfibrilación como sucede en [6], debido a las características del Front-End ADS1292R no se implementará una etapa preamplificadora, tampoco se utilizará una tarjeta NI USB-8451 como sucede en [3] ya que el módulo receptor de radiofrecuencia integrará la comunicación USB, por lo que estos factores permitirán diseñar un módulo ligero, portable y de costos reducidos.

Se propone el uso de tres electrodos, dos para las derivaciones y uno para el circuito RLD lo que permitirá obtener señales del paciente más claras y estables para evitar interferencias de modo común en la señal adquirida como sucedió en [7] donde se presenta un módulo que omite el circuito RLD.

La mayoría de los trabajos mencionados anteriormente no presentan sensores de movimiento y en algunos casos la comunicación del módulo con la computadora es del tipo alámbrico. En base a esto, en este trabajo se presenta el desarrollo de un módulo portátil inalámbrico, cuyo objetivo principal es el monitorear por medio de electrodos superficiales las señales cardiacas y de respiración, así como el movimiento del paciente, para su uso en aplicaciones orientadas al cuidado del deportista, el adulto mayor, pacientes en recuperación, etc.

## 2. METODOLOGÍA.

En este apartado se explicará la configuración de electrodos empleada, características de los componentes electrónicos y la manera en la que estarán integradas las tarjetas de transmisión y recepción, entre otros aspectos necesarios para el diseño del sistema propuesto.

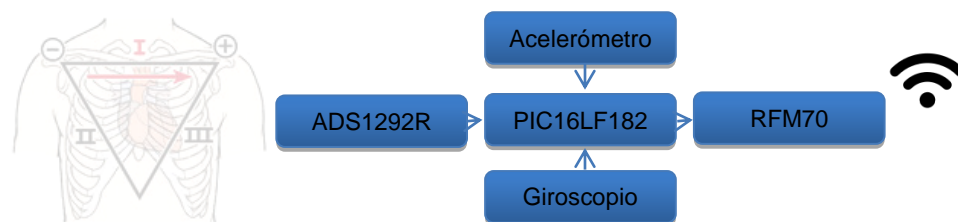
### 2.1 Derivación y Electrodo

Los componentes que se encontrarán en contacto directo con la piel del paciente son los electrodos. Se propone el uso del electrodo Ag/AgCl debido a que es uno de los más empleados para el registro de potenciales bioeléctricos [8].

Las tres derivaciones frontales bipolares (DI, DII, DIII) forman el triángulo de Einthoven, donde el corazón se encuentra en el centro de éste. La señal cardíaca será detectada utilizando la derivación DI, por lo que se requiere el uso de tres electrodos uno positivo para el brazo izquierdo, uno negativo para el brazo derecho [8] y un electrodo para el circuito de pierna derecha (RLD).

### 2.3 Tarjeta Transmisora

En este proyecto se propone diseñar y desarrollar un módulo electrónico transmisor portable, de dimensiones pequeñas causando de este modo la mínima incomodidad al paciente estudiado. El dispositivo integrará un microcontrolador para la administración de los componentes electrónicos utilizados, el módulo capturará señales cardíacas y de frecuencia respiratoria por medio del Front-End Analógico ADS1292R, se utilizará sensores de movimiento (acelerómetro y giroscopio), la transmisión de datos se realizará por medio de radiofrecuencia a una tarjeta electrónica receptora, esta comunicación se implementará por medio de un módulo transceptor modelo RFM70 el cual admite una velocidad de datos aérea de 1 y 2 Mbps, esto permitirá una alta tasa de transferencia de datos.



**Figura 1 Diagrama a Bloques de la Tarjeta Transmisora**

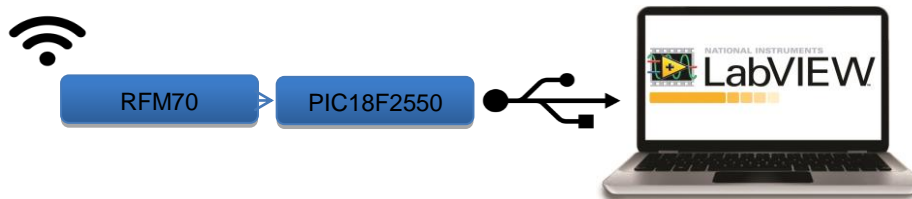
#### 2.3.1 Microcontrolador de la Tarjeta Transmisora

El microcontrolador PIC16LF1825 (Microchip Technology Inc., Arizona EUA) [9] tendrá las funciones de administrar la información sobre la actividad cardíaca y frecuencia respiratoria del paciente adquirida por el ADS1292R, así como enviar comandos de control a este Front-End

Analógico. Otras de las funciones de este microcontrolador, será la de administrar la información adquirida de los sensores de movimiento, así como también, configurar al transceptor de radiofrecuencia para realizar la comunicación bidireccional entre ambas tarjetas (la tarjeta transmisora y la receptora).

## 2.4 Tarjeta Receptora

La tarjeta receptora inalámbrica integrará un transceptor de radiofrecuencia y un microcontrolador lo que permitirá la comunicación con una computadora por medio de una interfaz USB. Mediante un programa en desarrollo dentro del ambiente LabVIEW, la computadora será capaz de procesar las señales biológicas y presentarlas al usuario final. Esto permite el monitoreo de las señales biológicas en tiempo real.



**Figura 2 Diagrama a Bloques de la Tarjeta Receptora**

### 2.4.1 Microcontrolador de la Tarjeta Receptora

Para la tarjeta receptora se utilizará el microcontrolador PIC18F2550 (Microchip Technology Inc., Arizona EUA) ya que ofrece compatibilidad USB V2.0. Posee un módulo Master Synchronous Serial Port (MSSP) que soporta SPI de 3 cables e interfaz I<sup>2</sup>C. [10]. El microcontrolador tendrá la función de configurar al transceptor de radiofrecuencia para realizar la comunicación bidireccional entre ambas tarjetas (la tarjeta transmisora y la receptora), también tendrá la función de realizar la comunicación con la PC por medio de una interfaz USB.

## 2.5 Registro de la Señal Electrocardiográfica

La señal electrocardiográfica puede identificarse también en el dominio de la frecuencia. La onda T se representa en el espectro de potencia: 1 y 5 Hz. La onda P tiene contenidos en frecuencia entre 5 y 10 Hz, mientras que el complejo QRS comprende frecuencias ubicadas entre: 15 y 40 Hz. [8]. El potencial registrado tiene una amplitud aproximada de 1 mV. El registro en frecuencias de la señal electrocardiográfica normalmente no tiene componentes arriba de los 60 Hz en pacientes normales, por lo que se considera adecuado un ancho de banda de trabajo entre 0.05 y 150 Hz para electrocardiógrafos [8]. Las frecuencias de muestreo utilizadas en [3], [6] y [7] son 1 kHz, 500

Hz, y 1 kHz, respectivamente. Debido a que la señal de ECG no tiene componentes muy altos en frecuencia se utilizará para este proyecto una frecuencia de muestreo de 1 kHz.

### 2.5.1 Front-End Analógico ADS1292R

El ADS1292R (Texas Instruments Incorporated, Austin Texas), es un convertidor analógico digital (ADC) delta-sigma ( $\Delta\Sigma$ ), multicanal, proporciona un muestreo simultáneo, con una resolución de 24-bits, con un amplificador de ganancia programable (PGA) 1, 2, 3, 4, 6, 8 ó 12 integrado. El dispositivo implementa internamente la detección de desconexión de electrodos. Utiliza una interfaz de comunicación SPI. Integra una velocidad de datos de hasta 8kSPS [11], sus características lo hacen ideal para el diseño del proyecto propuesto. De acuerdo a los estándares AAMI e IEC el rechazo de modo común debería ser por lo menos de 92 dB [12], [13]. El ADS1292R tiene un CMRR: -105 dB [11], por lo que cumple con los estándares AAMI e IEC. El ADS1292R integra un amplificador Right Leg Drive (RLD), la utilización de un circuito manejador de pierna derecha crea una tierra o referencia virtual para la pierna derecha del paciente, con el propósito de reducir los voltajes en modo común [8]. Esta técnica reduce el nivel entrante de la señal de modo común que aparece en la entrada diferencial de las entradas del amplificador [14]. El ADS1292R integra la medición de la impedancia respiratoria, esto es un aspecto importante ya que el mismo dispositivo permite la adquisición de señales cardiacas como de frecuencia respiratoria, disminuyendo el tamaño de la tarjeta transmisora, logrando con esto, una mayor comodidad para el paciente.

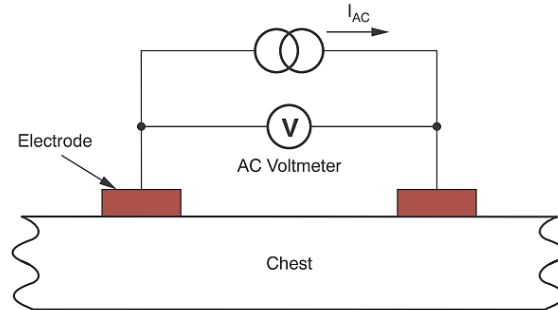


**Figura 3 Front-End Analógico ADS1292R. Tomado de [15].**

### 2.5.2 Respiración

La neumografía por impedancia es una técnica comúnmente utilizada para monitorear la frecuencia respiratoria de una persona. Esto puede ser implementado utilizando dos electrodos (Figura 2) o cuatro electrodos. El objetivo de esta técnica es medir los cambios en la impedancia eléctrica del tórax de una persona causada por la respiración. Una corriente de ac de alta frecuencia es inyectada en el tejido a través de los electrodos. La corriente de ac causa una diferencia de

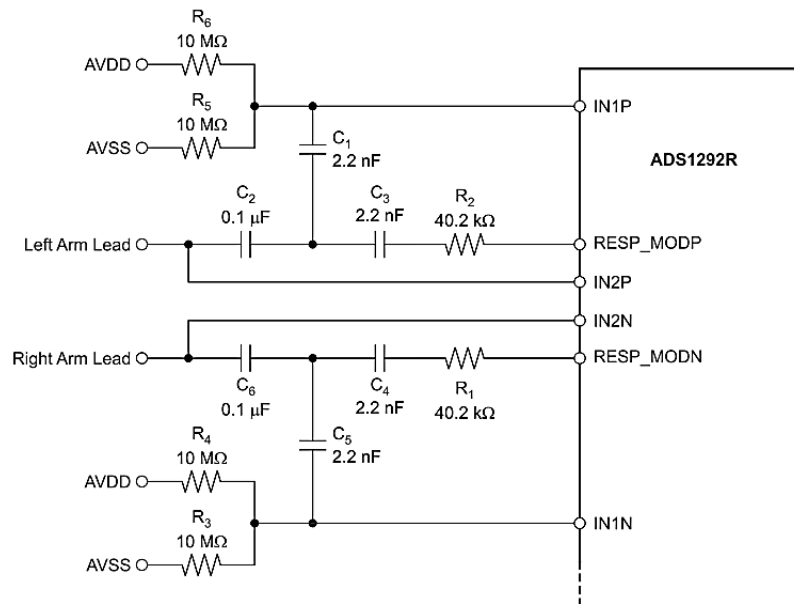
potencial que se desarrolla a través de cualquiera de los dos puntos entre los electrodos. La neumografía por impedancia es la más comúnmente utilizada; los electrodos normales para ECG pueden ser utilizados para respiración también. [16].



(A) Two-Terminal Measurement

**Figura 4 Arreglo de Electrodo para Neumografía por Impedancia. Tomado de [16].**

El canal 1 del ADS1292R con el modo de respiración habilitada no puede ser usado para adquirir señales de ECG. Si los latiguillos de brazo derecho (RA) y el brazo izquierdo (LA) tratan de medir la respiración y señales de ECG. Entonces los dos cables se pueden conectar al canal 1 para la respiración y en el canal 2 para las señales de ECG. Se muestra un ejemplo en la figura 5. [11].



**Figura 5 Circuito de Respiración Típico. Tomado de [11].**

## **2.7 Sensores de Movimiento**

### **2.7.1 Giroscopio**

Se utilizará un sensor de velocidad angular de tres ejes modelo L3G4200D de la empresa STMicroelectronics. Este dispositivo implementa dos tipos de interfaces de salida digitales I<sup>2</sup>C/SPI, sin embargo para fines del sistema propuesto se utilizará la comunicación I<sup>2</sup>C [17].

### **2.7.2 Acelerómetro**

Se empleará un acelerómetro lineal de tres ejes modelo LIS3DH de la empresa STMicroelectronics. Este dispositivo implementa dos tipos de interfaces de salida digitales I<sup>2</sup>C/SPI, sin embargo para fines del sistema propuesto se utilizará la comunicación I<sup>2</sup>C [18].

## **2.8 Transceptor de Radiofrecuencia**

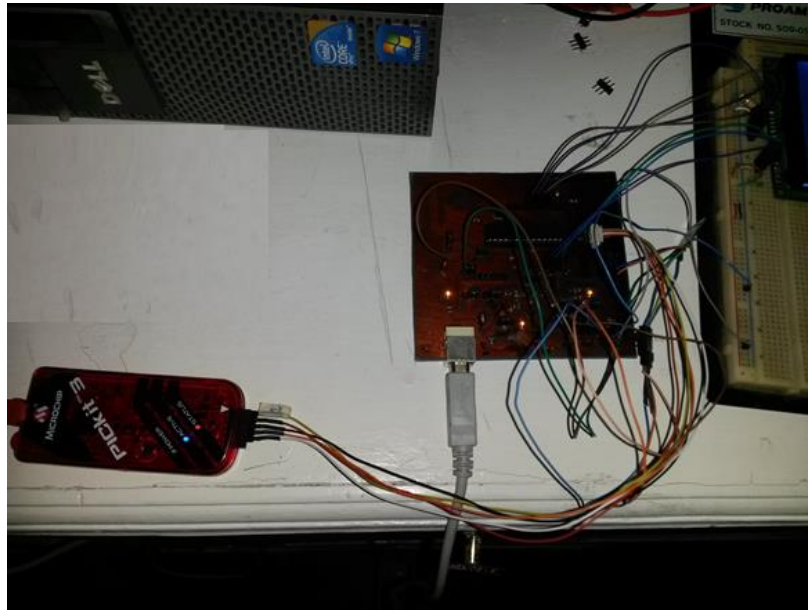
Se empleará el módulo RFM70 de la empresa HOPE Microelectronics. El RFM70 es un módulo transceptor GFSK (Gaussian Frequency Shifting Keying) de baja potencia y alta velocidad que funciona específicamente en la banda de frecuencia ISM (Industrial, Scientific and Medical) de 2400 – 2483.5 MHz. El módulo es de bajo costo, tamaño reducido y alta estabilidad lo que es ideal para el módulo transmisor que el paciente portará sobre su cuerpo, además, permite una comunicación a través de la interfaz SPI. Admite una velocidad de datos aérea de 1 y 2 Mbps lo que permitirá una transmisión de datos rápida para esta aplicación. Posee una potencia de salida programable: de -40dBm a +5 dBm lo que servirá para modular la distancia de transmisión de datos y la cantidad de corriente consumida, ya que está aumenta cuando la potencia aumenta [19].

## **3. PRUEBAS.**

En este trabajo se presenta el diseño de un módulo para la adquisición de señales biológicas en un paciente, por lo que aún no se cuenta con un prototipo sobre el cual se pudieran realizar pruebas. Se han hecho pruebas de la comunicación de los transceptores para asegurar su correcto funcionamiento. Se ensambló un prototipo de una tarjeta transmisora que integra un microcontrolador PIC18F2550, un transceptor RFM70 y una memoria EPROM, para comprobar que no exista conflicto al alternar los protocolos de comunicación SPI e I<sup>2</sup>C de los diferentes dispositivos. También se ensambló un prototipo de una tarjeta receptora la cual se integró de los siguientes componentes, un microcontrolador PIC18F2550, un transceptor RFM70 y un display LCD.

Para la programación del microcontrolador se trabajó en conjunto en el Laboratorio de Ingeniería Biomédica del Centro de Investigaciones Regionales (CIR) “Dr. Hideyo Noguchi”, se realizó la

programación del almacenamiento y lectura en la memoria EPROM, logrando una comunicación inalámbrica y bidireccional entre ambos módulos (transmisor y receptor).



**Figura 6 Tarjeta genérica para pruebas (al centro).**

Se diseñó una tarjeta de pruebas genérica en el Laboratorio de Ingeniería Biomédica del Centro de Investigaciones Regionales (CIR) “Dr. Hideyo Noguchi”. Se necesitó de los prototipos de transmisión y recepción para integrarlos en el diseño de esta tarjeta y tomar en cuenta los componentes que se utilizarían en su diseño. Esta tarjeta se hizo con el fin de sustituir los prototipos en protoboard ya que esto provoca problemas de falsos contactos, capacitancias parásitas y problemas que buscan evitarse con la utilización de una tarjeta impresa. Finalmente esta tarjeta servirá para poder realizar las pruebas necesarias antes de poder implementar el primer “diseño de un módulo inalámbrico para el registro de actividad cardíaca y medición de frecuencia respiratoria con sensores de movimiento”.

#### **4. CONCLUSIONES.**

Con el sistema propuesto en este proyecto se realizará el monitoreo de la actividad cardíaca del paciente, pudiendo detectar frecuencia cardíaca y respiratoria. Al utilizar sólo 3 electrodos se obtiene un sistema reducido. De igual manera se podrán obtener datos de aceleración y movimiento del paciente por medio de los sensores integrados en la tarjeta de adquisición de datos (tarjeta transmisora). La obtención de todos estos datos permitirá un mejor diagnóstico de la condición del paciente durante el monitoreo éstas señales biológicas.



## 5. TRABAJO A FUTURO.

Las anomalías de la conducción cardíaca y la disminución del flujo sanguíneo miocárdico pueden aparecer sólo en forma impredecible o durante cortos intervalos. Para detectar estos problemas se pueden utilizar electrocardiógrafos continuos ambulatorios. En este procedimiento, la persona porta un monitor operado con baterías (monitor Holter) que graba un ECG continuamente durante 24 horas. Los electrodos colocados en el tórax se conectan al monitor, donde la información se almacena, para luego poder ser recogida por el personal médico [1]. El dispositivo propuesto no es un Holter, sin embargo debido a sus características de bajo peso, dimensiones disminuidas, bajo consumo de energía y uso de baterías, podría integrarse un sistema de almacenamiento de las señales adquiridas en una tarjeta micro SD para su posterior análisis. Debido al empleo de los sensores de movimiento sería posible detectar las vibraciones que ocurren en el pecho del paciente durante un ataque al corazón. El dispositivo podría servir para el estudio de este tipo de patologías cardíacas.

Con la combinación de la frecuencia cardíaca y frecuencia respiratoria del paciente es posible realizar un cálculo del gasto metabólico en atletas durante sus entrenamientos, por lo que esta característica puede ser fácilmente implementada una vez terminada nuestra plataforma.

Al combinar los datos adquiridos en frecuencia respiratoria, frecuencia cardíaca y detección del movimiento del paciente, podría realizarse el cálculo de la fatiga muscular de un paciente sometido a un proceso de rehabilitación.

## 6. REFERENCIAS.

1. Gérard J. Tortora, Bryan Derrickson, *Principios de Anatomía y Fisiología*, (Médica Panamericana, México), 1154, (2006).
2. Juan Carlos Ayus, Carlos Caramelo, Alberto Tejedor, *Agua, Electrolitos y Equilibrio Ácido Base: Aprendizaje mediante casos clínicos*, (Médica Panamericana, España), 675, (2007).
3. T. Pereira, H. Carvalho, A.P.Catarino, M.J.Dias, Wearable Biopotential Measurement Using the TI ADS1198 Analog Front-End and Textile Electrodes, Medical Measurements and Applications Proceedings (MeMeA), Gatineau, QC, 4-5 May, 2013.
4. Anucha Punapung, Suradej Tretriluxana, Kitiphol Chitsakul, A Design of Configurable ECG Recorder Module, Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON), 2011, Chiang Mai, Thailand, 29-31 Jan., 2012.
5. Yihang Zhang, Guangmin Sun, Yuchen Yang, 12-Lead ECG Data Acquisition System Based on ADS1298, 2012 International Workshop on Information and Electronics Engineering (IWIEE), 2012.

6. Edwin John Fredy Reyes Aguirre, Jaime Rojas Moreno, Marco Fidel Flórez Franco, Design and Construction of an Electrocardiograph Prototype with Touch Screen Interface and Embedded System with 16-bit resolution, XVII Symposium of Image, Signal Processing, and Artificial Vision (STSIVA) 2012, Antioquia, 12-14 Sept., 2012.
7. M Cassim Munshi, Xiaoyuan Xu, Xiaodan Zou, Edward Soetiono, Chang Sheng Teo, Yong Lian, Wireless ECG Plaster for Body Sensor Network, 5th International Summer School and Symposium on Medical Devices and Biosensors, 2008. ISSS-MDBS 2008, Hong Kong, 1-3 June, 2008.
8. Pilar Castellanos Ábrego, Rafael Godínez Fernández, Joel Jiménez Cruz, Verónica Medina Bañuelos, *Electrofisiología humana. Un enfoque para ingenieros*, (UAM Unidad Iztapalapa, México, D.F.), 350, (1997).
9. Microchip Technology Inc., *PIC16LF1825 Data Sheet*, (2011).
10. Microchip Technology Inc., *PIC18F2550 Data Sheet*, (2009).
11. Texas Instruments, *ADS1292R Low-Power, 2-Channel, 24-Bit Analog Front-End for Biopotential Measurements*, (2012).
12. American National Standard ANSI/AAMI EC11:1991/(R) 2001/(R)2007.
13. International Standard IEC 60601-2-27.
14. Analog Devices, Inc., *Common-Mode Rejection: How It Relates to ECG Subsystems and the Techniques Used to Provide Superior Performance*, (2011).
15. Texas Instruments Incorporated, ADS1292R, Recuperado el 23 de Abril del 2014, <http://www.ti.com/product/ads1292r>.
16. Texas Instruments, *Respiration Rate Measurement Based on Impedance Pneumography*, (2011).
17. STMicroelectronics, L3G4200D MEMS motion sensor: ultra-stable three-axis digital output gyroscope, (2010).
18. STMicroelectronics LIS3DH, MEMS digital output motion sensor ultra low-power high performance 3-axes “nano” accelerometer (2010).
19. HOPE Microelectronics. *RFM70 V1.0 Low Power High Performance 2.4 GHz GFSK Transceiver Module*, (2006).

### 3.2 DISEÑO DE UN SISTEMA INALÁMBRICO VERSÁTIL PARA LA ADQUISICIÓN DE SEÑALES ELECTROMIOGRÁFICAS DE ALTA DENSIDAD.

Br. Mariana Peraza Mues, I.C. Diego E. Salazar Loría, M.C. Irving Cifuentes González,

Dr. Francisco José Heredia López

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán

Centro de Investigaciones Regionales “Dr. Hideyo Noguchi”

peraza.marian@gmail.com, diego.salazar.ic@gmail.com, irving.aacg@gmail.com,  
hlopez@uady.mx

#### RESUMEN.

El presente trabajo aborda el diseño de un sistema de electromiografía superficial de alta densidad que permita la adquisición de señales de buena calidad. Se busca desarrollar una herramienta que sea de utilidad en diversos campos como rehabilitación, medicina del deporte, ergonomía y control de prótesis. El diseño consiste de un módulo de transmisión y uno de recepción. Los módulos se comunicarán de manera inalámbrica a través de radiofrecuencia. El módulo de transmisión deberá tener la menor dimensión posible, y a la vez resultar cómodo para el paciente. La adquisición de la señal se hará utilizando una matriz de 16 electrodos de Ag-AgCl. En el diseño se incluirán acelerómetros y giroscopios para monitorear el movimiento del sujeto. La estación base o módulo de recepción se comunicará con la computadora por medio del Bus Universal en Serie (USB) y se utilizará el software LabVIEW para procesar la información y para diseñar una interfaz de usuario que permite la visualización de la señal en tiempo real.

#### ABSTRACT.

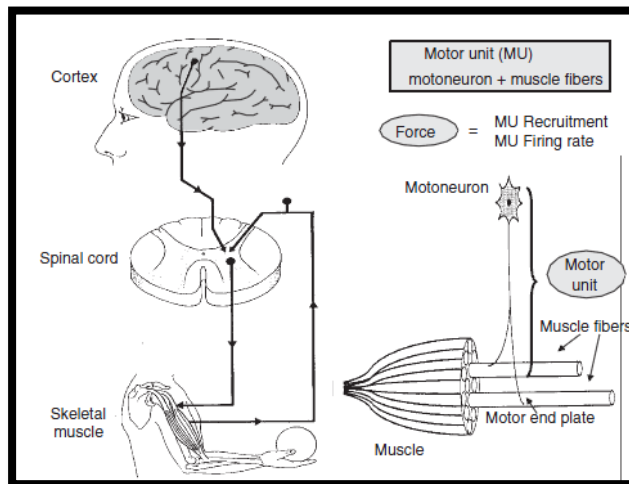
This work contains the design of a high-density surface electromyography system that allows the acquisition of good quality signals. It aims to develop a tool that is useful in various fields such as rehabilitation, sports medicine, ergonomics and control of prostheses. The design consists of a transmitter and a receiver module that will communicate wirelessly through radio frequency. The transmitter module should have the smallest possible dimension and must be comfortable for the patient. The signal acquisition will be done using a matrix of 16 Ag-AgCl electrodes. The design will include accelerometers and gyroscopes to monitor the movement of the subject. The receiver module will communicate with the computer through the Universal Serial Bus (USB). The development environment of LabVIEW software will be used to process the information and to design a user interface that allows the real-time visualization of the signal.

## 1. INTRODUCCIÓN.

El cuerpo humano controla y realiza todas sus funciones a través de impulsos eléctricos o potenciales de acción que se generan debido al cambio de las propiedades eléctricas de la membrana celular. El sistema nervioso es el encargado de mandar impulsos eléctricos desde el cerebro hasta el resto del cuerpo. La unidad básica del sistema nervioso es la neurona, una célula especializada en recibir y transmitir impulsos eléctricos denominados potenciales de acción, los cuales viajan a través de las membranas celulares y forman el principal medio de comunicación entre tejidos y células dentro del cuerpo humano. El sistema nervioso también es el responsable de controlar al sistema motor, el cual está formado por la espina dorsal, el sistema esquelético y los músculos. Existe un tipo de neuronas especializadas que conforman el sistema motor humano y reciben el nombre de motoneuronas. Las motoneuronas son las encargadas de mandar y recibir impulsos eléctricos desde la espina dorsal hasta las fibras musculares [3].

La generación de la actividad muscular es un proceso complejo el cual requiere de la interacción de muchas neuronas, el proceso puede ser descrito a grandes rasgos como sigue:

- 1) Se genera la orden en el cerebro en forma de un impulso eléctrico.
- 2) Este impulso viaja a través de la espina dorsal.
- 3) El impulso llega posteriormente hasta las motoneuronas responsables de inervar el músculo que realizará la acción estimulando las fibras musculares.
- 4) Finalmente se produce la expansión o inhibición del tejido muscular, lo que produce el movimiento mecánico.



**Figura 1: Representación esquemática de la generación de actividad muscular y sus componentes, tomada de [3].**

La electromiografía (EMG) es una técnica que consiste en el registro de los potenciales de acción generados durante una contracción muscular, esta técnica puede ser invasiva o no invasiva (superficial).

En el método invasivo la adquisición de las señales se realiza por medio de electrodos de aguja, los cuales son insertados de manera intramuscular. Esta técnica permite registrar la actividad eléctrica generada por una sola unidad motora con una cantidad de ruido mínima, sin embargo la inserción de los electrodos requiere de supervisión médica y presenta molestias y dolor al paciente.

En el método superficial se utilizan electrodos de superficie, los cuales son colocados sobre la piel del músculo a estudiar. Con este método se obtiene la actividad eléctrica promedio de un grupo muscular. Comúnmente se hace uso de tres electrodos, dos para obtener la diferencia de potencial y uno como electrodo de referencia, el cual, se coloca lejos del músculo estudiado y sobre un tejido neutro como un plano óseo. Durante el registro de la señal EMG debe tomarse en consideración el rango de frecuencias que va de unos cuantos Hz a un poco más de 2 kHz y la amplitud que varía entre fracciones de microvolts a varios cientos de milivolts [4].

Dadas estas características y tomado en cuenta las diversas interferencias que pueden afectar la señal, el tratamiento que se le debe hacer a la señal incluye filtrado, amplificación y conversión analógico-digital.

Técnicas desarrolladas recientemente permiten el análisis de las señales de EMG en múltiples ubicaciones sobre la superficie de la piel. Este método es conocido como EMG superficial de alta densidad (HD-sEMG) [2] y utiliza una matriz de electrodos colocados sobre el músculo que se desea estudiar. Con esta técnica es posible obtener mayor información sobre la actividad muscular, a diferencia del método tradicional que utiliza únicamente tres electrodos. Además, permite la observación detallada de las propiedades de las unidades motoras individuales, una estimación de alta precisión de la velocidad de conducción de la fibra muscular, la ubicación de la zona de inervación, la longitud y orientación de las fibras y, hasta cierto grado, el reclutamiento y la descomposición de la señal [3].

Los sistemas desarrollados para la adquisición de señales electromiográficas de alta densidad tienen diversas aplicaciones en el deporte, rehabilitación y medicina del trabajo donde las técnicas de agujas no son aceptables o cuando las evaluaciones tienen que repetirse con frecuencia [3].

En los últimos años se han obtenido avances significativos en las tecnologías de detección de movimiento, creando sensores a escalas reducidas que han ayudado a obtener mejoras en el desarrollo de prótesis, medicina del deporte, investigación biomecánica, entre otras. En particular, el rápido desarrollo de los sistemas micro-electro-mecánicos (sistemas MEMS) con una alta precisión, alta confiabilidad y múltiples funcionalidades ha proporcionado un poderoso conjunto de herramientas para la detección y monitoreo de los movimientos del cuerpo [5].

Las características de movimiento de un objeto, como por ejemplo un sujeto humano, pueden ser descritas por seis variables independientes. Estas variables son los movimientos lineales a lo largo de los tres ejes de coordenadas perpendiculares en el espacio y los movimientos de rotación con respecto a las tres direcciones perpendiculares. Por lo tanto, con el fin de medir con precisión las características de movimiento de un objeto, se requiere de un sistema con capacidad de detección de seis grados de libertad [5]. En el sistema propuesto estos grados de libertad se obtendrán con el uso de un acelerómetro y un giroscopio, cada uno de tres ejes.

En este trabajo se diseñará y construirá un sistema para la adquisición de señales electromiográficas a través del método superficial de alta densidad. El prototipo desarrollado debe ser versátil, de tal forma que pueda ser usado para diversas aplicaciones tales como el monitoreo de personas bajo terapias de rehabilitación, control de prótesis inteligentes, análisis de movimientos, detección de miopatías, desarrollo de nuevas técnicas para el procesamiento de señales biomédicas, cuidado del adulto mayor, entre muchas otras. La intención es contar con un prototipo inalámbrico de dimensiones reducidas y liviano de manera que pueda ser posicionado en el cuerpo de algún paciente o usuario. Este dispositivo deberá ser capaz de monitorear los movimientos y la actividad de EMG producida durante dichos movimientos. Para poder realizar un monitoreo más preciso de los movimientos del usuario, se ha considerado incluir un acelerómetro y un giroscopio.

## **2. ANTECEDENTES.**

En la literatura es posible encontrar trabajos que presentan sistemas embebidos capaces de registrar la actividad de EMG y los movimientos del usuario en base a acelerómetros, sin embargo, problemas en cuanto al número de canales, número de sensores de movimiento y cuestiones relacionadas con la transmisión de datos aún persisten.

En el trabajo desarrollado por Adam Freed et al. [6], se presenta un prototipo inalámbrico donde la transmisión de datos se realiza a través del protocolo de comunicación Bluetooth. Este protocolo es capaz de registrar la actividad muscular mediante la técnica de HD-sEMG utilizando una matriz de 12 electrodos secos y un módulo de sensores de movimiento para medir la marcha del paciente. Este sistema incluye el chip ADS1298 para la medición de los biopotenciales, un PIC24 y una memoria SD para almacenar los datos. A través de este prototipo y después de realizar varias pruebas, se menciona haber obtenido señales comparables con otros sistemas. Sin embargo, el prototipo resultó ser voluminoso debido a la utilización de tarjetas de desarrollo. Otro inconveniente es la tasa de transferencia del Bluetooth, la cual podría resultar algo lenta para la transferencia de biopotenciales, sobre todo si los datos son muestreados a una frecuencia mayor de 1 kHz.

Otro trabajo, el presentado por Zeng et al. [7] se propone la utilización de una manga con rejillas de electrodos de alta densidad integrados para el registro de las señales EMG y para el control

mioeléctrico. Utilizaron 50 electrodos para detectar señales de la parte superior del brazo y 50 del antebrazo. Cada grupo de 50 electrodos se organizó en dos cuadrículas de 5 x 5. Los electrodos tenían un diámetro de 10 mm y una distancia entre los electrodos de 20 mm. Las señales de EMG fueron amplificadas con una ganancia de 2000, utilizando un sistema comercial EMG-USB de la compañía OT Bioelettronica, y un filtro pasa banda (filtro Bessel de octavo orden, ancho de banda 10-750 Hz). La señal fue muestreada a 2048 Hz y se usó un convertidor de A/D de 12 bits de resolución. El electrodo de referencia se colocó en la muñeca del brazo derecho. En este trabajo no se incluyeron sensores de movimiento y el electromiógrafo comercial utilizado no permite que sea portable.

En el trabajo realizado por Barone et al. [8] se desarrolló un sistema que permite configurar el número de canales de EMG de 64 a 424. Utiliza una interfaz Ethernet 10/100 basado en fibra óptica para la transmisión de datos. La etapa de conversión A/D es de 24 bits, utilizando el ADS1278 para este propósito. El prototipo está configurado para trabajar con 64 canales y una frecuencia de muestreo de 2.441 ksps. El sistema puede adquirir de forma continua los datos provenientes de los 64 canales hasta por un máximo de 5 horas con una batería de peso ligero de 7,5 Vdc/2200 mAh. También se desarrolló una aplicación para PC usando el Kit de desarrollo Qt de Nokia, este Kit permite la caracterización de prototipo, las mediciones de sEMG, y visualización de la información. En este trabajo no se incluyeron sensores de movimiento.

Como se ha mencionado, los sistemas desarrollados hasta el momento aún conservan ciertos problemas, sobre todo con la tasa de transferencia de la información y con la inclusión de algunos sensores de movimiento, sin embargo, uno de los principales problemas es que estos dispositivos aún distan de poder ser portados por el usuario en un ambiente cotidiano.

### **3. METODOLOGÍA.**

El sistema que se desarrollará estará integrado por dos módulos. Un módulo de transmisión y uno de recepción.

#### **3.1 Módulo de transmisión**

Este módulo involucra la etapa de sensado, la etapa de adquisición de los datos provenientes de los sensores y electrodos, y la transmisión al módulo receptor.

##### **3.1.1. Etapa de sensado**

Se utilizará el método superficial de alta densidad (HD-sEMG) para adquirir las señales de los músculos con una matriz de 16 electrodos de plata-cloruro de plata (Ag-AgCl) con un diámetro de 1cm y con una separación de 20mm entre electrodos, los electrodos serán posicionados siguiendo las recomendaciones del SENIAM [9]. Los electrodos estarán conectados a los 8 canales diferenciales con los que cuenta el ADS1298 de Texas Instruments.

El ADS1298 es un front-end analógico de 24 bits de resolución usado para realizar mediciones de biopotenciales, cuenta con 8 canales diferenciales y tiene una interfaz serial SPI. Cada canal cuenta con un amplificador programable (PGA) con ganancias de 1, 2, 3, 4, 6, 8 o 12 y un convertidor Delta-Sigma de 24 bits, lo que permite un muestreo simultáneo de los canales. Adicionalmente, cuenta con circuito interno de pierna derecha (RLD), utilizado frecuentemente para el electrodo de referencia. Comúnmente el ancho de banda utilizado para EMG es de 500Hz y el muestreo se hace a 1kHz, el ADS proporciona un muestreo de hasta 32 kHz, esta frecuencia de muestreo está muy por encima de los requerimientos. Su bajo consumo (0.75 mW/canal) y tamaño pequeño (8mm x 8mm) lo hace ideal para esta aplicación. Este front-end posee las características necesarias para el filtrado, amplificación y conversión A/D [10].

En este trabajo también se incluirán sensores para analizar el movimiento del paciente o del usuario. Los sensores utilizados serán el acelerómetro LIS3DH y el giroscopio L3G4200D de STMicroelectronics. Ambos son de 3 ejes con salida digital de 16bits e interfaz serial SPI/I2C. El rango de voltaje de alimentación del acelerómetro va de 1.7V a 3.6V y el del giroscopio va de 2.4V a 3.6V [11] y [12]. Con estos dos sensores se obtiene un sistema de seis grados de libertad. Para un mejor análisis de movimiento, se tendrán 2 módulos de sensores de movimiento, el primer conjunto de ellos estará montado en el módulo de transmisión y el otro estará conectado por medio de una extensión y podrá ser montado en cualquier otro punto de la extremidad del sujeto para poder registrar la flexión del miembro en cuestión.

### **3.1.2. Etapa de adquisición**

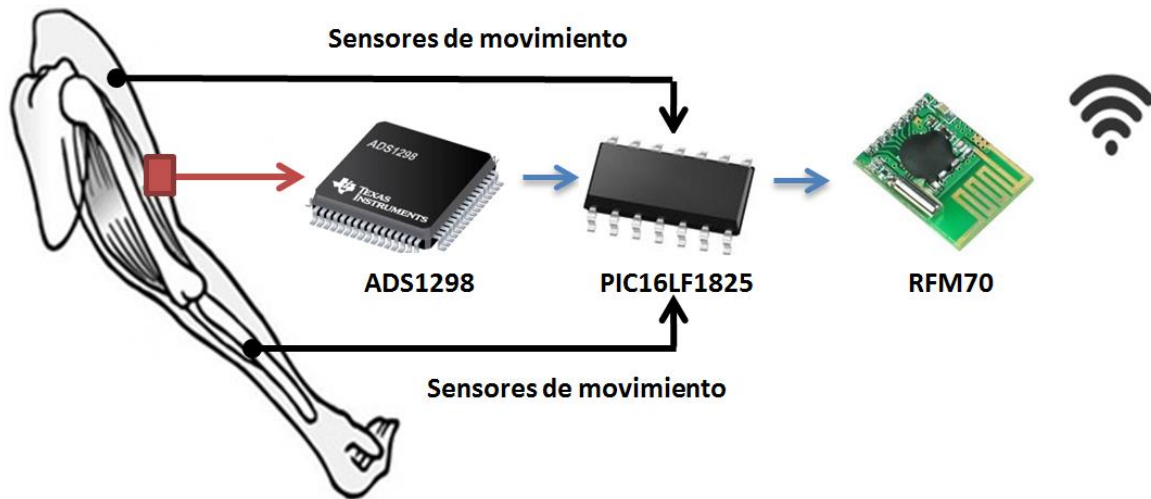
Para obtener los datos provenientes de la etapa de sensado se utilizará el PIC16LF1825 (Microchip Technology). Este microcontrolador de 8 bits tiene una frecuencia de reloj máxima de 32 MHz, 12 entradas/salidas programables y soporta interfaz I<sup>2</sup>C y SPI. Su voltaje de alimentación va de 1.8V a 3.6V, lo que lo hace idóneo para aplicaciones de bajo consumo de energía [13]. El microcontrolador se comunicará con el ADS1298 y con los sensores a través del protocolo de comunicación SPI e I<sup>2</sup>C respectivamente. Los datos obtenidos los enviará a un transceptor de radiofrecuencia a través de SPI para su transmisión.

### **3.1.3. Transmisión de datos**

El RFM70 (HOPE Microelectronics) es un transceptor de radiofrecuencia de 2.4 GHz, permite una velocidad de transmisión de hasta 2Mbps y tiene una interfaz SPI. En este trabajo se ha decidido utilizar este módulo para la transmisión y recepción inalámbrica de los datos debido a que presenta bajo consumo y funciona con un voltaje de alimentación de 1.9V a 3.6V, además de ofrecer una buena tasa y velocidad de transferencia de datos, ideales para los registros de biopotenciales [14].

En la figura 2 se muestra un diagrama del módulo de transmisión.





**Figura 2. Módulo de transmisión.** Se ha planteado que los sensores de movimientos puedan ser posicionados de manera que puedan registra la flexión y extensión de las extremidades (brazos o piernas).

### 3.2 Módulo de recepción

Este módulo involucra la recepción de los datos y la transmisión a la computadora. A continuación se describen las etapas de recepción de datos y la etapa de transmisión a la computadora.

#### 3.2.1. Recepción de datos

Se utilizará el PIC18F2550 de Microchip technology. Este microcontrolador tiene disponibles 3 interfaces (SPI, I<sup>2</sup>C y USB) [15]. Este se comunicará con otro transceptor de radiofrecuencia (RFM70) por SPI para realizar su configuración y obtener los datos enviados del módulo de transmisión.

#### 3.2.2. Transmisión a la computadora

El PIC18F2550 enviará los datos a la PC a través del USB (Universal Serial Bus).

La alimentación de este módulo será a través del bus USB.

En la figura 3 se muestra un diagrama del módulo de recepción.

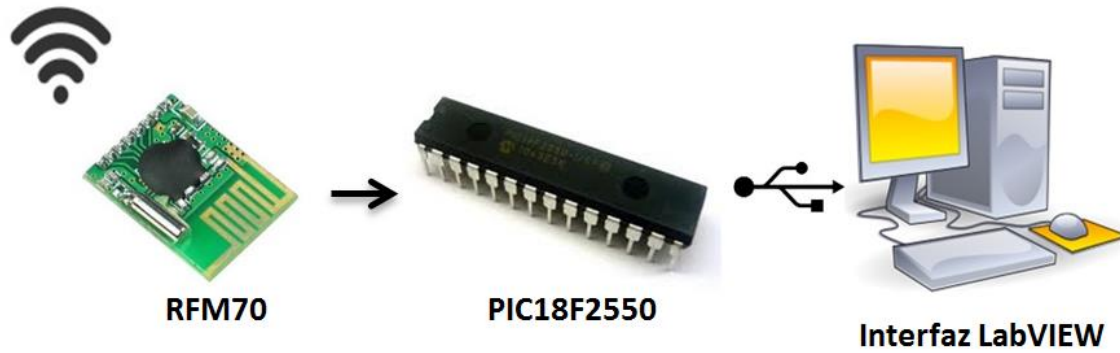


Figura 3: Módulo de recepción

### 3.3 Pruebas

Actualmente se cuenta con una tarjeta (Figura 4) realizada en el Laboratorio de Ingeniería Biomédica del Centro de Investigaciones "Dr. Hideyo Noguchi" la cual se utilizará para la recepción de los datos y la comunicación con la PC. La tarjeta funcionará como el módulo de recepción que contiene el PIC18F2550 explicado anteriormente. Ya se han realizado diversas pruebas de comunicación bidireccional para probar los módulos RFM70 y asegurar que el multiplexado en el tiempo entre I<sup>2</sup>C y SPI funciona correctamente. Para ello se utilizó una memoria EEPROM con interfaz I<sup>2</sup>C a la cual se le guardaron datos para posteriormente leer y enviar a través de SPI a un RFM70 y transmitirlos. Con ello se pudo comprobar que no se genera conflicto. En el sistema final se requerirá ya que los sensores utilizan I<sup>2</sup>C y el RFM70 SPI.

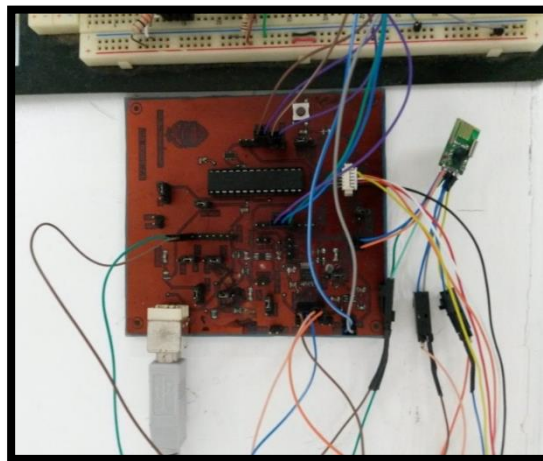


Figura 4: Tarjeta de pruebas

Para poder visualizar la información, se desarrollará una interfaz en LabVIEW, un software que proporciona un potente entorno de desarrollo gráfico para el diseño de aplicaciones de ingeniería. Una vez finalizada la construcción y programación se procederá a la prueba del sistema completo y se comparará la información adquirida de este sistema con uno comercial.

#### **4. CONCLUSIONES.**

Con el sistema propuesto se podrá realizar electromiografía de alta densidad utilizando una matriz de 16 electrodos. Los sensores de movimiento, como giroscopios y acelerómetros, aumentarán la versatilidad del sistema. Los componentes utilizados permitirán que posea un tamaño y peso reducido que resultará en un sistema portable otorgando al paciente una mayor comodidad y con lo cual se minimizarán fuentes de ruido. Además, con la comunicación por radiofrecuencia se tendrá una alta tasa de transmisión.

#### **5. TRABAJO FUTURO.**

La propuesta de la construcción de un prototipo para registrar actividad de EMG de alta densidad, con la capacidad de poder registrar los movimientos del sujeto, le brindan a este trabajo un sinnúmero de aplicaciones. Actualmente, en el Centro de Investigaciones Regionales “Dr. Hideyo Noguchi” se está trabajando en un proyecto para medir de manera objetiva la fatiga muscular y se ha planeado utilizar este mismo prototipo para realizar la adquisición de las señales de manera inalámbrica para evitar limitar los movimientos del sujeto durante el registro de datos. Sin embargo, las aplicaciones no se detienen ahí, también se está trabajando en un sistema de control de prótesis inteligentes, donde el uso de un sistema como el propuesto en este trabajo tendría un gran impacto. Por lo tanto, este sistema, aún en estado de prototipo, se ha diseñado para que pueda ser versátil, lo que nos permitiría utilizarlo en muchas áreas de estudio tales como la rehabilitación, control de prótesis, cuidado del adulto mayor, ergonomía, medicina del deporte, detección de miopatías, análisis de la marcha y de parámetros biomecánicos entre muchas otros más.

#### **6. REFERENCIAS.**

1. Cameron, J. R., Skofronick, J. G. *Medical Physics, “Electricity within the body”*. (Ed. Wiley, New York), 615, (1978).
2. Roberto Merletti, Ales Holobar, Dario Farina, *Analysis of motor units with high-density surface electromyography*, Journal of Electromyography and Kinesiology, VOL. 18, 879–890, (2008).
3. Merletti Roberto, Parker Philip A., *Electromyography Physiology, Engineering, and Noninvasive Applications*, (IEEE Press, New Jersey), 494, (2004).
4. Pilar Castellanos Ábrego, Rafael Godínez Fernández, Joel Jiménez Cruz, Verónica Medina Bañuelos, *Electrofisiología humana. Un enfoque para ingenieros*, (UAM Unidad Iztapalapa, México, D.F.), 350, (1997).

5. Hansong Zeng, Yi Zhao, *Sensing Movement: Microsensors for Body Motion Measurement*, Sensors, 11, 638-660, (2011).
6. Freed Adam. *Design, Prototyping, Validation, and Testing of a Wearable Surface Electromyography Acquisition System*. Tesis de Maestría. Carleton University, Ottawa, Ontario (2012).
7. Dario Farina, Thomas Lorrain, Francesco Negro, Ning Jiang, *High-Density EMG E-Textile Systems for the Control of Active Prostheses*, 32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS, Buenos Aires, Argentina, (2010).
8. Barone Umberto, Merletti Roberto, *Design of a Portable, Intrinsically Safe Multichannel Acquisition System for High-Resolution, Real-Time Processing HD-sEMG*, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, VOL. 60, NO. 8, (2013).
9. H.J. Hermens, *Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles*. <<http://www.seniam.org/>> [consulta: 15 de Abril de 2014]
10. Texas Instruments, *ADS1298, Low-Power, 8-Channel, 24-Bit Analog Front-End for Biopotential Measurements*. (2012)
11. STMicroelectronics, *LIS3DH, MEMS digital output motion sensor ultra low-power high performance 3-axes "nano" accelerometer*. (2010)
12. STMicroelectronics, *L3G4200D, MEMS motion sensor: ultra-stable three-axis digital output gyroscope*. (2010)
13. Microchip, *PIC16LF1825 Data Sheet*. (2011)
14. HOPE Microelectronics, *RFM70, Low Power High Performance 2.4 GHz GFSK Transceiver Module*. (2006)
15. Microchip, *PIC18F2550 Data Sheet*. (2009)

### 3.3 AVANCES EN EL DISEÑO DE LA ESTACIÓN BASE DE UN SISTEMA TELEMÉTRICO MULTICANAL PARA LA MEDICIÓN DE LA ACTIVIDAD CEREBRAL EN RATAS.

Ing. Diego Efraín Salazar Loría, Ing. Tomás de Jesús Santiago Nuñez, Dr. Francisco José Heredia López

Facultad de Matemáticas, Centro de Investigaciones Regionales “Dr. Hideyo Noguchi”  
Universidad Autónoma de Yucatán

diego.salazar.ic@gmail.com, tomas.santiago.rm@gmail.com, hlopez@uady.mx

#### RESUMEN.

En este documento se presentan avances en la estación base de un sistema telemétrico para la adquisición de la actividad neuronal extracelular en ratas. Se construyó una nueva tarjeta de la estación base que tuviera disponibles todos los componentes de hardware del microcontrolador con la finalidad de poder utilizarlos para el desarrollo de nuevos algoritmos de comunicación. Se desarrolló una nueva interfaz USB 2.0 donde se implementó una nueva técnica para la transferencia de información. Se construyó una tarjeta prototipo que emula el funcionamiento del módulo de adquisición y que tiene la capacidad de generar señales de prueba para realizar una evaluación de la estación base. Se implementó un enlace de radiofrecuencia bidireccional entre ambos módulos del sistema y fue evaluado para determinar si se presentaba pérdida de información. Finalmente, se presenta la descripción del software de la computadora, desarrollado en LabVIEW, que también fue empleado como parte del proceso de evaluación.

#### ABSTRACT

This document contains the progress on the development of the base station of a telemetric system that allows to record extracellular neural activity on rats. A new electronic card was built for the base station; this card has connectors to all the peripherals available to use in the development process of new communication algorithms. A new USB 2.0 interface was developed that includes a new technique to the information transference. Also, was necessary build a prototype to emulate the functions of the acquisition module; this prototype was able to generate test signals to evaluate the base station. A bidirectional radio link was implemented between both modules and was evaluated to determine if information loss is presented. Finally, the software developed for the PC, on LabVIEW, is described; this software was used in the test process.

#### 1. INTRODUCCIÓN.

La neurona es la célula principal que compone el sistema nervioso. Son células especializadas en realizar una señalización eléctrica que puede viajar grandes distancias en el interior de los seres vivos [1]. En la figura 1 se puede observar la estructura básica de una neurona.

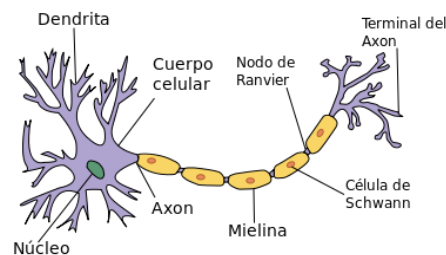
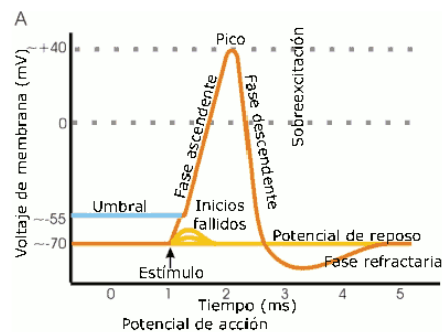


Figura 1: Estructura de una neurona

Las neuronas se componen de un soma o cuerpo celular en donde se llevan a cabo las funciones para mantener activa a la célula. Las arborizaciones que se observan en el soma de la neurona son llamadas dendritas, y es en estas arborizaciones en donde se recibe la entrada de las señales eléctricas provenientes de otras neuronas. A estos contactos eléctricos (entre el axón de una neurona y la dendrita o el cuerpo celular de otra) que permiten la comunicación entre dos neuronas se les llama sinapsis. El axón es la parte más larga de la neurona (puede superar el metro de longitud en algunas partes del cuerpo), y su función principal es la de transportar las señales eléctricas (potenciales de acción) que son generadas en el soma hasta las terminales sinápticas que se encuentran al final del axón. Las terminales sinápticas se encuentran conectadas a las dendritas de otras neuronas, por lo que cuando el impulso eléctrico llega a este punto se propaga hacia la siguiente neurona (de forma química o eléctrica) permitiendo de este modo que se realice una comunicación entre ellas. El proceso se repite en la siguiente neurona, y de esta forma se puede realizar una comunicación a lo largo de todo el sistema nervioso. A la señal eléctrica generada en el soma de la neurona y que es enviada hasta las terminales sinápticas para realizar la comunicación entre dos neuronas (sinapsis) se le conoce como potencial de acción [1].



**Figura 2: Diagrama de un potencial de acción.**

El potencial de acción es un evento eléctrico con una duración aproximada de entre 2 y 5 ms (en el sistema nervioso central) y con una amplitud de solamente algunos milivolts [1]. Los potenciales de acción en las neuronas pueden ser monitoreados mediante la inserción de microelectrodos en la parte extracelular o intracelular de la neurona. El registro de la actividad neuronal es importante en el proceso de creación y desarrollo de nuevos fármacos, los cuales posteriormente son empleados para el tratamiento de diversas patologías como enfermedades neurodegenerativas o trastornos en el sistema nervioso. Para realizar el registro de la actividad neuronal es importante considerar los valores de amplitud y frecuencia de los potenciales de acción para poder digitalizar y procesar dichas señales adecuadamente. La amplitud de las señales en el interior de la célula se encuentra en el rango de los milivolts teniendo un voltaje pico a pico de aproximadamente 100 mV pero que si se mide en el exterior de la célula se puede ver reducido hasta el orden de las decenas de microvolts [1] [2]. Mientras que las frecuencias para el monitoreo de actividad neuronal se encuentran en el rango de los 0.5 Hz a los 200 Hz [3].

El registro de la actividad cerebral cuando se le suministra un fármaco al sujeto de prueba, permite al investigador poder contrastar la información obtenida con las predicciones realizadas sobre el fármaco en experimentación. De esta manera, el experimentador puede determinar si los efectos provocados por el medicamento son los esperados y tener una mayor certeza de que no provocará efectos adversos que pudieran afectar la salud de las personas que lo utilicen. Es importante utilizar un modelo de pruebas que sea adecuado para el tipo de tratamiento al que va a ser destinado el nuevo fármaco. Un ejemplo es el caso de la enfermedad de Parkinson, cuyos

fármacos son generalmente probados en ratas. El uso de ratas está justificado debido a que su fisiología, en algunos núcleos profundos del cerebro, es similar a la de los humanos. Si bien no hay un modelo perfecto para realizar las pruebas, se sabe que para el caso de ejemplo de la enfermedad de Parkinson los mejores modelos son los ratones, las ratas y los monos [4].

Existen diversas técnicas para el registro neuronal en animales en libre movimiento. Una de ellas es el registro realizado a distancia, ya sea de forma inalámbrica o por medio de un sistema cableado. A esta técnica se le conoce como telemetría [3]. La telemetría inalámbrica en mediciones fisiológicas, permite colocar el sistema electrónico en el animal sin tener que utilizar cables para conectarlo a una computadora o módulo de adquisición de datos, reduciendo el estrés que pudieran ocasionar las conexiones cableadas y permitiendo que el comportamiento del animal sea lo más natural posible [5]. Los sistemas telemétricos típicamente se componen de dos módulos principales: el módulo de adquisición y la estación central o base. El módulo de adquisición es la parte donde se registra la información relevante al tipo de medición que se está realizando. Posteriormente, los datos recabados por el módulo de adquisición son enviados a la estación central o base en donde se procesan, se presentan al usuario, se almacenan y/o son enviados a una computadora para su posterior análisis.

Para realizar el registro de las mediciones de origen fisiológico se utilizan principalmente dos métodos: los no invasivos y los invasivos. En los métodos no invasivos se utilizan elementos de forma externa sin tener que realizar implantes en el sujeto de pruebas. Con este tipo de métodos se genera un estrés adicional en el animal debido a la presencia del cableado, sensores o cualquier dispositivo electrónico colocado [5]. Además, al ser elementos externos, podrían sufrir daños debido a que el animal se encuentra en libre movimiento y podría golpearlos, moverlos o desconectarlos. También se pueden utilizar métodos invasivos como la implantación de sensores bajo la piel. El uso de métodos invasivos permite el monitoreo de las señales deseadas por períodos prolongados de tiempo, de varias semanas o incluso meses. Además, las señales obtenidas son superiores a las que se puedan obtener por métodos no invasivos, ya que el sensor se encuentra más cerca de la fuente de la señal; con lo cual se obtiene una señal con una amplitud mayor, menor ruido y que puede ser procesada con mayor facilidad utilizando dispositivos de menor complejidad. Sin embargo, se tiene que esperar un tiempo de recuperación del animal después de la implantación de los componentes necesarios para los registros. En las ratas los tiempos de recuperación son de siete días aproximadamente [6] [7].

## **2. ANTECEDENTES.**

En trabajos previos se han registrado distintos sistemas encargados de medir la actividad eléctrica en el cerebro. Thorbergsson *et al.* [8], realizaron un sistema telemétrico para el registro de señales de neurofisiología capaz de monitorear solamente una entrada en cada momento. La transmisión de la información la pueden realizar de dos formas: enviando los registros de forma constante para un monitoreo en tiempo real o almacenando períodos de muestras en la memoria interna para luego enviarlos por partes. Mencionan que almacenando los registros en la memoria interna se consigue una mejor velocidad de muestreo (25 ksps) debido a que se tiene que hacer menos procesamiento, mientras que para un monitoreo en tiempo real la velocidad de muestreo lograda es de 3.7 ksps. Una estación base externa es utilizada para interactuar con el sistema de medición que desarrollaron.

Roham *et al.* [9] reportaron el diseño, implementación, caracterización de rendimiento y las pruebas *in vivo* de un circuito integrado, con comunicación inalámbrica, configurable para monitorear la actividad neuronal. El chip fue conectado a microelectrodos de fibra de carbón en ratas y demostraron satisfactoriamente el registro de la actividad eléctrica en el cerebro utilizando 16

canales. Esto demuestra la factibilidad del registro neuronal y transmisión de la información de forma inalámbrica.

Song *et al.* [10], mostraron un prototipo de un microsistema neuronal que se implanta en el cerebro. El microsistema utiliza señales infrarrojas para la transmisión de los datos de las señales de la actividad cerebral, y un esquema de entrega de corriente inductiva para energizar la electrónica del microsistema implantado. Realizaron sus pruebas registrando la actividad neuronal (utilizando 16 canales) de la corteza somatosensorial de una rata y la corteza motora de un mono.

Zhang *et al.* [11], diseñaron, construyeron y probaron en una rata, un sistema portable de electroencefalografía. El sistema fue diseñado con dispositivos de montaje superficial (SMD) y tuvo un tamaño de 20 x 25 x 3 mm y un peso total de 4 g. Para las pruebas, colocaron en el cráneo de una rata un conjunto de electrodos y un transmisor que fue atado a la espalda del animal. La rata estaba en libre movimiento mientras se monitoreaba la actividad cerebral. Los resultados indican que el sistema puede registrar mediciones durante 8 horas y transmitir los datos a una distancia de 20 m. Zhang *et al.* presentaron otro trabajo [12] que consiste en un sistema de registro neuronal utilizando radio-telemetría. El sistema consiste en dos partes: la sección estacionaria y la sección móvil. La sección estacionaria está compuesta por una laptop, una unidad con un microcontrolador, un receptor y un transmisor. La sección móvil consiste en una etapa de la cabeza y una mochila en donde se coloca la tarjeta electrónica, el receptor y el transmisor. En el sistema que construyeron se puede estimular la actividad motora de la rata para que realice giros a la izquierda, a la derecha o avance hacia el frente. Esta estimulación es realizada mediante microelectrodos que fueron implantados las áreas del cerebro relacionadas con la actividad motora del animal.

En trabajos más recientes se han presentado sistemas para la medición de señales fisiológicas en múltiples sujetos de estudio al mismo tiempo. Tal es el caso del trabajo presentado por Teng *et al.* [13]; presentan un sistema inalámbrico con capacidad de registrar actividad fisiológica simultánea en múltiples ratas en libre movimiento. Registraron EEG y señales de aceleración obtenidas a través de acelerómetros. Para la evaluación, el sistema propuesto fue montado en tres ratas en libre movimiento para realizar un registro durante 24 horas. Entre sus resultados se presenta que el sistema tiene una buena integridad de la información enviada (>99.98%), por lo que corroboran que múltiples sistemas inalámbricos son buenos para el registro simultaneo de actividad fisiológica.

Partiendo de todo lo mencionado anteriormente, en el centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi se propuso el diseño y construcción de un sistema telemétrico para el registro de actividad extracelular en ratas. Este sistema se compone de tres partes principales: la sección de microelectrodos, el módulo de adquisición (transmisor) y la estación base (receptor). La sección de los microelectrodos estará fijada en el cráneo de una rata, y mediante este módulo se fijaran los electrodos en la zona del cerebro que desee ser monitoreada. El módulo de adquisición es el encargado de digitalizar las señales que están siendo registradas a través del conjunto de microelectrodos. Posteriormente las señales digitalizadas en el módulo de adquisición son enviadas, de forma inalámbrica, hacia la estación base que es la encargada de recibir estas señales y enviarlas hacia una computadora en donde se analizan. Además, la estación base también tiene la función de enviar comandos de configuración al módulo de adquisición. Este documento presenta los avances en el desarrollo de la estación base con respecto al diseño presentado el año pasado [14]. Es importante mencionar que el desarrollo de la sección de los microelectrodos y el módulo de adquisición no forman parte del presente trabajo; y serán desarrollados en un futuro.



### 3. COMPONENTES DEL SISTEMA.

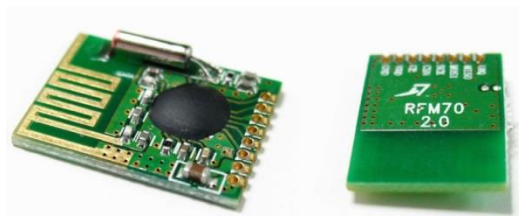
#### 3.1. Estación base

La estación base es el módulo del sistema encargado de recibir la información que está siendo digitalizada de la actividad neuronal de la rata y enviarla a través del protocolo USB (Universal Serial Bus) hacia una computadora. Al igual que también tiene la función de enviar comandos de configuración al módulo de adquisición para poder modificar sus parámetros de adquisición como lo son la velocidad de muestreo, las ganancias de los canales, resolución, entre otros.

Entre los componentes utilizados en la estación base se incluyen un transceptor de radiofrecuencia para la transmisión de la información, cambiadores de nivel necesarios para poder establecer correctamente la comunicación entre el microcontrolador y el transceptor de radiofrecuencia, y un microcontrolador encargado de gestionar todos los protocolos de comunicación. A continuación se detallan a fondo los componentes antes mencionados.

##### 3.1.1. Transceptor

El transceptor elegido para el enlace de comunicación inalámbrica es el RFM70 (Hoperf Electronic) [15]. Es un dispositivo de radio frecuencia (RF) con banda de operación ISM (Industrial, Scientific and Medical) de 2.4 GHz que puede enviar información a 1 Mbps y 2 Mbps; es de bajo consumo, requiriendo solo 11 mA en su modo de transmisión (Tx) y 17 mA en su modo de recepción (Rx). Un punto de suma importancia es que cuentan con una tecnología que permite un ensamble automático de los paquetes de datos, además de verificar su correcto envío y su retransmisión en caso que se perdiera el paquete enviado. Con esto se obtiene una importante mejora con respecto al prototipo anterior [14] en el que se necesitaba que el microcontrolador se encargara de armar el paquete de datos utilizando una importante cantidad de procesamiento.



**Figura 3: Transceptor RF, RFM70.**

En el prototipo que se presenta en este documento se configuró el RFM70 para trabajar con la tasa de transferencia de 2 Mbps y con una potencia de salida de 0 dBm, con lo cual el consumo de corriente es de 17 mA tanto en modo transmisor (Tx) como en modo receptor (Rx).

##### 3.1.2. Tasa de transferencia

El prototipo que aquí se describe fue diseñado para su uso en un sistema telemétrico de seis canales, y muestras con una resolución de 16 bits a una velocidad de muestreo de 8,000 muestras por segundo (8 ksps); sin embargo, se desea poder obtener un sistema con capacidades superiores para poder ampliar la velocidad de muestreo y/o la resolución de la muestras para poder registrar una mayor cantidad de información de los potenciales de acción extracelulares.

Para una mejor comprensión de la cantidad de información que debe ser transmitida se describe a continuación la estructura de un paquete de datos del RFM70. Cada paquete de información se compone de la siguiente manera:

- **Preámbulo (1 byte):** El preámbulo es una secuencia de bits utilizados para estabilizar el receptor. La longitud del preámbulo es de 8 bits (1 byte) cuyos valores pueden ser 10101010 ó 01010101.
- **Dirección (de 3 a 5 bytes):** Se trata de la dirección del receptor. Puede ser configurado para tener una longitud de 3, 4 o 5 bytes.
- **Paquete de control (0 ó 9 bits):** Este paquete solamente es habilitado cuando se habilita la función de carga útil dinámica. Contiene bits de control necesarios para el funcionamiento de la carga útil dinámica.
- **Carga útil (de 0 a 32 bytes):** La carga útil es la información relevante que quiere transmitirse. Puede tener una longitud desde 0 hasta 32 bytes. Existen dos tipos de carga útil: la estática y la dinámica. La estática tiene una longitud fija que será respetada para todas las transmisiones. La dinámica permite modificar la cantidad de información enviada en cada una de las transmisiones.
- **CRC (1 ó 2 bytes):** El CRC (Cyclic Redundancy Check) es el mecanismo de detección de errores del paquete. Puede ser de 1 o 2 bytes, los cuales son calculados a partir de la dirección, el paquete de control, y la carga útil. Ningún paquete es aceptado por el receptor si el CRC es incorrecto.

Como se mencionó anteriormente, se requiere enviar en cada conversión 96 bits de información debido a que se trata de seis canales de 16 bits de resolución cada uno; además, se deben agregar los bits relacionados con el preámbulo, dirección, paquete de control y CRC. Es decir, cada paquete de información tiene una longitud de 169 bits. Ya que la velocidad de muestreo es de 8,000 muestras por segundo se deberán realizar 8,000 transmisiones, de 169 bits cada una, por segundo. Por lo que en total se requieren enviar 1, 352,000 bits por segundo, es decir, 1.352 Mbps. Este valor corresponde a la velocidad de transferencia mínima que requiere el transceptor de radiofrecuencia para poder enviar la información registrada sin que se presente pérdida alguna. Ya que la velocidad de transferencia del RFM70 es de hasta 2 Mbps entonces se concluye que cumple con los requisitos mínimos para la transferencia de la información.

### 3.1.3. Microcontrolador

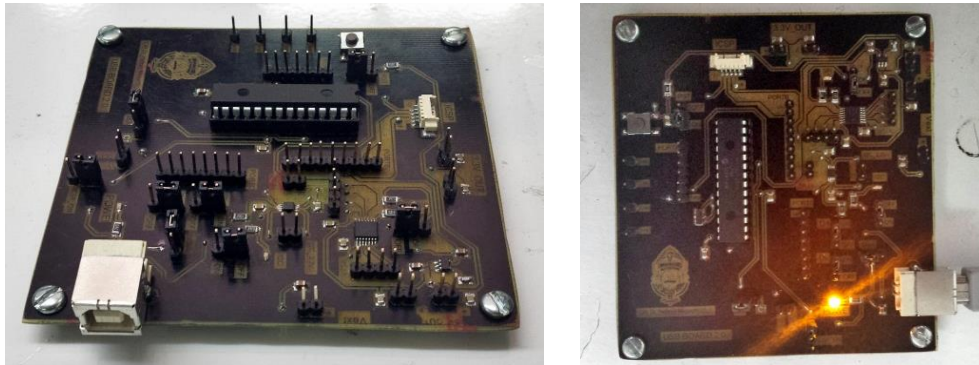
Se mantuvo el microcontrolador que se utilizó en la versión anterior, el PIC18F2550 (Microchip Technology Inc.) [16]. Este microcontrolador ha probado tener las características necesarias para el correcto desarrollo de las funciones requeridas por la estación base. Una de las características más importantes es la capacidad de establecer una interfaz de comunicación USB. El PIC18F2550 posee elementos en hardware que facilitan la configuración y el uso de dicha interfaz.

### 3.1.4. Tarjeta prototipo

Se construyó una tarjeta prototipo que tuviera disponible todas las capacidades del microcontrolador para poder implementar y probar los nuevos componentes y tecnologías que se desarrollaron para la estación base. Se habilitaron los protocolos de comunicación serial SPI (Serial Peripheral Interface) e I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit). El PIC18F2550 utiliza ambos protocolos con una lógica de 5V; sin embargo, el RFM70 utiliza el protocolo SPI con una lógica de 3.3V. Es por ello que se colocaron cambiadores de nivel TXB0104 [17] y TXB0102 [18] (ambos del fabricante Texas Instruments), los cuales son utilizados para la traslación de niveles lógicos de los protocolos SPI e I<sup>2</sup>C, respectivamente.

Esta tarjeta prototipo también incluye un regulador de voltaje de 3.3 V (TC1185 [19] del fabricante Microchip Technology Inc.) que se encarga de generar los 3.3 V necesarios para los cambiadores

de nivel. La tarjeta posee una serie de pines directamente conectados a los puertos de entrada/salida del microcontrolador, con lo que cada pin puede ser conectado y utilizado para lo que el usuario necesite. Se colocaron pines de alimentación desde donde se pueden tomar 5V o 3.3V para poder alimentar componentes o tarjetas externos utilizando la fuente de alimentación de la tarjeta prototipo, siempre y cuando no supere el límite de corriente que puede proporcionar el protocolo USB (500mA) para el caso de 5V y el límite del regulador de 3.3V (150mA). En la figura 4 se puede observar la tarjeta prototipo.



**Figura 4: Tarjeta prototipo de la estación base.**

### **3.1.5. Interfaz USB**

Se implementó una interfaz USB entre la estación base y la computadora para poder enviar la información recibida desde el módulo de adquisición hacia la computadora. La interfaz USB fue implementada en el microcontrolador PIC18F2550 utilizando solamente lenguaje ensamblador. La revisión USB utilizada para la interfaz es la 2.0 en su modo Full-Speed, utilizando el tipo de transferencia Bulk. Este tipo de transferencia tiene la capacidad de enviar una gran cantidad de información a través del bus USB alcanzando hasta 9.728 Mbps. Con ello se sabe que la velocidad de transferencia de información por medio de esta interfaz supera por mucho el requerimiento mínimo de tasa de transferencia de datos del sistema.

Se implementó una nueva técnica para el envío de la información en la interfaz USB, esto con el fin de mejorar la eficiencia en la transferencia de información entre la estación base y la computadora; está técnica recibe el nombre de buffers Ping-Pong. La técnica Ping-Pong utiliza dos buffers para la transferencia USB. El primer buffer es llamado buffer par, y el segundo es llamado buffer impar. En esta técnica la primera transferencia de información utiliza el buffer par para enviar los datos; la segunda transferencia utiliza el buffer impar. En la tercera transferencia se utiliza de nuevo el buffer par para enviar información. Es decir, en cada nueva transferencia se envía la información contenida en el buffer opuesto al de la última transferencia; conmutando entre ambos buffers. La principal ventaja que se obtiene con esto es que, por ejemplo, si se está enviando la información contenida en el buffer par se puede utilizar el buffer impar para procesar y preparar nueva información para enviarla en la siguiente transferencia sin tener que esperar a que se termine la transferencia actual para poder preparar un nuevo paquete de datos. Esto incrementa la capacidad de manejo de información por parte del microcontrolador, lo que a su vez incrementa la eficiencia en la transferencia de información entre la computadora y la estación base.

### 3.2. Prototipo del módulo de adquisición

El módulo de adquisición es el encargado de digitalizar y transmitir inalámbricamente las señales que están siendo registradas a través del conjunto de microelectrodos. Esta digitalización será realizada mediante un front-end dedicado especialmente para la adquisición de biopotenciales. Tentativamente se pretende utilizar el front-end ADS1298 (Texas Instruments) [20]. El ADS1298 es un front-end de bajo consumo para la medición de biopotenciales; con 8 canales, cada uno con una resolución de 24 bits y una velocidad de muestreo de hasta 8,000 muestras por segundo. Otra de las características destacadas de este front-end es que tiene la posibilidad de modificar la ganancia de los amplificadores colocando alguno de los siguientes valores: 1, 2, 3, 4, 6, 8 ó 12.

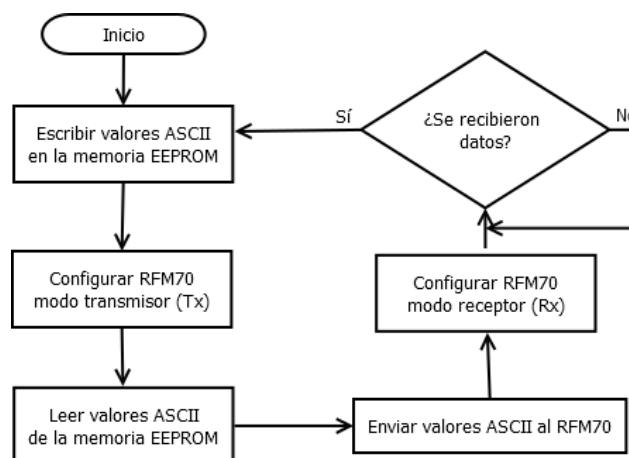
Para la evaluación del funcionamiento de la estación base, fue necesaria la realización de un prototipo del módulo de adquisición, que tuviera la capacidad de emular las señales obtenidas por el conjunto de microelectrodos.

## 4. EVALUACIÓN.

### 4.1. Generación de datos en el módulo de adquisición.

Uno de los principales requerimientos era el de establecer una comunicación mediante el protocolo I<sup>2</sup>C y SPI del microcontrolador. Esto fue necesario debido a que en el sistema final aún no se sabe si el front-end a utilizar tendrá comunicación I<sup>2</sup>C o SPI; el módulo de radiofrecuencia RFM70 utiliza una comunicación SPI. Si bien es verdad que tentativamente se utilizaría el ADS1298 como front-end en el módulo de adquisición, el cual tiene comunicación SPI, aún no se ha definido si finalmente ese dispositivo será el empleado. Es por ello que se realizaron las pruebas para que el microcontrolador pudiera establecer tanto una comunicación I<sup>2</sup>C como una SPI. Estos protocolos no se utilizarán al mismo tiempo, si no que serían alternados para establecer comunicación con los dispositivos que los requieran.

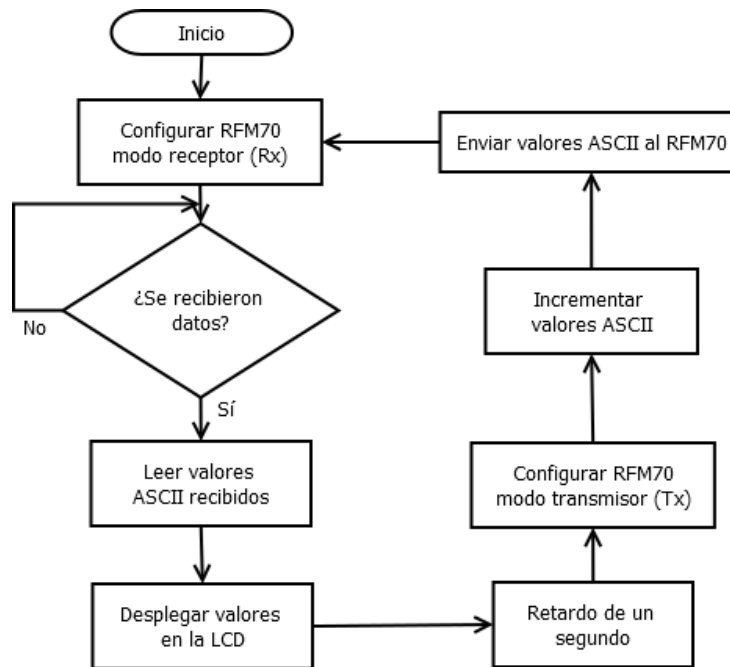
Para la validación del funcionamiento de ambos protocolos se conectó una memoria EEPROM con comunicación I<sup>2</sup>C y el módulo de radiofrecuencia RFM70 con SPI. Se implementaron las rutinas necesarias para establecer individualmente cada uno de los protocolos; se comprobó que en ambos casos la comunicación se estableciera de forma correcta. Posteriormente se tomaron ambas rutinas y se unieron en una sola que contiene ambos protocolos. Se implementó un firmware para la generación de datos emulados en el módulo de adquisición los cuales fueron enviados hacia la estación base para evaluar su funcionamiento. En la figura 5 se puede observar el diagrama del firmware desarrollado.



**Figura 5: Diagrama del firmware del módulo de adquisición.**

Al inicio se escriben en las primeras 20 posiciones de memoria de la EEPROM los valores ASCII de los caracteres 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K. Luego se configura el módulo RFM70 para que tenga la función de transmisor. Después, se leen esas mismas primeras 20 posiciones de memoria de la EEPROM y se envían al RFM70 para que las transmita de forma inalámbrica. Posteriormente, el microcontrolador configura al RFM70 en modo receptor y se queda en espera de que la estación base le devuelva una serie de 20 valores ASCII. Cuando se recibe esta información, el microcontrolador lee el RFM70 para recuperar esos valores y los escribe en las primeras 20 posiciones de memoria de la EEPROM, reemplazando los valores escritos anteriormente. Esta rutina se repite de nuevo para reenviar los nuevos valores que se recibieron. De esta manera se pudo corroborar el correcto funcionamiento de ambos protocolos (SPI e I<sup>2</sup>C).

#### 4.2. Interfaz de comunicación inalámbrica



**Figura 6: Diagrama del firmware de la estación base.**

Para la evaluación de la interfaz inalámbrica, además del RFM70 también se conectó una pantalla LCD de 16 segmentos y 2 filas en la estación base. El LCD fue utilizado para desplegar los caracteres que se estaban transmitiendo desde el módulo de adquisición, y evaluar que efectivamente fueran correctos y que no hubiera pérdida de información. En la figura 6 se puede observar todo el proceso que ejecuta el firmware de la estación base. Lo primero que realiza es configurar el módulo RFM70 como receptor y esperar a que se reciba un paquete de datos válido por parte del módulo de adquisición. Cuando el RFM70 recibe un paquete de información válida, el microcontrolador se encarga de leer esta información y desplegarla en la pantalla LCD; realizando un retardo de un segundo para que se pueda observar si los caracteres son correctos. El primer conjunto de caracteres desplegados es 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K; que corresponden a los primeros que fueron enviados en la primera transferencia desde el módulo de adquisición. Luego el microcontrolador procede a configurar el RFM70 en modo transmisor; el microcontrolador incrementa el valor ASCII de cada uno de los datos recibidos, produciendo un efecto de corrimiento en los caracteres, y luego los envía a través al RFM70 para que los transmita

al módulo de adquisición. Con ello, se transmiten los valores ASCII de los caracteres 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, :, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L produciendo el efecto de corrimiento antes mencionado. Al finalizar con la transmisión de estos datos, se procede a configurar de nuevo al RFM70 en modo receptor y se queda en espera para recibir nueva información. Todo lo anterior se repite de nuevo cada vez que se reciben nuevos datos. Con esto se pudo establecer una comunicación bidireccional entre ambos módulos RFM70 (el del módulo de adquisición y el de la estación base), en la cual no se observaron pérdidas de información.

Tanto el firmware del módulo de adquisición como el de la estación base fueron desarrollados exclusivamente en lenguaje ensamblador. Esto se hizo con el fin de optimizar al máximo el procesamiento de la información debido a que el tiempo es un factor crítico en este proyecto.

#### **4.3. Aplicación de la computadora**

Adicionalmente, se implementó una aplicación en la computadora que tuviera la capacidad de comunicarse con la estación base y de recibir información desde ella. Para la implementación de la aplicación en la computadora se utilizó el software LabVIEW del fabricante National Instruments [21]. La aplicación que se desarrolló fue utilizada para verificar la correcta transmisión de la información desde el prototipo del módulo de adquisición y la comunicación entre la estación base y la computadora mediante la interfaz USB. Esta aplicación primero abre los canales de comunicación en el bus USB para poder intercambiar datos con la estación base. Luego solicita los datos a la estación base, y ésta a su vez le envía la información recibida desde el módulo de adquisición. Para emular el funcionamiento que tiene la pantalla LCD en la estación base, se presenta en la pantalla de la computadora un campo de texto donde aparecen los mismos caracteres que están apareciendo en la pantalla LCD conectada a la estación base. Se mantuvo el retardo de un segundo para poder observar claramente si no había pérdida de información tanto en la pantalla LCD como en la pantalla de la computadora mediante la aplicación desarrollada en LabVIEW. Con esta aplicación se comprobó que no existía pérdida de información en el enlace de radiofrecuencia ni en la interfaz USB para una tasa de transferencia baja.

### **5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.**

A continuación se presentan los principales resultados obtenidos hasta el momento, al igual que las conclusiones y los elementos que quedan pendientes por desarrollar o mejorar para obtener un sistema más eficiente.

#### **5.1. Resultados**

Se obtuvo un sistema con la capacidad de establecer una comunicación bidireccional inalámbrica, utilizando transceptores de radiofrecuencia (RFM70), entre la estación base y el módulo emulado de la sección de adquisición. Mediante este enlace de radiofrecuencia se pudo intercambiar datos entre ambos módulos sin pérdida de información, lo cual es necesario en el sistema final para poder enviar la información registrada de la actividad neuronal del módulo de adquisición hacia la estación base y los comandos de la estación base hacia el módulo de adquisición.

Se desarrolló una interfaz de comunicación USB entre la tarjeta de la estación base y una computadora. Esto permitió el envío y recepción de una gran cantidad de información. La implementación de la técnica Ping-Pong, permitió poder incrementar la cantidad de datos que puede manejar el microcontrolador. Esto mejoró la eficiencia del sistema al no tener que esperar a

que una transferencia de datos en progreso finalice para poder preparar el siguiente paquete de datos que serán transmitidos.

Se construyó una tarjeta de pruebas de la estación base en donde se dejaron libres todos los elementos de hardware del microcontrolador; como lo son: las interfaces SPI e I<sup>2</sup>C en modos de 5V y 3.3V; conexión USB; pines para las entradas y salidas del microcontrolador; regulador de 3.3V; pines para proporcionar alimentación a componentes externos; entre otros.

Se mejoraron los firmwares de los microcontroladores y se implementó un nuevo software en la computadora para el proceso de evaluación. Los firmwares de los microcontroladores fueron desarrollados completamente en ensamblador, lo cual optimiza el procesamiento de la información que está siendo transmitida.

## **5.2. Discusiones**

Es necesario implementar algunas modificaciones en la configuración del RFM70 y realizar pruebas para evaluar si las interfaces de comunicación continúan funcionando adecuadamente y determinar si se presenta alguna mejora. Esto es debido a que en el RFM70 se pueden reducir los bytes de control, dirección y CRC del paquete enviado, con lo cual es posible que se obtenga una mayor tasa de transferencia de datos útiles.

Se necesita realizar una validación de la tasa de transferencia que posee el sistema actual para determinar si es suficiente o si es necesario realizar modificaciones en el software o hardware del sistema para alcanzar la tasa de transferencia mínima requerida.

## **5.3. Conclusiones**

La estación base desarrollada es capaz de establecer un enlace bidireccional de radiofrecuencia con el módulo de adquisición para recibir y/o enviar información. Las transferencias utilizadas para las pruebas demostraron que el transceptor RFM70 tiene la capacidad de enviar información sin pérdida y con la nueva técnica utilizada para la interfaz USB se optimiza la transferencia de la información entre la estación base y la computadora. La implementación de los firmwares de los microcontroladores en lenguaje ensamblador optimizó el procesamiento de la información.

## **6. TRABAJO A FUTURO.**

Una vez terminado la estación base propuesta en este trabajo, es necesario realizar la integración con las demás secciones del sistema de telemetría. Para después realizar la evaluación de la comunicación con el módulo de adquisición final para verificar que todo el hardware y software funcione correctamente.

Después de realizar la evaluación funcional del sistema se procederá a realizar la evaluación biológica. En esta evaluación ya se deberán realizar implantes en ratas para comenzar a realizar un registro de la actividad neuronal. Es por ello que es muy importante que la evaluación funcional que se mencionaba anteriormente haya pasado todas las pruebas satisfactoriamente; ya que para la realización de la evaluación biológica es necesario realizar una larga preparación de los animales antes de poder utilizarlos en un experimento, por lo que un error de hardware o software ya con el experimento en curso produciría que los datos registrados ya no fueran válidos, conllevando a la pérdida de todo el tiempo empleado anteriormente para la preparación del experimento.

## 7. REFERENCIAS.

- [1] D. Purves, G. J. Augustine, D. Fitzpatrick, W. C. Hall, A.-S. LaMantia, J. O. McNamara, S. M. Williams, *Neuroscience*, 773, (2004).
- [2] R. R. Harrison, *The Design of Integrated Circuits to Observe Brain Activity*, *Proc. IEEE*, vol. 96, no. 7, pp. 1203–1216, (2008).
- [3] G. Fontani, *Telemetry of Several Biological Signals from Behaving Animals*, pp. 343–344, (1981).
- [4] M. E. Emborg, *Evaluation of animal models of Parkinson's disease for neuroprotective strategies*, *J. Neurosci. Methods*, vol. 139, no. 2, pp. 121–43, (2004).
- [5] K. Kramer, L. B. Kinter, *Evaluation and applications of radiotelemetry in small laboratory animals*, *Physiol. Genomics*, vol. 13, no. 3, pp. 197–205, (2003).
- [6] A. N. Greene, S. L. Clapp, R. H. Alper, *Timecourse of recovery after surgical intraperitoneal implantation of radiotelemetry transmitters in rats*, *J. Pharmacol. Toxicol. Methods*, vol. 56, no. 2, pp. 218–22, (2007).
- [7] A. Scridon, C. Gallet, M. M. Arisha, V. Oréa, B. Chapuis, C. Barrès, C. Julien, P. Chevalier, *Telemetry monitoring in spontaneously hypertensive rats. Impact of the implant procedure, assessment of electrocardiographic signal quality*, vol. 22, no. 2, (2012).
- [8] P. T. Thorbergsson, M. Garwicz, J. Schouenborg, J. Johansson, *Implementation of a telemetry system for neurophysiological signals*, *Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, vol. 2008, pp. 1254–7, (2008).
- [9] M. Roham, C. D. Blaha, P. a Garris, K. H. Lee, P. Mohseni, *A configurable IC for wireless real-time in vivo monitoring of chemical and electrical neural activity*, *Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, vol. 2009, pp. 4222–5, (2009).
- [10] Y. Song, W. R. Patterson, C. W. Bull, D. A. Borton, Y. Li, A. V. Nurmikko, J. D. Simeral, J. P. Donoghue, *A Brain Implantable Microsystem with Hybrid RF/IR Telemetry for Advanced Neuroengineering Applications*, pp. 445–448, (2007).
- [11] D. Zhang, X. Gao, D. C. Yu, A. Preamplifier, *A Wireless Electroencephalogram Telemetry Recording System for Roaming Animals*, pp. 192–195, (2011).
- [12] D. Zhang, Y. Dong, M. Li, H. Wang, *A Radio-Telemetry System for Navigation and Recording Neuronal Activity in Free-Roaming Rats*, *J. Bionic Eng.*, vol. 9, no. 4, pp. 402–410, (2012).
- [13] H.-Y. Teng, Y.-D. Liu, D.-W. Chang, C.-P. Young, S.-F. Liang, F.-Z. Shaw, *Concurrent wireless physiological signal monitoring system for multiple freely moving rats*, *2013 IEEE Int. Instrum. Meas. Technol. Conf.*, pp. 249–252, (2013).
- [14] D. Salazar, F. Heredia, *Estación base de un sistema telemétrico multicanal para la medición de la actividad cerebral en ratas, con reubicación remota del conjunto de microelectrodos*, in *XIII Congreso Nacional De Ingeniería Eléctrica Y Electrónica Del Mayab*, pp. 223–232, (2013).
- [15] RFM70 - Low Power High Performance 2.4 GHz GFSK Transceiver Module - Datasheet. [En línea]. <<http://www.hoperf.com/upload/rf/rfm70.pdf>> [Consulta: 01 abril 2014].
- [16] PIC18F2550 - 28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology - Datasheet. [En línea]. <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>> [Consulta: 01 abril 2014].
- [17] TXB0104 - 4-bit bidirectional voltage-level translator with auto direction sensing and  $\pm 15$ -kV ESD protection - Datasheet. [En línea]. <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/txb0104.pdf>> [Consulta: 01 abril 2014].
- [18] TXB0102 - 2-bit bidirectional voltage-level translator with auto direction sensing and  $\pm 15$ -kV ESD protection - Datasheet. [En línea]. <<http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/txb0102.pdf>> [Consulta: 01 abril 2014].
- [19] TC1185 - 150mA CMOS LDOs with Shutdown and Reference Bypass. [En línea]. <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21335c.pdf>> [Consulta: 26 abril 2014].



- [20] ADS1298 - Low-Power, 8-Channel, 16-Bit Analog Front-End for Biopotential Measurements - Datasheet. [En línea]. <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1298.pdf>> [Consulta: 01 abril 2014].
- [21] LabVIEW. [En línea]. <<http://www.ni.com/labview/esa/>> [Consulta: 01 abril 2014].

### 3.4 LAMPARA LED DE FOTOTERAPIA PARA NEONATOS.

Carlos Lujan Ramírez, Eric Iván Flores Solís, Jesús Sandoval Gio, Margarita Álvarez Cervera

Instituto Tecnológico de Mérida  
Av. Tecnológico Km 5 s/n Mérida, Yucatán, México. C.P. 97118  
floressoliseric@gmail.com

Palabras clave: Fototerapia, LED, TLC5940

#### RESUMEN.

El presente artículo trata acerca del diseño de un prototipo de Lámpara LED de fototerapia para tratar la ictericia neonatal. La ictericia neonatal se presenta por la acumulación de bilirrubina en la sangre debido a que el hígado, aun no maduro, del recién nacido no la puede filtrar. La Fototerapia para neonatos consiste en aplicar un haz de luz en el rango entre 450 y 480 nm en la piel del recién nacido, esta luz produce que la molécula de la bilirrubina se degrade y pueda ser desechada por el organismo. El diseño propuesto consiste en una fuente de luz generada por LEDs que se encuentra en el rango deseado para las lámparas de fototerapia.

#### 1 INTRODUCCION.

La ictericia neonatal o hiperbilirrubinemia neonatal, es un problema común que afecta a los niños al nacer y se estima que el 60% de los niños prematuros la padece, provocan que la piel y la esclerótica de los ojos del bebé luzcan amarillas. Se produce porque el hígado del neonato no puede eliminar la bilirrubina, un producto de la degradación de las células sanguíneas [1].

La fototerapia es un procedimiento comúnmente utilizado para tratar la hiperbilirrubinemia neonatal (figura 1).



Figura 1: Fototerapia aplicada a un recién nacido.

A menudo, el hígado de un recién nacido tiene una capacidad reducida para eliminar la toxicidad. Se ha demostrado que la fototerapia es un método fiable en el tratamiento de los niveles elevados de bilirrubina. Mediante una reacción fotoquímica, la luz convierte la bilirrubina en su estado hidrosoluble. Esta transformación permite su expulsión a través de la vesícula y los riñones [2]. La parte azul del espectro luminoso, con un nivel máximo de absorción de 458 nm, resulta especialmente eficaz en la desintegración de la bilirrubina [3].

## 2. EQUIPOS DE FOTOTERAPIA.

En la actualidad existen varios tipos de equipos de fototerapia:

- Las lámparas halógenas o con tubos fluorescentes
- Pads de fibra óptica tipo manta
- Lámparas a base de LEDs (Light Emmiting Diode)

Las lámparas halógenas (figura 2) tienen la ventaja de ser menos costosas que los otros tipos pero requieren de mayor potencia para funcionar y además producen luz infrarroja y ultravioleta que se traduce en calor el cual sin la debida supervisión puede causar lesiones en la piel del recién nacido.



**Figura 2: Lámpara Halógena de Fototerapia, Dragger Phototerapy 4000.**

Las lámparas con pads de fibra óptica (figura 3) transfieren la luz a una manta que envuelve al recién nacido, este tipo de fototerapia es muy eficiente pero tiene la desventaja de que los equipos son muy costosos.



**Figura 3: Lámpara de Fototerapia con pads de fibra óptica, General Electric Bilisoft.**

Las lámparas de LEDs (figura 4) poseen la ventaja de que no producen calor, tienen un tiempo de vida mayor que los tubos fluorescentes y su consumo de potencia es muy bajo, además son menos costosas que las de fibra óptica.

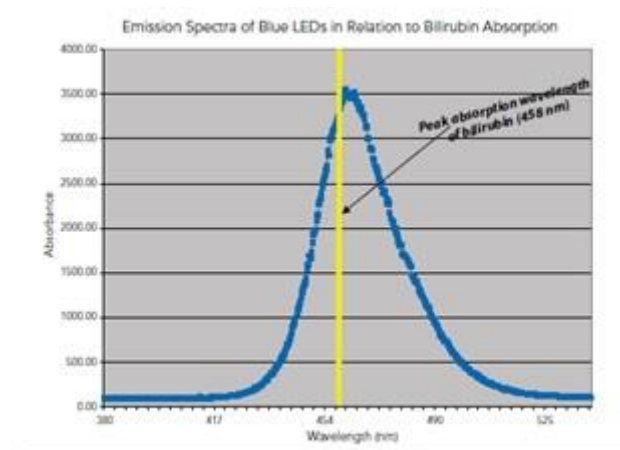


**Figura 4: Lámpara LED de fototerapia, DISON BL-30.**

### 3 PRINCIPIO DE OPERACIÓN.

La efectividad y seguridad de la fototerapia depende de los siguientes factores:

*Longitud de onda (intensidad de luz).* Se regula por medio de filtros y debe encontrarse entre 400 y 550 nm, acercándose lo más posible a la luz azul [4]. Para el caso de fuentes de LED el pico de absorción de Bilirrubina se encuentra a los 458 nm (figura 5).



**Figura 5: Relación longitud de onda / absorción de bilirrubina.**

*Intensidad de radiación ( $W/cm^2$ ).* Es regulada por controles de intensidad de luz y por la distancia entre la fuente de luz y el paciente. Debe tenerse presente que en la medida que se disminuya la distancia entre el paciente y la fuente, se incrementa el nivel de irradiación y el calor.

Es de gran importancia el contar con un radiómetro con un ancho de banda apropiado para medir los niveles de luz irradiada por la unidad de fototerapia. Los niveles de irradiación pueden variar dependiendo de la combinación de fuentes de luz de cada unidad. La irradiación mínima para unidades de pedestal debe de ser 18 micro watts/  $cm^2/nanómetro$  a 40 cm., para las de contacto de 19 micro watts/  $cm^2/nanómetro$  y para las unidades de pedestal de LED's de 40 micro watts/  $cm^2/nanómetro$  a 40 cm [4].

*Superficie corporal (piel) expuesta a la fototerapia (en  $cm^2$ ).* Este es un factor importante para determinar la efectividad de la terapia. Para poder comparar la eficiencia y la efectividad de los diferentes sistemas de fototerapia se puede usar el promedio de la potencia espectral la cual se define como el producto del área de la superficie de la piel que está siendo irradiada y el promedio de la irradiancia espectral a través de dicha área. El área de un bebé normal completamente desarrollado es de aproximadamente 2100  $cm^2$ , y para un bebé prematuro de 32 semanas es de aproximadamente 1300  $cm^2$  (esto de acuerdo a la International electrotechnical Commission (IEC)), la lámpara de fototerapia convencional ilumina hasta una tercera parte de la piel del bebé, por ejemplo de 700  $cm^2$  y 430  $cm^2$ , para un bebé desarrollado completamente y para un bebé prematuro respectivamente. El iluminar la mayor cantidad de superficie de la piel ha mostrado un incremento en la eliminación de la bilirrubina [4].

*Tiempo de exposición a la luz.* Una sesión típica de fototerapia de baja intensidad consiste en tres días de tratamiento continuo para prematuros y de uno a dos días para neonatos a término [4]. En la tabla 1 se muestra la disminución de la concentración de Bilirrubina en función del tiempo, se comparan un grupo de control (luz natural), lámparas fluorescentes, un modelo de fibra óptica (wallaby) y de LED [5].

Tiempo (min.)	Control	Fluorescentes	Wallaby	LEDs
0	8.7+0.1	8.8 + 0.1	8.8+0.1	8.7+0.1
30	8.8+0.2	8.8 + 0.1	8.7+0.2	8.7+0.2
60	8.8+0.2	8.6 + 0.2	8.5+0.1	8.5+0.2
90	8.8+0.2	8.4 + 0.2	8.4+0.1	8.3+0.2
120	8.9+0.1	8.3 + 0.1	8.2+0.1	8.0+0.4
180	9.0+0.1	8.0 + 0.2	7.8+0.1	7.6+0.4
240	9.0+0.1	7.7 + 0.2	7.5+0.2	6.9+0.6

**Tabla 1: Disminución de la concentración de bilirrubina en función del tiempo.**

#### 4 ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO.

Para el diseño de la Lámpara de Fototerapia LED se observaron las especificaciones de otras Lámparas LED que existen en el mercado (tabla 2) [5].

	BabyBlue	NeoBlue			Biltron	BilLED
		Lámpara	Mini	Cozy		
Longitud onda (nm)	450-470	450-595	450-595	450-470	400-550	453-487
Intensidad ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ )	N/D	12-15 / 30-35	mas de 30	30-35	4-50	hasta 50
Área Iluminada ( $\text{cm}^2$ ) <sup>2</sup>	N/D	1250	258	613	707	314
Homogeneidad (%)	N/D	10%	10%	40%	N/D	10%
Calor Emitido ( $^{\circ}\text{C}$ ) <sup>4</sup>	N/D	$\Delta T=10$	$\Delta T=10$	40	$\Delta T=1.5$	N/D
Cantidad de Ledes	640	N/D	N/D	N/D	5	100

**Tabla 2: Especificaciones de varios modelos de lámparas LED de fototerapias comerciales.**

Con lo anterior se define que la lámpara a diseñar va a contar con las siguientes especificaciones:

- Longitud de onda                      450-480 nm
- Intensidad                                40 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$  a una distancia de 40 cm
- Área Iluminada                        al menos 300  $\text{cm}^2$

Se propone una distancia de 40 cm porque es la distancia típica del techo de una incubadora a la piel del recién nacido [6]. Para poder determinar la irradiancia (watts de potencia que inciden sobre el detector) se requiere un medidor de potencia luminosa (fig.6), este tipo de medidores permite medir la intensidad luminosa a una longitud de onda específica, en nuestro caso 450-480 nm [7].



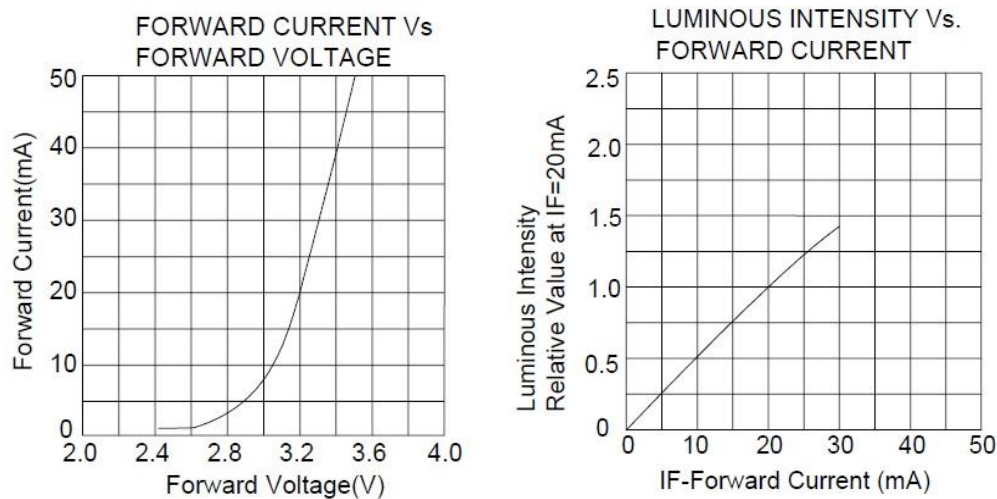
**Figura 67: Radiant power meter, Oriel 70260.**

El prototipo de la lámpara constará de un circuito panel de leds, un circuito driver y un microcontrolador, a continuación se describen dichos módulos.

## 5 MODULOS DE LA LAMPARA.

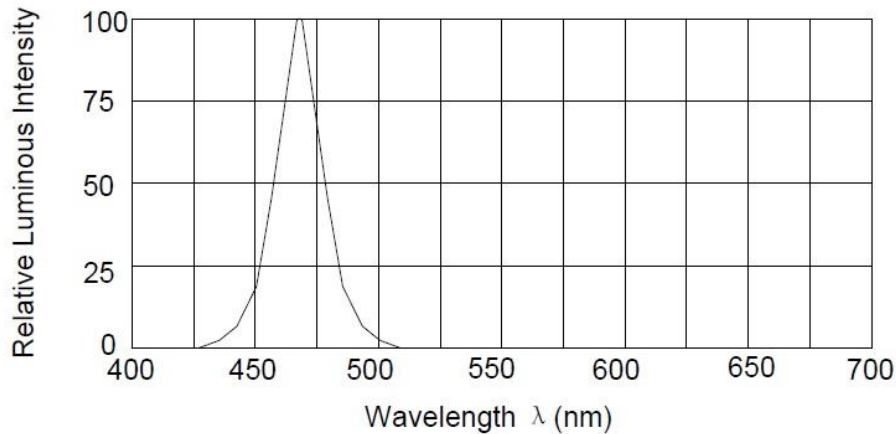
### 5.1 PANEL DE LEDS

Se propone un diseño que consta de 4 paneles de 48 leds cada uno, y se utilizan leds 510LB7C [8] de color azul super brillante de material Nitruro de Galio (GaN), en la figura 7 se muestran las curvas características de corriente forward ( $I_F$ ) contra Voltaje forward ( $V_F$ ) y de intensidad luminosa  $I_v$  contra corriente forward ( $I_F$ ) para estos leds.



**Figura 8: Curvas características  $I_F$  vs  $V_F$  e  $I_v$  vs  $V_F$  para los leds 510LB7C.**

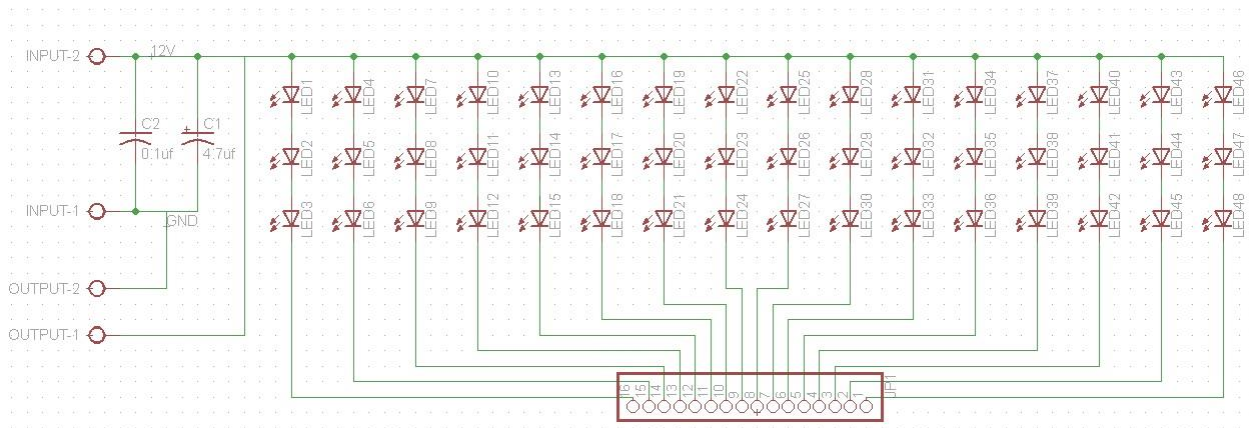
Analizando las curvas anteriores se propone una corriente forward  $I_F$  de operación de 20 mA, para este valor de corriente se tiene un voltaje forward  $V_F = 3.2V$  y una intensidad luminosa relativa igual a 1 que equivale según la hoja de datos [8] a  $I_v = 3995$  mcd (mili candelas).



**Figura 8: Intensidad luminosa relativa vs longitud de onda.**

La longitud de onda dominante para una corriente forward  $I_F = 20\text{mA}$  se encuentra en el rango de 465 a 480 nm, en la figura 8 se observa que la intensidad luminosa máxima se encuentra aproximadamente a 465 nm. Recapitulando las especificaciones del diseño, el rango de longitud de onda propuesto es de 450 a 480 nm por lo cual con los leds 510LB7C se cumple esta característica.

El voltaje de alimentación para los paneles de leds es de 12 V y cada panel tendrá su circuito driver que consta de 16 canales, recordando que cada led tiene un  $V_F = 3.2\text{ V}$  esto nos permite colocar 3 leds por canal. Cada columna de leds se conecta en serie con el ánodo a la terminal positiva de la fuente de 12 V y el cátodo a la terminal del circuito driver, el diagrama esquemático se puede observar en la figura 9.

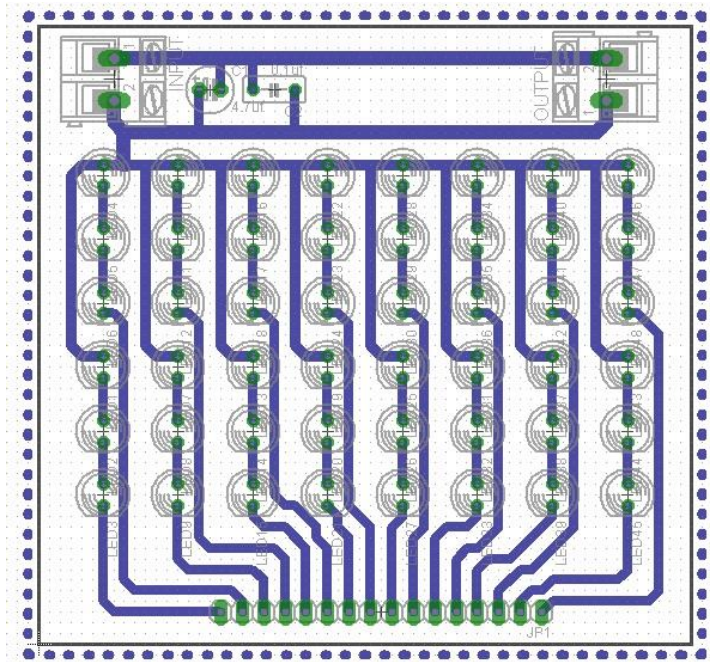


**Figura 9: Diagrama esquemático del panel de leds.**



Se colocan C1 y C2 para eliminar ruido de la fuente y se coloca una terminal de salida (OUTPUT) para conectar el siguiente panel. El diagrama esquemático y el PCB de los circuitos se realizaron con la versión 6.5 del software EAGLE.

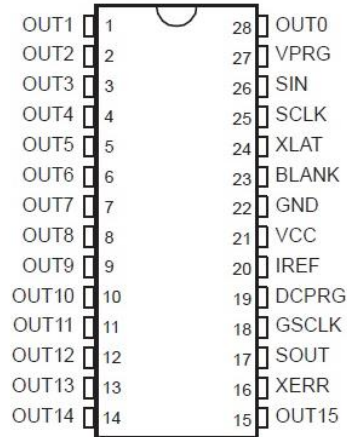
En la figura 10 se muestra el PCB del panel de leds, en la parte superior se observan dos conectores tipo borneras uno de la fuente de 12V para alimentar el circuito y el otro para conectar el siguiente panel. Los leds de 5 mm están conectados en serie en grupos de 3 con un extremo a la línea de 12 V y el otro a los pines de salida que van conectados mediante un bus al circuito driver. La dimensiones del PCB son de 7.8 x 7.4 cm.



**Figura 9: PCB del panel de leds.**

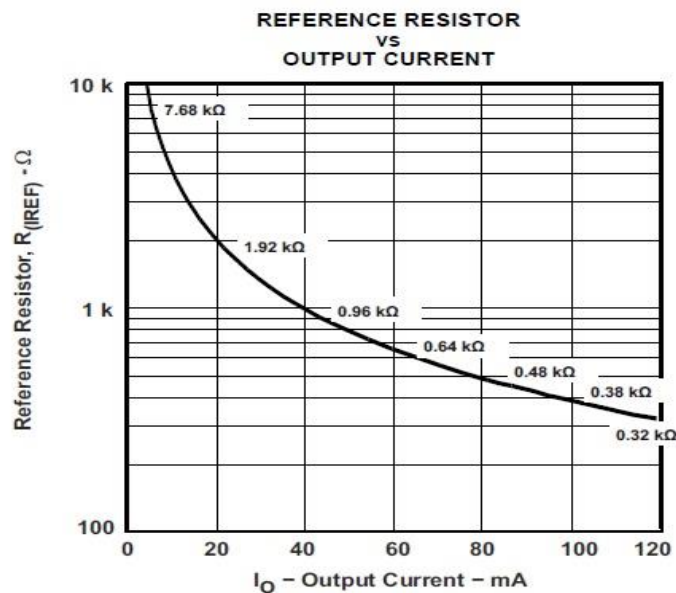
### **5.2 CIRCUITO DRIVER.**

Para el circuito driver se utilizó el TLC5940NT de Texas Instruments [9], este circuito integrado es un driver de 16 canales con una capacidad de hasta 120 mA por canal, esta corriente se ajusta con una resistencia externa. Cada canal puede ser controlado con un PWM de 4096 pasos mediante comunicación serial con un microcontrolador, la alimentación del integrado es con  $V_{CC} = 5V$ , figura 11.



**Figura 101: Circuito integrado TLC5940NT, Texas Instruments.**

La fuente de alimentación para los canales  $V_o$  (OUT0 - OUT15) puede ser de hasta 17 V, en este caso usamos 12 V que es el voltaje con el que se alimentan los leds. Cuando la terminal BLANK está en alto todos los canales son apagados, cuando está en bajo los canales son controlados por el PWM. La terminal DCPRG controla el flujo de los datos de la función “dot correction”, cuando está en bajo los datos pasan a la memoria EEPROM y cuando está en alto se van al registro de DC, en este caso lo mantenemos en  $V_{cc}$  aunque no utilizamos dicha función. La terminal GSCLK es el reloj de referencia para el control PWM, lo conectamos al microcontrolador. IREF es la terminal donde conectamos la resistencia externa para establecer la corriente de los canales, en la figura 12 se puede observar la gráfica de resistencia de referencia contra corriente de salida [9].



**Figura 12: Curva  $R_{IREF}$  vs  $I_o$  del TLC5940.**

Recordamos que habíamos establecido una corriente de 20 mA para los leds, es decir, la corriente que circule por cada canal del driver será de 20 mA. De la gráfica anterior observamos que para una corriente de salida  $I_O = 20\text{mA}$  debemos colocar una resistencia de referencia  $R_{REF}$  aprox. de 2kohm.

La terminal SCLK es para el reloj de la comunicación serial, lo conectamos al microcontrolador. SIN son los datos de entrada del microcontrolador. SOUT son los datos de salida, cuando se conectan varios TLC5940NT en serie SOUT del primer circuito se conecta a SIN del segundo y así sucesivamente. La terminal VPRG trabaja en conjunto con la terminal DCPRG para programar la memoria EEPROM interna, en este caso no la usamos y VPRG se conecta a GND. XERR es una bandera de error que indica si algún led se encuentra abierto o si se ha sobrecalentado el circuito integrado, como no la utilizamos se deja al aire y finalmente XLAT es la señal de activación (trigger) para los datos en el registro de entrada, cuando XLAT está en alto y VPRG está en bajo los datos pasan al registro GS (gray scale) el cual es el registro del PWM que utilizamos. Si XLAT y VPRG están ambos en alto los datos pasan al registro DC (función dot correction), si XLAT está en bajo los registros GS y DC mantienen.

Otro punto importante a considerar es el cálculo de la potencia disipada  $P_D$  del TLC5940NT, dicho valor se obtiene mediante la siguiente ecuación [9]:

$$P_D = (V_{CC} \times I_{CC}) + (V_{OUT} \times I_{MAX} \times \frac{DC_n}{63} \times d_{PWM} \times N)$$

Dónde:

- $V_{CC} = 5\text{V}$ , alimentación del circuito integrado.
- $I_{CC}$  es la corriente que toma de la fuente el dispositivo, la cual para una velocidad de transmisión de 30 Mhz y con una  $R_{REF} = 2\text{kohm}$  es aprox. 25 mA [9].
- $V_{OUT}$  es el voltaje de las terminales de los canales (OUT0 – Out15) cuando están conduciendo. En este caso la fuente del panel de leds es 12V menos la caída de potencial en los tres leds  $3 \times 3.2 = 9.6$  nos da un  $V_{OUT} = 12\text{V} - 9.6\text{V} = 2.4\text{V}$ .
- $I_{MAX}$  es la corriente de los canales ajustada con  $R_{REF}$  y es igual a 20 mA.
- $DC_n$  es el valor máximo de dot correction para  $OUT_n$ , como no se utiliza esta función el valor es de 63 [10].
- $N$  es el número de canales activados al mismo tiempo, en este caso todos o sea 16.
- $d_{PWM}$  es el valor del ciclo de trabajo entre 4095, para un ciclo de trabajo del 100% tenemos  $4095/4095 = 1$ .

Sustituyendo los valores anteriores nos queda:

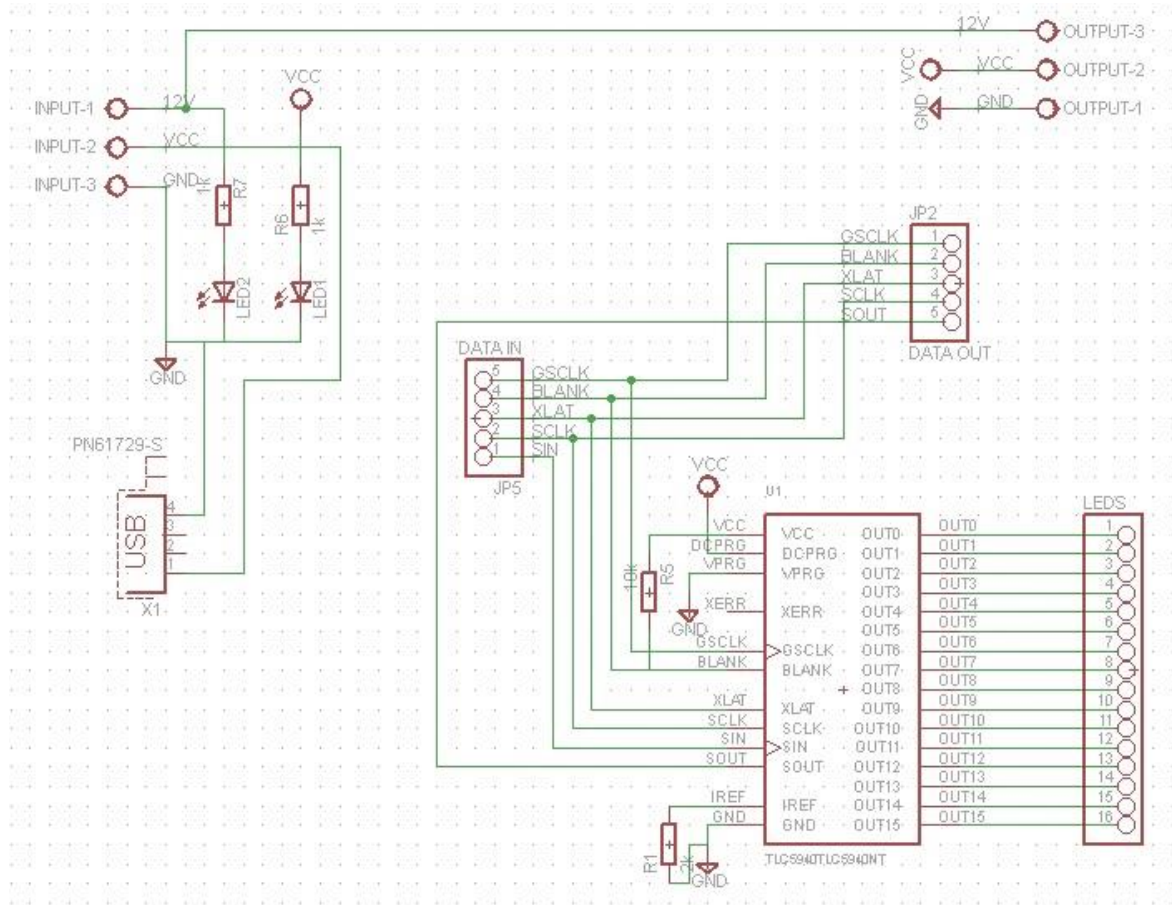
$$P_D = (5\text{V} \times 25\text{mA}) + (2.4\text{V} \times 20\text{mA} \times (63 / 63 = 1) \times 1 \times 16)$$

$$P_D = 893 \text{ mW}$$

Para el encapsulado DIP del TLC5940 la potencia disipada máxima a 25 C es de 2456 mW [9], por lo cual según el cálculo anterior el dispositivo opera de manera segura por un amplio margen.

El diagrama esquemático del circuito driver se observa en la figura 13, se pueden observar los puertos DATA IN donde se conecta el microcontrolador, DATA OUT donde se conecta el siguiente

driver y LEDS que se conecta al panel de leds. Así mismo cuenta con dos terminales tipo borneras de tres pines para las fuentes de 12V, 5V y GND. INPUT es para la alimentación del circuito, OUTPUT es para la alimentación del panel de leds y el conector USB es para la alimentación del microcontrolador.



**Figura 13: Diagrama esquemático del circuito driver.**

$R1 = 2\text{kohm}$  es la resistencia de referencia  $R_{IREF}$  que establece la corriente máxima de los canales (OUT0 –OUT15) en 20 mA.

$R5 = 10\text{kohm}$  se utiliza para apagar los canales cuando se da un reset en el microcontrolador.

En la figura 14 se observa el PCB del circuito driver, las dimensiones de la placa son 6 x 5.3 cm.

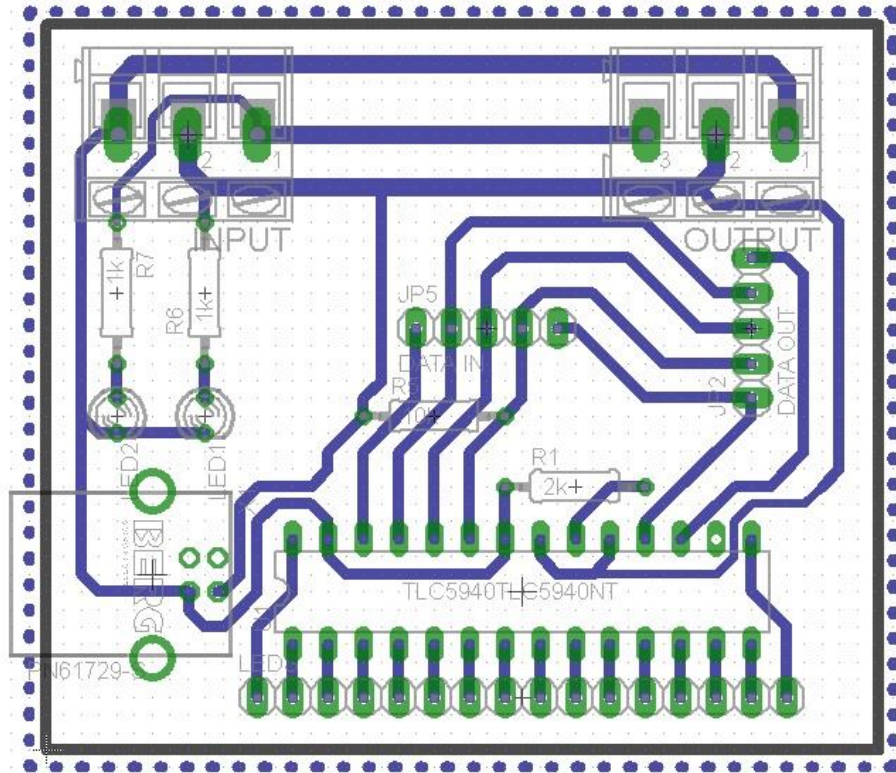


Figura 14: PCB del circuito driver.

### 5.3 MICROCONTROLADOR

Se trabaja con el micro ATMEGA328P-PU, específicamente con la plataforma ARDUINO UNO, la razón por la que se trabaja con esta plataforma es que cuenta con una librería [11] para controlar el driver TLC5940.

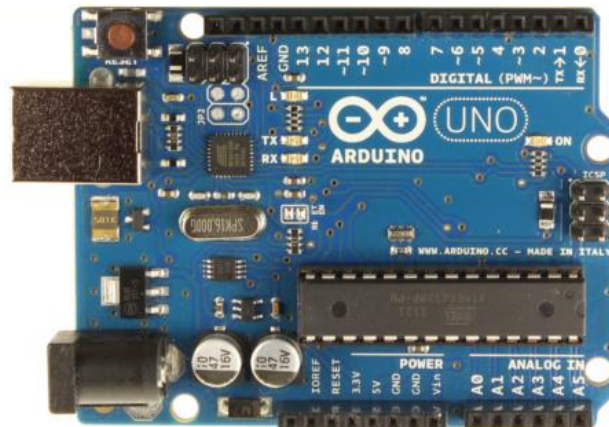
La librería se llama "Tlc5940.h", entre sus principales comandos están:

- Tlc.init(0); inicializa los canales del TLC5940 en este caso en cero (off).
- Tlc.clear(); apaga todos los canales del TLC5940.
- Tlc.set(a, b); establece el canal a (0 – 15) en la intensidad b (0 – 4095).
- Tlc.update(); envía los datos al TLC5940 se ejecuta después de Tlc.set() y Tlc.clear().

Para poder utilizar el Arduino con el driver TLC5940 se requieren las siguientes conexiones:

Pin 3 Arduino -----	Pin 18 TLC5940 (GCLK)
Pin 9 Arduino -----	Pin 24 TLC5940 (XLAT)
Pin 10 Arduino -----	Pin 23 TLC5940 (BLANK)
Pin 11 Arduino -----	Pin 26 TLC5940 (SIN)
Pin 13 Arduino -----	Pin 25 TLC5940 (SCLK)

En la figura 15 se observa la plataforma Arduino Uno y su configuración de pines.



**Fig.15. Arduino UNO.**

Para poder conectar en serie varios TLC5940 y controlarlos se debe abrir el archivo "tlc\_config.h", que se encuentra en el folder de la librería Tlc5940, con un editor de texto y modificar el parámetro "NUM\_TLCS x" donde x es el número de TLC5940 que se desean conectar en serie.

De esta forma cuando utilizemos el comando `tlc.set(16,4095)` por ejemplo, el canal 16 será el OUT<sub>0</sub> del segundo TLC5940 y así sucesivamente.

Para realizar las pruebas de la lámpara se escribió un código sencillo el cual mediante 4 push button controla la intensidad de los leds, a continuación se muestra dicho código:

```
#include "Tlc5940.h" //Libreria para el Driver TLC5940

//Constantes para asignar los pines que se usan para los pushbutton
const int pinOff = 7;
const int pinBajo = 6;
const int pinMedio = 5;
const int pinAlto = 4;
//Variables para leer el estado de los pushbutton
int off = 0;
int bajo = 0;
int medio = 0;
int alto = 0;
void setup() {
  Tlc.init(0); //Inicializa los pines del TLC5940 en off
  //Inicializa los pines de los pushbutton como entradas:
  pinMode(pinOff, INPUT);
  pinMode(pinBajo, INPUT);
  pinMode(pinMedio, INPUT);
}
```

```
pinMode(pinAlto, INPUT);
}
void loop(){
//Lee el estado de los pushbutton:
off = digitalRead(pinOff);
bajo = digitalRead(pinBajo);
medio = digitalRead(pinMedio);
alto = digitalRead(pinAlto);
//Revisa si se ha presionado un pushbutton (en LOW es presionado)
if (off == LOW) {
  Tlc.clear(); //Apaga todas las salidas del TLC5940
  Tlc.update();
  delay(500);
}
//Enciende todos los LEDs con intensidad baja
if (bajo == LOW) {
  for (int i=0; i<16; i++) {
    Tlc.set(i,1365);
  }
  Tlc.update();
  delay(500);
}
//Enciende todos los LEDs con intensidad media
if (medio == LOW) {
  for (int i=0; i<16; i++) {
    Tlc.set(i,2730);
  }
  Tlc.update();
  delay(500);
}
//Enciende todos los LEDs con intensidad alta
if (alto == LOW) {
  for (int i=0; i<16; i++) {
    Tlc.set(i,4095);
  }
  Tlc.update();
  delay(500);
}
}
```

El prototipo armado se muestra en la figura 16.

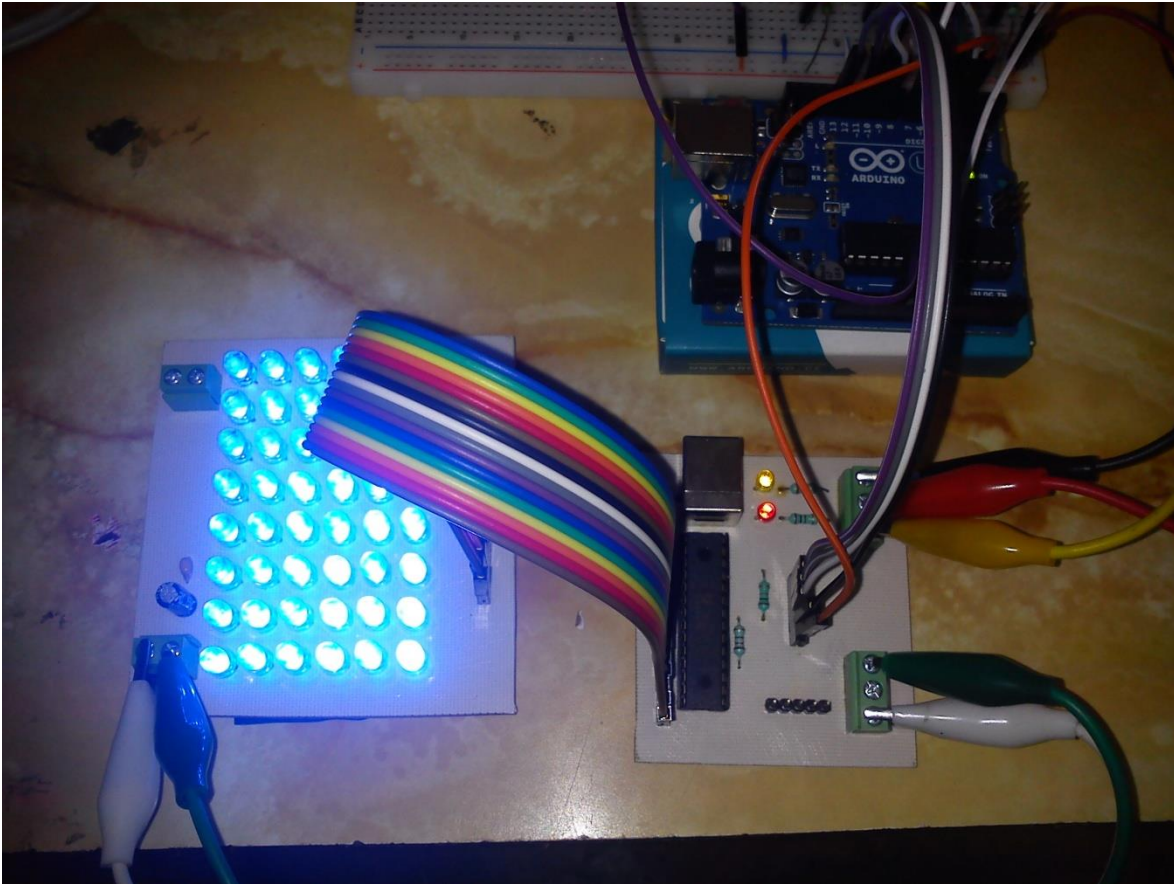


Figura 16: Prototipo de la Lámpara LED de Fototerapia.

## 6. CONCLUSIONES.

Se estudiaron los conceptos que intervienen en el diseño de fuentes de fototerapia para neonatos, tales como irradiación y longitud de onda.

Se analizaron modelos existentes de lámparas de fototerapia con lo cual se definieron los parámetros de diseño del prototipo.

Se investigaron componentes que cumplieran con las características deseadas para el prototipo.

Se diseñaron los circuitos PCB de cada uno de los módulos del prototipo de la lámpara.



## 7. REFERENCIAS.

- [1] Medline Plus, Enciclopedia Medica, Ictericia del recién nacido 2012.
- [2] Drager, Lámpara de Fototerapia, Phototherapy 4000, 2010
- [3] Natus, neoBlue LED phototherapy, 2012
- [4] Guía Tecnológica No. 3, Unidad de Fototerapia (GMDN 35239), 2012
- [5] Comparativa de Equipos de Fototerapia basados en LEDs, Sergio M. Blanco, XV Seminario de Ingeniería Biomédica 2006, Facultades de Ingeniería y Medicina Universidad de la República O. del Uruguay.
- [6] BiliLED fototerapia neonatal de bajo costo, Daniel Geido, Horacio Failache y Franco Simini, 2007, Facultad de Ingeniería y Medicina – Universidad de la Republica, Montevideo, Uruguay.
- [7] Oriel, 70260 Radiant power meter.
- [8] HB, 510LB7C super bright blue 5 mm led.
- [9] Texas Instruments, TLC5940 16 channel led driver with dot correction and grayscale pwm control, 2007.
- [10] <https://code.google.com/p/tlc5940arduino/wiki/PowerDissipation>, Tlc5940 Arduino power dissipation.
- [11] <http://playground.arduino.cc/Learning/TLC5940#.Uz2NjPI5Ne->, Arduino TLC5940 library, Alex Leone, 2008.

### 3.5 AUTOMATIZACIÓN DE UN MICROSCOPIO ÓPTICO PARA LA DIGITALIZACIÓN DE IMÁGENES.

Pablo Rodrigo Peba Ceballos, Liliana Beatriz Pérez Herrera, Dr. Francisco José Heredia  
López.

Centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi

rodrigo.peba.c@gmail.com, lilianaperez66@hotmail.com, hlopez@uady.mx

#### RESUMEN.

La enfermedad de Chagas, también llamada *trypanosomiasis americana*, es una enfermedad potencialmente mortal causada por el parásito protozoo *Trypanosomacruzi*. El diagnóstico de la enfermedad se puede hacer a través de la detección del parásito en un frotis sanguíneo bajo el microscopio. La detección de la enfermedad es posible durante la fase aguda, que dura aproximadamente dos meses después de contraerse la infección, es por eso que la detección rápida es de suma importancia para su tratamiento.

Este proyecto consiste en la automatización de un microscopio óptico con el fin de digitalizar imágenes de muestras de frotis sanguíneos. El proceso de la captura se desarrolla en el entorno de software LabVIEW para controlar los motores implementados en el microscopio desde una computadora, así mismo, procesa las imágenes obtenidas con la cámara montada en el microscopio para realizar el autoenfoco. El software también analizará las imágenes enfocadas, en busca de parásitos, para ofrecer al usuario un pre diagnóstico automatizado, una vez obtenido el pre diagnóstico, la imagen guardada pasa a ser evaluada por el experto parasitólogo. Este proceso de manera manual, representa un tiempo significativamente mayor para el experto.

#### ABSTRACT.

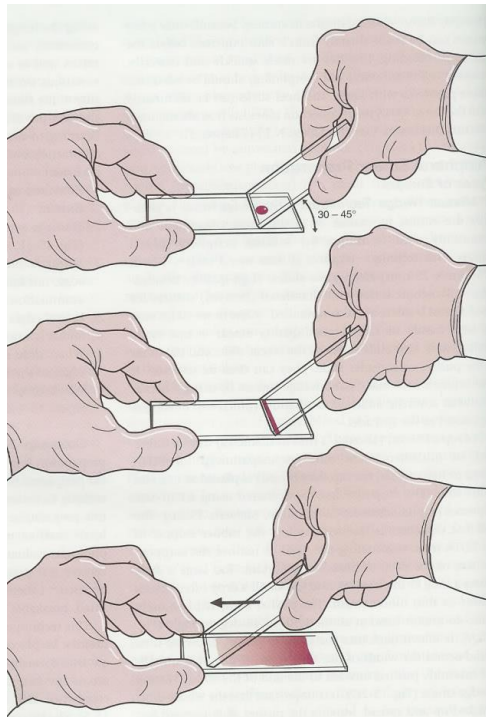
The Chagas disease, also called American trypanosomiasis, is a potentially fatal disease caused by the protozoan parasite *Trypanosomacruzi*. Diagnosis of the disease can be made through the detection of the parasite in a blood smear under the microscope. The detection of the disease is possible during the acute phase, which lasts about two months after contracting the infection, which is why early detection is critical for treatment.

This project involves the automation of an optical microscope to scan images from samples of blood smears. The capture process is developed in the LabVIEW software environment for controlling from a computer, the motors implemented in the microscope, also, processes the images obtained with the camera mounted on the microscope for autofocus. The software will also analyze focused images, looking for parasites, to provide the user a pre automated diagnosis, after obtaining the pre diagnosis, the saved image happens to be evaluated by the expert parasitologist. This process manually, represents a significantly longer time to the expert.

#### 1. INTRODUCCIÓN.

El frotis sanguíneo o frotis de sangre es un examen que típicamente brinda información acerca del número y forma de las células sanguíneas. Se necesita una muestra de sangre que es examinada bajo un microscopio por un profesional de la salud. Este examen se puede realizar como parte de una evaluación médica general para ayudar a diagnosticar muchas enfermedades como por ejemplo: Leucemia de células pilosas, Hemoglobinopatías, Monitoreo de los efectos secundarios de la quimioterapia. Junto con los trastornos y enfermedades antes mencionados, se ha

encontrado de gran utilidad el método de frotis sanguíneos en la detección de parásitos en la sangre, como por ejemplo el parásito Trypanosomacruzi causante de la enfermedad de Chagas o Mal de Chagas.



**Figura 111. Ejemplo del proceso de un barrido de frotis sanguíneo.**

A nivel mundial, la OMS calcula que unos 10 millones de personas están infectadas, principalmente en América Latina, donde la enfermedad de Chagas es endémica. Más de 25 millones de personas están a riesgo de adquirir la enfermedad. Se calcula que en 2008 esta enfermedad mató a más de 10,000 personas. Se estima que actualmente existen alrededor 56,000 nuevos casos anuales por todas las formas de transmisión, motivando 12,000 muertes anuales [1].

La enfermedad de Chagas se encuentra principalmente en América Latina, pero en las últimas décadas se ha observado con mayor frecuencia en los Estados Unidos de América, Canadá, muchos países europeos y algunos del Pacífico Occidental. Esto obedece sobre todo a la movilidad de la población entre América Latina y el resto del mundo [2].

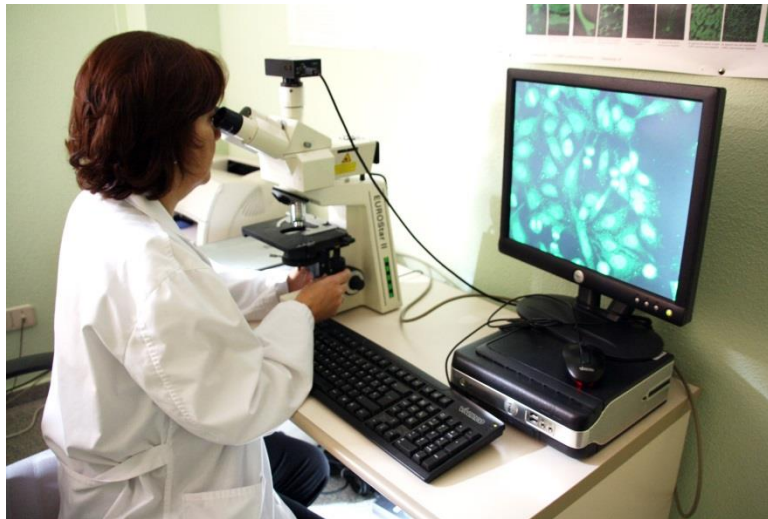
Inicialmente, la fase aguda dura unos dos meses después de contraerse la infección. Durante esta fase aguda circulan por el torrente sanguíneo una gran cantidad de parásitos. En la mayoría de los casos no hay síntomas o éstos son leves. Puede haber fiebre, dolor de cabeza, agrandamiento de ganglios linfáticos, palidez, dolores musculares, dificultad para respirar, hinchazón y dolor abdominal o torácico. En menos del 50% de las personas picadas por un triatomíneo, un signo inicial característico puede ser una lesión cutánea o una hinchazón amoratada de un párpado.

Durante la fase crónica, los parásitos permanecen ocultos principalmente en el músculo cardiaco y digestivo, esta fase tiene una etapa asintomática que puede durar varios años. Hasta un 30% de los pacientes sufren trastornos cardiacos y hasta un 10% presentan alteraciones digestivas (típicamente, agrandamiento del esófago o del colon), neurológicas o mixtas. Con el paso de los

años, la infección puede causar muerte súbita o insuficiencia cardiaca por la destrucción progresiva del músculo cardiaco [1].

El presente trabajo se enfocara en la automatización de un microscopio óptico para almacenar imágenes digitalizadas de muestras de frotis sanguíneos de pacientes posiblemente infectados con el parásito, esto con el objetivo de facilitar el análisis de dichas muestras.

Trabajos previos han desarrollado microscopios que proyectan la imagen del objetivo en una pantalla, también existen microscopios que se mueven de forma automática que permiten almacenar imágenes, estos sin embargo no realizan rutinas de barrido de muestras para su digitalización y almacenamiento, la detección del parásito sigue siendo realizada por el usuario.



**Figura 12. Ejemplo de microscopio con cámara integrada y controles manuales.**

## **2. ANTECEDENTES.**

Para poder diseñar un sistema que sea capaz de realizar el muestreo de un Frotis sanguíneo, es necesario entender los conceptos básicos de autoenfoco, programación y almacenamiento de datos con LabVIEW y automatización, así como otros aspectos relacionados.

### **2.1 Microscopio óptico**

El desarrollo de la microscopía óptica o de luz fue evolucionando de manera importante desde su aparición a principios del siglo XVII, y manteniéndose como pilar fundamental del conocimiento de aquello invisible a la vista del ser humano; su límite de resolución es de aproximadamente un micrómetro  $10^{-6}$  m, ya no fue posible mejorarlo debido al factor limitante de la longitud de onda de la luz (450-640 nm) [3].

Para lograr el aumento de tamaño de la imagen del objeto observado es necesario iluminarlo, hacerlo pasar por diversas lentes hasta que llegue a un detector, como los ojos. Sin embargo, para observar objetos más pequeños de los que puede iluminar la luz visible es necesario un tipo de "luz" de menor longitud de onda que pueda iluminar objetos aún más pequeños y llegar a los detectores adecuados [4].



*Figura 3. Microscopio óptico utilizado en el sistema desarrollado.*

## 2.2 LabView: ¿Qué es y por qué usarlo?

LabView es el acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench, es una plataforma de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico. Los programas desarrollados con Labview se llaman instrumentos virtuales o Vis, y su origen proviene del control de instrumentos, aun que hoy se ha expandido no solo a control, sino también a programación embebida, comunicaciones, matemáticas, etc. [5]

Se eligió LabView por el lenguaje de programación visual gráfico, pues lo pueden usar tanto programadores profesionales como para personas con pocos conocimientos de programación que requieran hacer programas relativamente complejos, más tardados de hacer con lenguajes tradicionales. Otra característica es la rapidez para hacer programas, pueden crearse miles de VIs (equivalentes a millones de páginas de código texto), programa de automatizaciones de miles de puntos de entradas y salidas, proyectos para combinar nuevos VIs con VIs ya creados, tiene una gran cantidad de interfaces de comunicación, tiene la capacidad de interactuar con otros lenguajes y aplicaciones. Una característica particularmente útil para el proyecto es la adquisición y tratamiento de imágenes.

## **2.4 Procesamiento digital de imágenes.**

El interés de los métodos de procesamiento de imágenes digitales se fundamenta en dos áreas principales de aplicación: a) mejora de la calidad para la interpretación humana; b) procesamiento de los datos de la escena para la percepción de las máquinas de forma autónoma [6].

En la mayoría de los sistemas la capacidad sensorial de la visión es complementada con otros mecanismos sensoriales tales como detectores de alcance o proximidad. Posteriormente es necesario realizar una integración multisensorial para completar el proceso de percepción global [7].

Los sistemas automatizados de seguimiento de video han evolucionado en sofisticación, pero son costosos, requieren recursos de espacio y cómputo, y están mal adaptados para infrecuentes estudios exploratorios no sujetos a la visión computacional. Es por ello que la puntuación manual sigue siendo importante en muchos laboratorios.

En definitiva, la imagen que ha de ser tratada por el computador se representa digitalizada espacialmente en forma de matriz con una resolución de  $M \times N$  elementos. Cada elemento es denominado pixel y tendrá un valor asignado, que corresponde a la luminosidad del punto correspondiente; dependiendo del número de pixeles es la resolución de la imagen. En ciertas ocasiones la imagen aparece marcada con un alto contenido de ruido que será necesario eliminar para que el tratamiento posterior de la misma sea más efectivo; de la misma forma en algunos casos será de suma importancia considerar estructuras determinadas o subyacentes, para su posterior extracción, como por ejemplo los bordes de la imagen de un parásito. Para lograr esto es necesario considerar los filtros [7].

## **3. HIPÓTESIS.**

Un microscopio óptico automatizado ayudaría en la rápida detección de la enfermedad de chagas, al acelerar el proceso de búsqueda del parásito *Trypanosomacruzi* con la digitalización de grandes cantidades de imágenes en poco tiempo, ayudando al experto parasitólogo para su oportuno tratamiento.

## **4. OBJETIVOS.**

Controlar un microscopio óptico a través de una computadora que permita digitalizar imágenes enfocadas de muestras de frotis sanguíneo, a través del diseño de una interfaz en Labview que sea fácil para el usuario y evite errores humanos, en ella se diseñarán los algoritmos que generen las rutinas para el control de los motores y el algoritmo de autoenfoco que optimice la resolución de la cámara, por último implementar el sistema que analice las muestras de frotis sanguíneo de forma automática.

## **5. METODOLOGÍA.**

### **5.1 Estudio del estado del arte**

Para comenzar a desarrollar la investigación se realizará la búsqueda de información acerca de automatización de microscopios, métodos de autoenfoco, digitalización de imágenes de microscopía.

## 5.2 Ajuste de posición inicial de la platina.

Debido a que los motores adaptados al microscopio carecen de alguna forma de indicar su posición al programa se le adaptaron a cada uno un botón que indica el final de carrera de cada uno de los motores, el programa comienza entonces por pedirle al usuario verificar que la platina esté libre de muestras para comenzar a mover los motores a sus finales de carrera para así llevar un conteo de los pasos en cada motor para establecer así su ubicación. Una vez realizado este proceso que a partir de ahora llamaremos “ir a home”, el programa mueve la platina a una posición en la que se puede insertar una muestra en la platina sin problemas para el usuario, la interfaz pide entonces al usuario insertar la muestra y una vez confirmada esa acción por el usuario la platina sube a una posición en donde se puede comenzar el análisis de la zona que el usuario indique, ya sea utilizando un objetivo de 10x o de 40x.



**Figura 4. Microscopio óptico con la cámara y los motores que se utilizaron en el sistema.**

## 5.3 Tipos de análisis de la muestra.

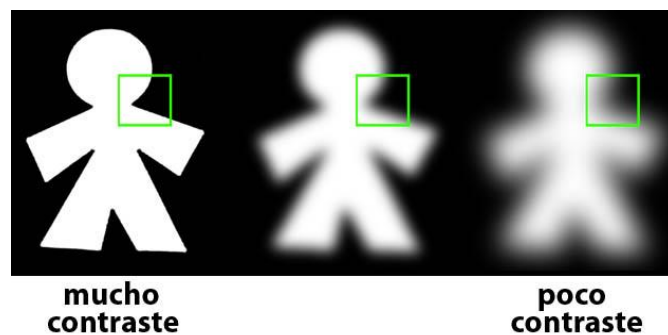
Una vez la muestra en posición, se e ofrecen al usuario diversas opciones, estas son analizar una nueva muestra y analizar muestra manualmente.

En el modo de análisis de una nueva muestra se le ofrece al usuario la opción de realizar un muestreo secuencial o muestreo aleatorio, para ambos casos se debe seleccionar el área a analizar, esta se indica en centímetros, número de fotos en el eje X e Y (la definición de área por número de fotos sólo está disponible en el modo secuencial) y visualmente en una imagen (dibujando un cuadrado delimitador), el usuario es libre de definir cualquiera de estos parámetros, el muestreo secuencial indica cuántas fotos se tomarán y el muestreo aleatorio pide el número de fotos que se desean tomar en el área determinada.

En el modo de análisis de muestra existente se pueden revisar las coordenadas de una muestra que exista en base a fotos que se hayan tomado previamente o simplemente observar una nueva muestra pero moviendo la platina con una "TrackBall" que proporciona el control manual del movimiento de la platina.

#### 5.4 Enfoque de campos.

Durante las rutinas de análisis, tanto de muestreo secuencial como aleatorio, se ejecuta una rutina de enfoque automático en cada campo, se utiliza un proceso de enfoque pasivo por medición de contraste, esto es, se detectan los bordes en la imagen en una posición específica, se toma el contraste de la misma y se mueve la muestra a una nueva posición en el eje Z para realizar el proceso nuevamente pero ahora comparando con el resultado anterior.



*Figura 513. Ejemplo del criterio de enfoque por contraste.*

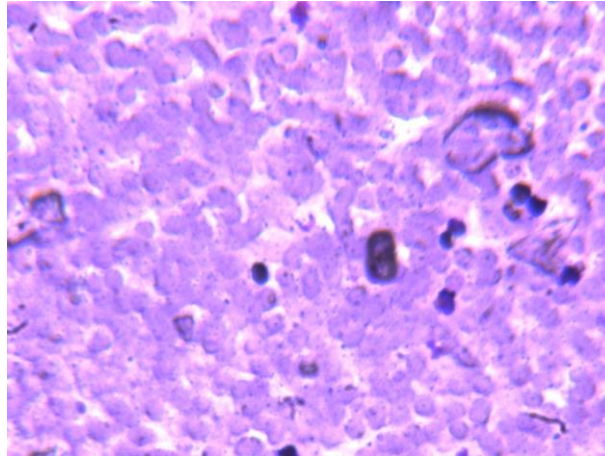
#### 5.5 Guardado de Imágenes.

Cada campo enfocado es almacenado como imagen en formato PNG (Portable Network Graphics) en una carpeta de nombre igual a la muestra que se analiza seguido del objetivo que se utilizó, cada imagen se almacena con el nombre de la muestra seguida del número de imagen y las coordenadas (en pasos) del lugar en donde se capturó la imagen.

#### 6. AVANCES.

Cada etapa de la metodología ha sido probada, el microscopio actualmente es capaz de enfocar y almacenar imágenes con una mínima interacción del usuario. Cabe mencionar que el proceso de autoenfoco logra enfocar imágenes con distintas propiedades como la iluminación.





**Figura 6. Ejemplo de un campo enfocado de forma automática.**

#### **BIBLIOGRAFÍA.**

[1]. Organización Mundial de la Salud (2013). Neglected tropical diseases: Chagas disease (American trypanosomiasis). Investigación.  
Recuperado el 12 de septiembre de 2013.  
Publicado en: [http://www.who.int/neglected\\_diseases/diseases/chagas/en/index.html](http://www.who.int/neglected_diseases/diseases/chagas/en/index.html)

[2]. Organización Panamericana de la Salud (2011). Enfermedad de Chagas (Trypanosomiasis Americana). Investigación.  
Recuperado el 12 de septiembre de 2013.  
Publicado en:  
[http://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=3591&Itemid=3921&lang=es](http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=3591&Itemid=3921&lang=es)

[3]. J.A. Arenas Alatorre. *Contribuciones de la física en la historia de la microscopía*. Revista Digital Universitaria [en línea]. 10 de julio 2005, Vol. 6, No. 7.  
Recuperado el 30 de Marzo de 2014.  
Publicado en: <http://www.revista.unam.mx/vol.6/num7/art70/int70.htm>

[4]. J.A. Cobos Murcia. *La historia del microscopio (segunda parte)*. Revista de divulgación científica y tecnológica de la universidad veracruzana. Mayo-Agosto 2012, Vol. 25, No. 2. Recuperado el 30 de Marzo de 2014.  
Publicado en: <http://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol25num2/articulos/microscopio/>

[5]. National Instruments (2014). Software de desarrollo de Sistemas NI LabVIEW.  
Recuperado el 28 de Marzo de 2014.  
Publicado en: [http://www.ni.com/labview/esa/?icid=HP\\_FG\\_es-MX\\_09240906\\_0617\\_png](http://www.ni.com/labview/esa/?icid=HP_FG_es-MX_09240906_0617_png)

[6]. J.F. Vélez Serrano, A.B. Moreno Díaz, A. Sánchez Calle y J.L.E. Sánchez-Marín, *Visión por Computador*. (Alfaomega, Madrid, España), (2003).

[7]. G. Pajares Martinsanz, J.M. de la Cruz García, *Visión por Computador: Imágenes Digitales y Aplicaciones*, (Alfaomenga, Madrid, España), (2008).

### 3.6 AVANCES EN EL DISEÑO DE LA ESTACIÓN BASE DE UN SISTEMA TELEMÉTRICO MULTICANAL PARA LA MEDICIÓN DE LA ACTIVIDAD CEREBRAL EN RATAS.

Ing. Diego Efraín Salazar Loría, Ing. Tomás de Jesús Santiago Nuñez, Dr. Francisco José Heredia López

Facultad de Matemáticas, Centro de Investigaciones Regionales “Dr. Hideyo Noguchi”  
Universidad Autónoma de Yucatán

diego.salazar.ic@gmail.com, tomas.santiago.rm@gmail.com, hlopez@uady.mx

#### RESUMEN.

En este documento se presentan avances en la estación base de un sistema telemétrico para la adquisición de la actividad neuronal extracelular en ratas. Se construyó una nueva tarjeta de la estación base que tuviera disponibles todos los componentes de hardware del microcontrolador con la finalidad de poder utilizarlos para el desarrollo de nuevos algoritmos de comunicación. Se desarrolló una nueva interfaz USB 2.0 donde se implementó una nueva técnica para la transferencia de información. Se construyó una tarjeta prototipo que emula el funcionamiento del módulo de adquisición y que tiene la capacidad de generar señales de prueba para realizar una evaluación de la estación base. Se implementó un enlace de radiofrecuencia bidireccional entre ambos módulos del sistema y fue evaluado para determinar si se presentaba pérdida de información. Finalmente, se presenta la descripción del software de la computadora, desarrollado en LabVIEW, que también fue empleado como parte del proceso de evaluación.

#### ABSTRACT.

This document contains the progress on the development of the base station of a telemetric system that allows to record extracellular neural activity on rats. A new electronic card was built for the base station; this card has connectors to all the peripherals available to use in the development process of new communication algorithms. A new USB 2.0 interface was developed that includes a new technique to the information transference. Also, was necessary build a prototype to emulate the functions of the acquisition module; this prototype was able to generate test signals to evaluate the base station. A bidirectional radio link was implemented between both modules and was evaluated to determine if information loss is presented. Finally, the software developed for the PC, on LabVIEW, is described; this software was used in the test process.

#### 1. INTRODUCCIÓN.

La neurona es la célula principal que compone el sistema nervioso. Son células especializadas en realizar una señalización eléctrica que puede viajar grandes distancias en el interior de los seres vivos [1]. En la figura 1 se puede observar la estructura básica de una neurona.

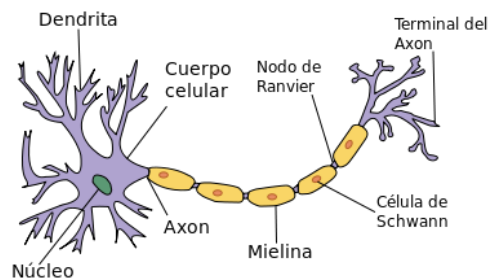
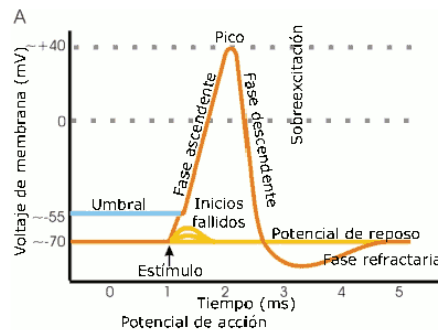


Figura 1: Estructura de una neurona

Las neuronas se componen de un soma o cuerpo celular en donde se llevan a cabo las funciones para mantener activa a la célula. Las arborizaciones que se observan en el soma de la neurona son llamadas dendritas, y es en estas arborizaciones en donde se recibe la entrada de las señales eléctricas provenientes de otras neuronas. A estos contactos eléctricos (entre el axón de una neurona y la dendrita o el cuerpo celular de otra) que permiten la comunicación entre dos neuronas se les llama sinapsis. El axón es la parte más larga de la neurona (puede superar el metro de longitud en algunas partes del cuerpo), y su función principal es la de transportar las señales eléctricas (potenciales de acción) que son generadas en el soma hasta las terminales sinápticas que se encuentran al final del axón. Las terminales sinápticas se encuentran conectadas a las dendritas de otras neuronas, por lo que cuando el impulso eléctrico llega a este punto se propaga hacia la siguiente neurona (de forma química o eléctrica) permitiendo de este modo que se realice una comunicación entre ellas. El proceso se repite en la siguiente neurona, y de esta forma se puede realizar una comunicación a lo largo de todo el sistema nervioso. A la señal eléctrica generada en el soma de la neurona y que es enviada hasta las terminales sinápticas para realizar la comunicación entre dos neuronas (sinapsis) se le conoce como potencial de acción [1].



**Figura 2: Diagrama de un potencial de acción.**

El potencial de acción es un evento eléctrico con una duración aproximada de entre 2 y 5 ms (en el sistema nervioso central) y con una amplitud de solamente algunos milivolts [1]. Los potenciales de acción en las neuronas pueden ser monitoreados mediante la inserción de microelectrodos en la parte extracelular o intracelular de la neurona. El registro de la actividad neuronal es importante en el proceso de creación y desarrollo de nuevos fármacos, los cuales posteriormente son empleados para el tratamiento de diversas patologías como enfermedades neurodegenerativas o trastornos en el sistema nervioso. Para realizar el registro de la actividad neuronal es importante considerar los valores de amplitud y frecuencia de los potenciales de acción para poder digitalizar y procesar dichas señales adecuadamente. La amplitud de las señales en el interior de la célula se encuentra en el rango de los milivolts teniendo un voltaje pico a pico de aproximadamente 100 mV pero que si se mide en el exterior de la célula se puede ver reducido hasta el orden de las decenas de microvolts [1] [2]. Mientras que las frecuencias para el monitoreo de actividad neuronal se encuentran en el rango de los 0.5 Hz a los 200 Hz [3].

El registro de la actividad cerebral cuando se le suministra un fármaco al sujeto de prueba, permite al investigador poder contrastar la información obtenida con las predicciones realizadas sobre el fármaco en experimentación. De esta manera, el experimentador puede determinar si los efectos provocados por el medicamento son los esperados y tener una mayor certeza de que no provocará efectos adversos que pudieran afectar la salud de las personas que lo utilicen. Es importante utilizar un modelo de pruebas que sea adecuado para el tipo de tratamiento al que va a ser destinado el nuevo fármaco. Un ejemplo es el caso de la enfermedad de Parkinson, cuyos fármacos son generalmente probados en ratas. El uso de ratas está justificado debido a que su

fisiología, en algunos núcleos profundos del cerebro, es similar a la de los humanos. Si bien no hay un modelo perfecto para realizar las pruebas, se sabe que para el caso de ejemplo de la enfermedad de Parkinson los mejores modelos son los ratones, las ratas y los monos [4].

Existen diversas técnicas para el registro neuronal en animales en libre movimiento. Una de ellas es el registro realizado a distancia, ya sea de forma inalámbrica o por medio de un sistema cableado. A esta técnica se le conoce como telemetría [3]. La telemetría inalámbrica en mediciones fisiológicas, permite colocar el sistema electrónico en el animal sin tener que utilizar cables para conectarlo a una computadora o módulo de adquisición de datos, reduciendo el estrés que pudieran ocasionar las conexiones cableadas y permitiendo que el comportamiento del animal sea lo más natural posible [5]. Los sistemas telemétricos típicamente se componen de dos módulos principales: el módulo de adquisición y la estación central o base. El módulo de adquisición es la parte donde se registra la información relevante al tipo de medición que se está realizando. Posteriormente, los datos recabados por el módulo de adquisición son enviados a la estación central o base en donde se procesan, se presentan al usuario, se almacenan y/o son enviados a una computadora para su posterior análisis.

Para realizar el registro de las mediciones de origen fisiológico se utilizan principalmente dos métodos: los no invasivos y los invasivos. En los métodos no invasivos se utilizan elementos de forma externa sin tener que realizar implantes en el sujeto de pruebas. Con este tipo de métodos se genera un estrés adicional en el animal debido a la presencia del cableado, sensores o cualquier dispositivo electrónico colocado [5]. Además, al ser elementos externos, podrían sufrir daños debido a que el animal se encuentra en libre movimiento y podría golpearlos, moverlos o desconectarlos. También se pueden utilizar métodos invasivos como la implantación de sensores bajo la piel. El uso de métodos invasivos permite el monitoreo de las señales deseadas por períodos prolongados de tiempo, de varias semanas o incluso meses. Además, las señales obtenidas son superiores a las que se puedan obtener por métodos no invasivos, ya que el sensor se encuentra más cerca de la fuente de la señal; con lo cual se obtiene una señal con una amplitud mayor, menor ruido y que puede ser procesada con mayor facilidad utilizando dispositivos de menor complejidad. Sin embargo, se tiene que esperar un tiempo de recuperación del animal después de la implantación de los componentes necesarios para los registros. En las ratas los tiempos de recuperación son de siete días aproximadamente [6] [7].

## 2. ANTECEDENTES

En trabajos previos se han registrado distintos sistemas encargados de medir la actividad eléctrica en el cerebro. Thorbergsson *et al.* [8], realizaron un sistema telemétrico para el registro de señales de neurofisiología capaz de monitorear solamente una entrada en cada momento. La transmisión de la información la pueden realizar de dos formas: enviando los registros de forma constante para un monitoreo en tiempo real o almacenando períodos de muestras en la memoria interna para luego enviarlos por partes. Mencionan que almacenando los registros en la memoria interna se consigue una mejor velocidad de muestreo (25 ksp/s) debido a que se tiene que hacer menos procesamiento, mientras que para un monitoreo en tiempo real la velocidad de muestreo lograda es de 3.7 ksp/s. Una estación base externa es utilizada para interactuar con el sistema de medición que desarrollaron.

Roham *et al.* [9] reportaron el diseño, implementación, caracterización de rendimiento y las pruebas *in vivo* de un circuito integrado, con comunicación inalámbrica, configurable para monitorear la actividad neuronal. El chip fue conectado a microelectrodos de fibra de carbón en ratas y demostraron satisfactoriamente el registro de la actividad eléctrica en el cerebro utilizando 16 canales. Esto demuestra la factibilidad del registro neuronal y transmisión de la información de forma inalámbrica.

Song *et al.* [10], mostraron un prototipo de un microsistema neuronal que se implanta en el cerebro. El microsistema utiliza señales infrarrojas para la transmisión de los datos de las señales de la actividad cerebral, y un esquema de entrega de corriente inductiva para energizar la electrónica del microsistema implantado. Realizaron sus pruebas registrando la actividad neuronal (utilizando 16 canales) de la corteza somatosensorial de una rata y la corteza motora de un mono.

Zhang *et al.* [11], diseñaron, construyeron y probaron en una rata, un sistema portable de electroencefalografía. El sistema fue diseñado con dispositivos de montaje superficial (SMD) y tuvo un tamaño de 20 x 25 x 3 mm y un peso total de 4 g. Para las pruebas, colocaron en el cráneo de una rata un conjunto de electrodos y un transmisor que fue atado a la espalda del animal. La rata estaba en libre movimiento mientras se monitoreaba la actividad cerebral. Los resultados indican que el sistema puede registrar mediciones durante 8 horas y transmitir los datos a una distancia de 20 m. Zhang *et al.* presentaron otro trabajo [12] que consiste en un sistema de registro neuronal utilizando radio-telemetría. El sistema consiste en dos partes: la sección estacionaria y la sección móvil. La sección estacionaria está compuesta por una laptop, una unidad con un microcontrolador, un receptor y un transmisor. La sección móvil consiste en una etapa de la cabeza y una mochila en donde se coloca la tarjeta electrónica, el receptor y el transmisor. En el sistema que construyeron se puede estimular la actividad motora de la rata para que realice giros a la izquierda, a la derecha o avance hacia el frente. Esta estimulación es realizada mediante microelectrodos que fueron implantados las áreas del cerebro relacionadas con la actividad motora del animal.

En trabajos más recientes se han presentado sistemas para la medición de señales fisiológicas en múltiples sujetos de estudio al mismo tiempo. Tal es el caso del trabajo presentado por Teng *et al.* [13]; presentan un sistema inalámbrico con capacidad de registrar actividad fisiológica simultánea en múltiples ratas en libre movimiento. Registraron EEG y señales de aceleración obtenidas a través de acelerómetros. Para la evaluación, el sistema propuesto fue montado en tres ratas en libre movimiento para realizar un registro durante 24 horas. Entre sus resultados se presenta que el sistema tiene una buena integridad de la información enviada (>99.98%), por lo que corroboran que múltiples sistemas inalámbricos son buenos para el registro simultaneo de actividad fisiológica.

Partiendo de todo lo mencionado anteriormente, en el centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi se propuso el diseño y construcción de un sistema telemétrico para el registro de actividad extracelular en ratas. Este sistema se compone de tres partes principales: la sección de microelectrodos, el módulo de adquisición (transmisor) y la estación base (receptor). La sección de los microelectrodos estará fijada en el cráneo de una rata, y mediante este módulo se fijaran los electrodos en la zona del cerebro que desee ser monitoreada. El módulo de adquisición es el encargado de digitalizar las señales que están siendo registradas a través del conjunto de microelectrodos. Posteriormente las señales digitalizadas en el módulo de adquisición son enviadas, de forma inalámbrica, hacia la estación base que es la encargada de recibir estas señales y enviarlas hacia una computadora en donde se analizan. Además, la estación base también tiene la función de enviar comandos de configuración al módulo de adquisición. Este documento presenta los avances en el desarrollo de la estación base con respecto al diseño presentado el año pasado [14]. Es importante mencionar que el desarrollo de la sección de los microelectrodos y el módulo de adquisición no forman parte del presente trabajo; y serán desarrollados en un futuro.

### **3. COMPONENTES DEL SISTEMA**

#### **3.1. Estación base**

La estación base es el módulo del sistema encargado de recibir la información que está siendo digitalizada de la actividad neuronal de la rata y enviarla a través del protocolo USB (Universal

Serial Bus) hacia una computadora. Al igual que también tiene la función de enviar comandos de configuración al módulo de adquisición para poder modificar sus parámetros de adquisición como lo son la velocidad de muestreo, las ganancias de los canales, resolución, entre otros.

Entre los componentes utilizados en la estación base se incluyen un transceptor de radiofrecuencia para la transmisión de la información, cambiadores de nivel necesarios para poder establecer correctamente la comunicación entre el microcontrolador y el transceptor de radiofrecuencia, y un microcontrolador encargado de gestionar todos los protocolos de comunicación. A continuación se detallan a fondo los componentes antes mencionados.

### 3.1.1. Transceptor

El transceptor elegido para el enlace de comunicación inalámbrica es el RFM70 (Hoperf Electronic) [15]. Es un dispositivo de radio frecuencia (RF) con banda de operación ISM (Industrial, Scientific and Medical) de 2.4 GHz que puede enviar información a 1 Mbps y 2 Mbps; es de bajo consumo, requiriendo solo 11 mA en su modo de transmisión (Tx) y 17 mA en su modo de recepción (Rx). Un punto de suma importancia es que cuentan con una tecnología que permite un ensamble automático de los paquetes de datos, además de verificar su correcto envío y su retransmisión en caso que se perdiera el paquete enviado. Con esto se obtiene una importante mejora con respecto al prototipo anterior [14] en el que se necesitaba que el microcontrolador se encargara de armar el paquete de datos utilizando una importante cantidad de procesamiento.



**Figura 3: Transceptor RF, RFM70.**

En el prototipo que se presenta en este documento se configuró el RFM70 para trabajar con la tasa de transferencia de 2 Mbps y con una potencia de salida de 0 dBm, con lo cual el consumo de corriente es de 17 mA tanto en modo transmisor (Tx) como en modo receptor (Rx).

### 3.1.2. Tasa de transferencia

El prototipo que aquí se describe fue diseñado para su uso en un sistema telemétrico de seis canales, y muestras con una resolución de 16 bits a una velocidad de muestreo de 8,000 muestras por segundo (8 ksp/s); sin embargo, se desea poder obtener un sistema con capacidades superiores para poder ampliar la velocidad de muestreo y/o la resolución de la muestras para poder registrar una mayor cantidad de información de los potenciales de acción extracelulares.

Para una mejor comprensión de la cantidad de información que debe ser transmitida se describe a continuación la estructura de un paquete de datos del RFM70. Cada paquete de información se compone de la siguiente manera:

- **Preámbulo (1 byte):** El preámbulo es una secuencia de bits utilizados para estabilizar el receptor. La longitud del preámbulo es de 8 bits (1 byte) cuyos valores pueden ser 10101010 ó 01010101.

- **Dirección (de 3 a 5 bytes):** Se trata de la dirección del receptor. Puede ser configurado para tener una longitud de 3, 4 o 5 bytes.
- **Paquete de control (0 ó 9 bits):** Este paquete solamente es habilitado cuando se habilita la función de carga útil dinámica. Contiene bits de control necesarios para el funcionamiento de la carga útil dinámica.
- **Carga útil (de 0 a 32 bytes):** La carga útil es la información relevante que quiere transmitirse. Puede tener una longitud desde 0 hasta 32 bytes. Existen dos tipos de carga útil: la estática y la dinámica. La estática tiene una longitud fija que será respetada para todas las transmisiones. La dinámica permite modificar la cantidad de información enviada en cada una de las transmisiones.
- **CRC (1 ó 2 bytes):** El CRC (Cyclic Redundancy Check) es el mecanismo de detección de errores del paquete. Puede ser de 1 o 2 bytes, los cuales son calculados a partir de la dirección, el paquete de control, y la carga útil. Ningún paquete es aceptado por el receptor si el CRC es incorrecto.

Como se mencionó anteriormente, se requiere enviar en cada conversión 96 bits de información debido a que se trata de seis canales de 16 bits de resolución cada uno; además, se deben agregar los bits relacionados con el preámbulo, dirección, paquete de control y CRC. Es decir, cada paquete de información tiene una longitud de 169 bits. Ya que la velocidad de muestreo es de 8,000 muestras por segundo se deberán realizar 8,000 transmisiones, de 169 bits cada una, por segundo. Por lo que en total se requieren enviar 1,352,000 bits por segundo, es decir, 1.352 Mbps. Este valor corresponde a la velocidad de transferencia mínima que requiere el transceptor de radiofrecuencia para poder enviar la información registrada sin que se presente pérdida alguna. Ya que la velocidad de transferencia del RFM70 es de hasta 2 Mbps entonces se concluye que cumple con los requisitos mínimos para la transferencia de la información.

### 3.1.3. Microcontrolador

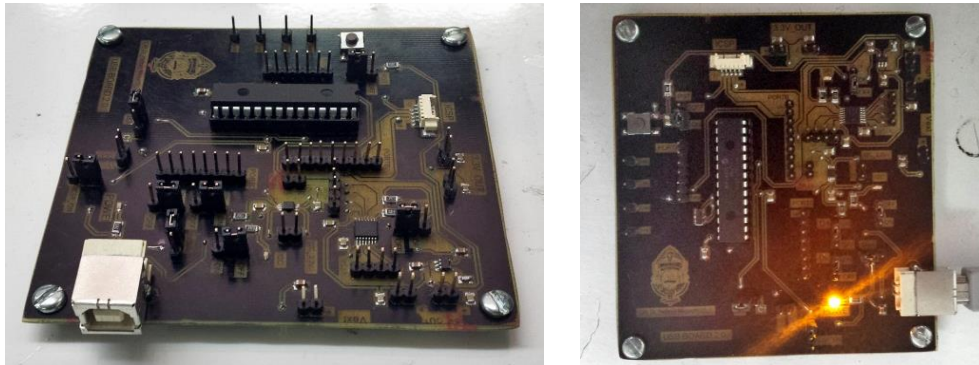
Se mantuvo el microcontrolador que se utilizó en la versión anterior, el PIC18F2550 (Microchip Technology Inc.) [16]. Este microcontrolador ha probado tener las características necesarias para el correcto desarrollo de las funciones requeridas por la estación base. Una de las características más importantes es la capacidad de establecer una interfaz de comunicación USB. El PIC18F2550 posee elementos en hardware que facilitan la configuración y el uso de dicha interfaz.

### 3.1.4. Tarjeta prototipo

Se construyó una tarjeta prototipo que tuviera disponible todas las capacidades del microcontrolador para poder implementar y probar los nuevos componentes y tecnologías que se desarrollaron para la estación base. Se habilitaron los protocolos de comunicación serial SPI (Serial Peripheral Interface) e I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit). El PIC18F2550 utiliza ambos protocolos con una lógica de 5V; sin embargo, el RFM70 utiliza el protocolo SPI con una lógica de 3.3V. Es por ello que se colocaron cambiadores de nivel TXB0104 [17] y TXB0102 [18] (ambos del fabricante Texas Instruments), los cuales son utilizados para la traslación de niveles lógicos de los protocolos SPI e I<sup>2</sup>C, respectivamente.

Esta tarjeta prototipo también incluye un regulador de voltaje de 3.3 V (TC1185 [19] del fabricante Microchip Technology Inc.) que se encarga de generar los 3.3 V necesarios para los cambiadores de nivel. La tarjeta posee una serie de pines directamente conectados a los puertos de entrada/salida del microcontrolador, con lo que cada pin puede ser conectado y utilizado para lo que el usuario necesite. Se colocaron pines de alimentación desde donde se pueden tomar 5V o

3.3V para poder alimentar componentes o tarjetas externos utilizando la fuente de alimentación de la tarjeta prototipo, siempre y cuando no supere el límite de corriente que puede proporcionar el protocolo USB (500mA) para el caso de 5V y el límite del regulador de 3.3V (150mA). En la figura 4 se puede observar la tarjeta prototipo.



**Figura 4: Tarjeta prototipo de la estación base.**

### 3.1.5. Interfaz USB

Se implementó una interfaz USB entre la estación base y la computadora para poder enviar la información recibida desde el módulo de adquisición hacia la computadora. La interfaz USB fue implementada en el microcontrolador PIC18F2550 utilizando solamente lenguaje ensamblador. La revisión USB utilizada para la interfaz es la 2.0 en su modo Full-Speed, utilizando el tipo de transferencia Bulk. Este tipo de transferencia tiene la capacidad de enviar una gran cantidad de información a través del bus USB alcanzando hasta 9.728 Mbps. Con ello se sabe que la velocidad de transferencia de información por medio de esta interfaz supera por mucho el requerimiento mínimo de tasa de transferencia de datos del sistema.

Se implementó una nueva técnica para el envío de la información en la interfaz USB, esto con el fin de mejorar la eficiencia en la transferencia de información entre la estación base y la computadora; está técnica recibe el nombre de buffers Ping-Pong. La técnica Ping-Pong utiliza dos buffers para la transferencia USB. El primer buffer es llamado buffer par, y el segundo es llamado buffer impar. En esta técnica la primera transferencia de información utiliza el buffer par para enviar los datos; la segunda transferencia utiliza el buffer impar. En la tercera transferencia se utiliza de nuevo el buffer par para enviar información. Es decir, en cada nueva transferencia se envía la información contenida en el buffer opuesto al de la última transferencia; conmutando entre ambos buffers. La principal ventaja que se obtiene con esto es que, por ejemplo, si se está enviando la información contenida en el buffer par se puede utilizar el buffer impar para procesar y preparar nueva información para enviarla en la siguiente transferencia sin tener que esperar a que se termine la transferencia actual para poder preparar un nuevo paquete de datos. Esto incrementa la capacidad de manejo de información por parte del microcontrolador, lo que a su vez incrementa la eficiencia en la transferencia de información entre la computadora y la estación base.

### 3.2. Prototipo del módulo de adquisición

El módulo de adquisición es el encargado de digitalizar y transmitir inalámbricamente las señales que están siendo registradas a través del conjunto de microelectrodos. Esta digitalización será realizada mediante un front-end dedicado especialmente para la adquisición de biopotenciales. Tentativamente se pretende utilizar el front-end ADS1298 (Texas Instruments) [20]. El ADS1298 es



un front-end de bajo consumo para la medición de biopotenciales; con 8 canales, cada uno con una resolución de 24 bits y una velocidad de muestreo de hasta 8,000 muestras por segundo. Otra de las características destacadas de este front-end es que tiene la posibilidad de modificar la ganancia de los amplificadores colocando alguno de los siguientes valores: 1, 2, 3, 4, 6, 8 ó 12.

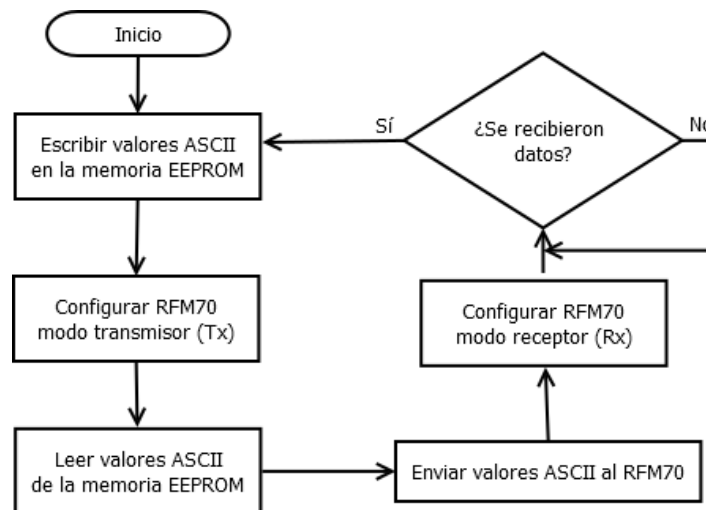
Para la evaluación del funcionamiento de la estación base, fue necesaria la realización de un prototipo del módulo de adquisición, que tuviera la capacidad de emular las señales obtenidas por el conjunto de microelectrodos.

#### 4. EVALUACIÓN.

##### 4.1. Generación de datos en el módulo de adquisición.

Uno de los principales requerimientos era el de establecer una comunicación mediante el protocolo I<sup>2</sup>C y SPI del microcontrolador. Esto fue necesario debido a que en el sistema final aún no se sabe si el front-end a utilizar tendrá comunicación I<sup>2</sup>C o SPI; el módulo de radiofrecuencia RFM70 utiliza una comunicación SPI. Si bien es verdad que tentativamente se utilizaría el ADS1298 como front-end en el módulo de adquisición, el cual tiene comunicación SPI, aún no se ha definido si finalmente ese dispositivo será el empleado. Es por ello que se realizaron las pruebas para que el microcontrolador pudiera establecer tanto una comunicación I<sup>2</sup>C como una SPI. Estos protocolos no se utilizarán al mismo tiempo, si no que serían alternados para establecer comunicación con los dispositivos que los requieran.

Para la validación del funcionamiento de ambos protocolos se conectó una memoria EEPROM con comunicación I<sup>2</sup>C y el módulo de radiofrecuencia RFM70 con SPI. Se implementaron las rutinas necesarias para establecer individualmente cada uno de los protocolos; se comprobó que en ambos casos la comunicación se estableciera de forma correcta. Posteriormente se tomaron ambas rutinas y se unieron en una sola que contiene ambos protocolos. Se implementó un firmware para la generación de datos emulados en el módulo de adquisición los cuales fueron enviados hacia la estación base para evaluar su funcionamiento. En la figura 5 se puede observar el diagrama del firmware desarrollado.

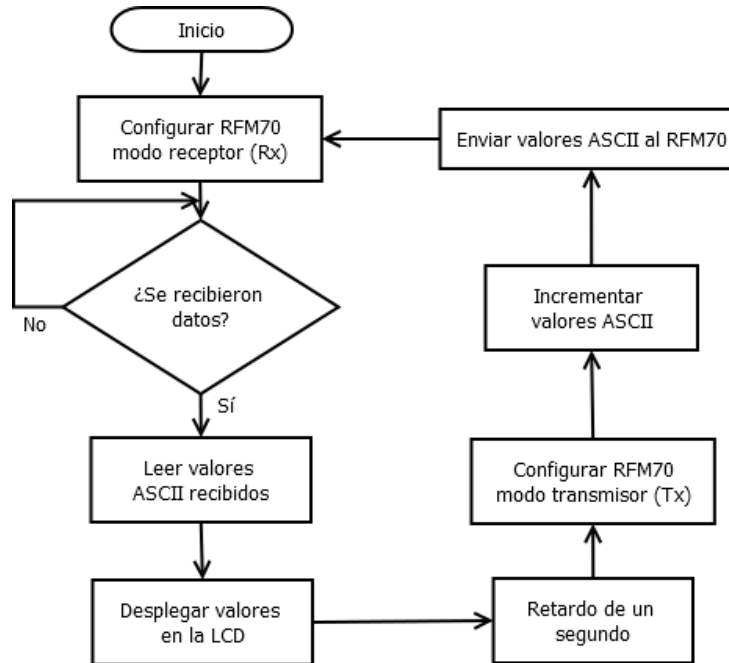


**Figura 5: Diagrama del firmware del módulo de adquisición.**

Al inicio se escriben en las primeras 20 posiciones de memoria de la EEPROM los valores ASCII de los caracteres 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K. Luego se configura el módulo RFM70 para que tenga la función de transmisor. Después, se leen esas mismas primeras 20

posiciones de memoria de la EEPROM y se envían al RFM70 para que las transmita de forma inalámbrica. Posteriormente, el microcontrolador configura al RFM70 en modo receptor y se queda en espera de que la estación base le devuelva una serie de 20 valores ASCII. Cuando se recibe esta información, el microcontrolador lee el RFM70 para recuperar esos valores y los escribe en las primeras 20 posiciones de memoria de la EEPROM, reemplazando los valores escritos anteriormente. Esta rutina se repite de nuevo para reenviar los nuevos valores que se recibieron. De esta manera se pudo corroborar el correcto funcionamiento de ambos protocolos (SPI e I<sup>2</sup>C).

#### 4.2. Interfaz de comunicación inalámbrica



**Figura 6: Diagrama del firmware de la estación base.**

Para la evaluación de la interfaz inalámbrica, además del RFM70 también se conectó una pantalla LCD de 16 segmentos y 2 filas en la estación base. El LCD fue utilizado para desplegar los caracteres que se estaban transmitiendo desde el módulo de adquisición, y evaluar que efectivamente fueran correctos y que no hubiera pérdida de información. En la figura 6 se puede observar todo el proceso que ejecuta el firmware de la estación base. Lo primero que realiza es configurar el módulo RFM70 como receptor y esperar a que se reciba un paquete de datos válido por parte del módulo de adquisición. Cuando el RFM70 recibe un paquete de información válida, el microcontrolador se encarga de leer esta información y desplegarla en la pantalla LCD; realizando un retardo de un segundo para que se pueda observar si los caracteres son correctos. El primer conjunto de caracteres desplegados es 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K; que corresponden a los primeros que fueron enviados en la primera transferencia desde el módulo de adquisición. Luego el microcontrolador procede a configurar el RFM70 en modo transmisor; el microcontrolador incrementa el valor ASCII de cada uno de los datos recibidos, produciendo un efecto de corrimiento en los caracteres, y luego los envía a través al RFM70 para que los transmita al módulo de adquisición. Con ello, se transmiten los valores ASCII de los caracteres 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, :, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L produciendo el efecto de corrimiento antes mencionado. Al finalizar con la transmisión de estos datos, se procede a configurar de nuevo al RFM70 en modo

receptor y se queda en espera para recibir nueva información. Todo lo anterior se repite de nuevo cada vez que se reciben nuevos datos. Con esto se pudo establecer una comunicación bidireccional entre ambos módulos RFM70 (el del módulo de adquisición y el de la estación base), en la cual no se observaron pérdidas de información.

Tanto el firmware del módulo de adquisición como el de la estación base fueron desarrollados exclusivamente en lenguaje ensamblador. Esto se hizo con el fin de optimizar al máximo el procesamiento de la información debido a que el tiempo es un factor crítico en este proyecto.

#### **4.3. Aplicación de la computadora**

Adicionalmente, se implementó una aplicación en la computadora que tuviera la capacidad de comunicarse con la estación base y de recibir información desde ella. Para la implementación de la aplicación en la computadora se utilizó el software LabVIEW del fabricante National Instruments [21]. La aplicación que se desarrolló fue utilizada para verificar la correcta transmisión de la información desde el prototipo del módulo de adquisición y la comunicación entre la estación base y la computadora mediante la interfaz USB. Esta aplicación primero abre los canales de comunicación en el bus USB para poder intercambiar datos con la estación base. Luego solicita los datos a la estación base, y ésta a su vez le envía la información recibida desde el módulo de adquisición. Para emular el funcionamiento que tiene la pantalla LCD en la estación base, se presenta en la pantalla de la computadora un campo de texto donde aparecen los mismos caracteres que están apareciendo en la pantalla LCD conectada a la estación base. Se mantuvo el retardo de un segundo para poder observar claramente si no había pérdida de información tanto en la pantalla LCD como en la pantalla de la computadora mediante la aplicación desarrollada en LabVIEW. Con esta aplicación se comprobó que no existía pérdida de información en el enlace de radiofrecuencia ni en la interfaz USB para una tasa de transferencia baja.

### **5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.**

A continuación se presentan los principales resultados obtenidos hasta el momento, al igual que las conclusiones y los elementos que quedan pendientes por desarrollar o mejorar para obtener un sistema más eficiente.

#### **5.1. Resultados**

Se obtuvo un sistema con la capacidad de establecer una comunicación bidireccional inalámbrica, utilizando transceptores de radiofrecuencia (RFM70), entre la estación base y el módulo emulado de la sección de adquisición. Mediante este enlace de radiofrecuencia se pudo intercambiar datos entre ambos módulos sin pérdida de información, lo cual es necesario en el sistema final para poder enviar la información registrada de la actividad neuronal del módulo de adquisición hacia la estación base y los comandos de la estación base hacia el módulo de adquisición.

Se desarrolló una interfaz de comunicación USB entre la tarjeta de la estación base y una computadora. Esto permitió el envío y recepción de una gran cantidad de información. La implementación de la técnica Ping-Pong, permitió poder incrementar la cantidad de datos que puede manejar el microcontrolador. Esto mejoró la eficiencia del sistema al no tener que esperar a que una transferencia de datos en progreso finalice para poder preparar el siguiente paquete de datos que serán transmitidos.

Se construyó una tarjeta de pruebas de la estación base en donde se dejaron libres todos los elementos de hardware del microcontrolador; como lo son: las interfaces SPI e I<sup>2</sup>C en modos de 5V

y 3.3V; conexión USB; pines para las entradas y salidas del microcontrolador; regulador de 3.3V; pines para proporcionar alimentación a componentes externos; entre otros.

Se mejoraron los firmwares de los microcontroladores y se implementó un nuevo software en la computadora para el proceso de evaluación. Los firmwares de los microcontroladores fueron desarrollados completamente en ensamblador, lo cual optimiza el procesamiento de la información que está siendo transmitida.

## 5.2. Discusiones

Es necesario implementar algunas modificaciones en la configuración del RFM70 y realizar pruebas para evaluar si las interfaces de comunicación continúan funcionando adecuadamente y determinar si se presenta alguna mejora. Esto es debido a que en el RFM70 se pueden reducir los bytes de control, dirección y CRC del paquete enviado, con lo cual es posible que se obtenga una mayor tasa de transferencia de datos útiles.

Se necesita realizar una validación de la tasa de transferencia que posee el sistema actual para determinar si es suficiente o si es necesario realizar modificaciones en el software o hardware del sistema para alcanzar la tasa de transferencia mínima requerida.

## 5.3. Conclusiones

La estación base desarrollada es capaz de establecer un enlace bidireccional de radiofrecuencia con el módulo de adquisición para recibir y/o enviar información. Las transferencias utilizadas para las pruebas demostraron que el transceptor RFM70 tiene la capacidad de enviar información sin pérdida y con la nueva técnica utilizada para la interfaz USB se optimiza la transferencia de la información entre la estación base y la computadora. La implementación de los firmwares de los microcontroladores en lenguaje ensamblador optimizó el procesamiento de la información.

## 6. TRABAJO A FUTURO.

Una vez terminado la estación base propuesta en este trabajo, es necesario realizar la integración con las demás secciones del sistema de telemetría. Para después realizar la evaluación de la comunicación con el módulo de adquisición final para verificar que todo el hardware y software funcione correctamente.

Después de realizar la evaluación funcional del sistema se procederá a realizar la evaluación biológica. En esta evaluación ya se deberán realizar implantes en ratas para comenzar a realizar un registro de la actividad neuronal. Es por ello que es muy importante que la evaluación funcional que se mencionaba anteriormente haya pasado todas las pruebas satisfactoriamente; ya que para la realización de la evaluación biológica es necesario realizar una larga preparación de los animales antes de poder utilizarlos en un experimento, por lo que un error de hardware o software ya con el experimento en curso produciría que los datos registrados ya no fueran válidos, conllevando a la pérdida de todo el tiempo empleado anteriormente para la preparación del experimento.

## 7. REFERENCIAS.

- [1] D. Purves, G. J. Augustine, D. Fitzpatrick, W. C. Hall, A.-S. LaMantia, J. O. McNamara, S. M. Williams, *Neuroscience*, 773, (2004).
- [2] R. R. Harrison, *The Design of Integrated Circuits to Observe Brain Activity*, *Proc. IEEE*, vol. 96, no. 7, pp. 1203–1216, (2008).
- [3] G. Fontani, *Telemetry of Several Biological Signals from Behaving Animals*, pp. 343–344, (1981).

- [4] M. E. Emborg, *Evaluation of animal models of Parkinson's disease for neuroprotective strategies*, *J. Neurosci. Methods*, vol. 139, no. 2, pp. 121–43, (2004).
- [5] K. Kramer, L. B. Kinter, *Evaluation and applications of radiotelemetry in small laboratory animals*, *Physiol. Genomics*, vol. 13, no. 3, pp. 197–205, (2003).
- [6] A. N. Greene, S. L. Clapp, R. H. Alper, *Timecourse of recovery after surgical intraperitoneal implantation of radiotelemetry transmitters in rats*, *J. Pharmacol. Toxicol. Methods*, vol. 56, no. 2, pp. 218–22, (2007).
- [7] A. Scridon, C. Gallet, M. M. Arisha, V. Oréa, B. Chapuis, C. Barrès, C. Julien, P. Chevalier, *Telemetry monitoring in spontaneously hypertensive rats . Impact of the implant procedure, assessment of electrocardiographic signal quality*, vol. 22, no. 2, (2012).
- [8] P. T. Thorbergsson, M. Garwicz, J. Schouenborg, J. Johansson, *Implementation of a telemetry system for neurophysiological signals*, *Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, vol. 2008, pp. 1254–7, (2008).
- [9] M. Roham, C. D. Blaha, P. a Garris, K. H. Lee, P. Mohseni, *A configurable IC for wireless real-time in vivo monitoring of chemical and electrical neural activity*, *Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, vol. 2009, pp. 4222–5, (2009).
- [10] Y. Song, W. R. Patterson, C. W. Bull, D. A. Borton, Y. Li, A. V Nurmikko, J. D. Simeral, J. P. Donoghue, *A Brain Implantable Microsystem with Hybrid RF/IR Telemetry for Advanced Neuroengineering Applications*, pp. 445–448, (2007).
- [11] D. Zhang, X. Gao, D. C. Yu, A. Preamplifier, *A Wireless Electroencephalogram Telemetry Recording System for Roaming Animals*, pp. 192–195, (2011).
- [12] D. Zhang, Y. Dong, M. Li, H. Wang, *A Radio-Telemetry System for Navigation and Recording Neuronal Activity in Free-Roaming Rats*, *J. Bionic Eng.*, vol. 9, no. 4, pp. 402–410, (2012).
- [13] H.-Y. Teng, Y.-D. Liu, D.-W. Chang, C.-P. Young, S.-F. Liang, F.-Z. Shaw, *Concurrent wireless physiological signal monitoring system for multiple freely moving rats*, *2013 IEEE Int. Instrum. Meas. Technol. Conf.*, pp. 249–252, (2013).
- [14] D. Salazar, F. Heredia, *Estación base de un sistema telemétrico multicanal para la medición de la actividad cerebral en ratas, con reubicación remota del conjunto de microelectrodos*, in *XIII Congreso Nacional De Ingeniería Eléctrica Y Electrónica Del Mayab*, pp. 223–232, (2013).
- [15] RFM70 - Low Power High Performance 2.4 GHz GFSK Transceiver Module - Datasheet. [En línea]. <<http://www.hoperf.com/upload/rf/rfm70.pdf>> [Consulta: 01 abril 2014].
- [16] PIC18F2550 - 28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology - Datasheet. [En línea]. <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>> [Consulta: 01 abril 2014].
- [17] TXB0104 - 4-bit bidirectional voltage-level translator with auto direction sensing and  $\pm 15$ -kV ESD protection - Datasheet. [En línea]. <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/txb0104.pdf>> [Consulta: 01 abril 2014].
- [18] TXB0102 - 2-bit bidirectional voltage-level translator with auto direction sensing and  $\pm 15$ -kV ESD protection - Datasheet. [En línea]. <<http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/txb0102.pdf>> [Consulta: 01 abril 2014].
- [19] TC1185 - 150mA CMOS LDOs with Shutdown and Reference Bypass. [En línea]. <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21335c.pdf>> [Consulta: 26 abril 2014].
- [20] ADS1298 - Low-Power, 8-Channel, 16-Bit Analog Front-End for Biopotential Measurements - Datasheet. [En línea]. <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1298.pdf>> [Consulta: 01 abril 2014].
- [21] LabVIEW. [En línea]. <<http://www.ni.com/labview/esa/>> [Consulta: 01 abril 2014].

## 4. COMPUTACIÓN E INGENIERÍA DE SOFTWARE

### 4.1 IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE REGISTRO DE ASISTENCIA A EVENTOS.

Danice D. Cano Barrón<sup>1</sup>, Humberto J. Centurión Cardeña<sup>1</sup>, Walter I. Manzanilla Yuit<sup>1</sup>,  
Grecia E. Méndez Gil<sup>1</sup>, Lucelly del C. Chan Argaez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico Superior de Motul, Carretera Mérida-Motul, Tablaje Catastral 383  
C.P. 97430

danice.cano@tecmotul.org, humberto.jose@tecmotul.org,  
walter.manzanilla@tecmotul.org, grecia\_elizabeth2010@hotmail.com,  
lucelly\_243@hotmail.com  
019919151632 – 019919151633

Línea temática: Computación

**Palabras clave:** aplicaciones Web, metodología en cascada, desarrollo de aplicaciones

#### RESUMEN.

El desarrollo de aplicaciones Web es un área en desarrollo en computación debido a su impacto en las labores de las organizaciones de todo tipo. Este proyecto describe el modelado e implementación de un sistema de registro de asistencia a eventos buscando responder a las necesidades de determinar en todo momento el número de personas asistentes y la forma en la que están organizados. Se concluye con que este tipo de aplicaciones se cubren necesidades básicas de procesamiento de información, así como las necesidades de formar los recursos humanos con tecnología de libre distribución. La principal ventaja de este tipo de aplicaciones es la independencia de plataforma que permite.

#### ABSTRACT.

Developing Web applications is a breaking area in computing because of its impact in organizations of all kinds. This project describes the modeling and implementation of a system for describing the process of developing a system to support the attendance at events seeking to respond the needs to determine at any time the number of people attending and how they are organized. It concludes that these basic information processing needs application are covered, as well as the needs of human resources from the free distribution technology. The main advantage of this type of application is platform independence allowed.

#### 1. Introducción.

El crecimiento en el uso de las nuevas tecnologías y del Internet en general impacta de manera significativa en la forma en que los sistemas de información de sectores comerciales, industriales, bancarios, financiero, educación, gobierno y entretenimiento son entendidos y diseñados, y a medida que el número y complejidad de las aplicaciones basadas en la red crece, se hace necesario reflexionar acerca de la forma en la cual éstas deben ser creadas y cómo mantener su calidad e integridad. Pero más allá de los retos para su producción, la naturaleza de dichas aplicaciones es responder de manera inmediata al procesamiento de información para un grupo de personas independientemente de la plataforma sobre la cual trabajen.

Las aplicaciones de este tipo han evolucionado en los últimos años y las antiguas aplicaciones distribuidas en discos compactos dieron lugar a aplicaciones dinámicas, de constante actualización e incluso personalizables, capaces de adaptarse a los tipos de usuarios y en casos avanzados, a

cada usuario en particular. Estas características encuentran el medio ideal en la web para su desarrollo, ya que de otra forma sería costoso su mantenimiento y evolución [4]. Esta capacidad de adaptación y respuesta las hace herramientas fundamentales para contar con sistemas que respondan de manera apropiada las 24 horas días los 365 días del año sin preocuparse por mecanismos complejos de acceso.

Si bien la complejidad del desarrollo ocurre a diferentes niveles, la necesidad de proveer acceso de navegación simple a grandes cantidades de datos multimediales y la aparición de nuevos dispositivos para los cuales se deben construir interfaces web fáciles de usar han promovido el uso de manera sostenida [5]. Si lo anterior se aúna las tecnologías libres disponibles para su desarrollo, construir las se convierte en una opción económicamente viable y de gran impacto para cualquier organización.

## **2. APLICACIONES WEB.**

Las aplicaciones web permiten la generación automática de contenido, la creación de páginas personalizadas según el perfil del usuario además de facilitar la interacción otros sistemas informáticos [6]. Esta característica de conectividad es la que las hace tan versátiles de implementar en casi cualquier situación, es imposible pensar en las organizaciones que no utilicen este tipo de aplicaciones ya sea a través de su intranet o de Internet.

Una aplicación web es un tipo especial de aplicación cliente/servidor, donde tanto el cliente (navegador, explorador o visualizador) como el servidor (el servidor web) y el protocolo mediante el que se comunican (HTTP) están estandarizados y no han de ser creados por el programador de aplicaciones, permitiendo así la independencia de plataforma pues sin importar los equipos y sus sistemas operativos, si se cuenta con un navegador Web la aplicación funcionará de manera apropiada.

### **2.1 Arquitectura de una aplicación Web**

Desde la primera vez que un programa se dividió en módulos, los sistemas de software se han considerado como elementos con arquitecturas, siendo los programadores responsables de las interacciones entre los módulos y las prioridades globales del ensamble [7]. Es por ello que se considera que el comprender la arquitectura de un sistema facilita la tarea de diseñar y construir sus partes para después ir las acoplando.

En el caso de las aplicaciones Web su arquitectura es similar a la de un sitio Web, se basa en el modelo Cliente/Servidor el navegador en la parte cliente, el servidor Web en la parte del servidor y una conexión de red, sin embargo en las aplicaciones Web hay que considerar que existe una lógica de negocio sensible a las interacciones del usuario [8], y es por ello que el diseño se basa en la forma en la que las actividades de una organización se llevan a cabo más que considerar mecanismos de organización de información.

### **2.2 Clasificación de las aplicaciones Web**

La clasificación que se puede realizar de las aplicaciones Web puede atender a criterios como la complejidad de los datos, de la propia aplicación, la volatilidad, la estructuración de los datos o la intencionalidad de la aplicación [9], la más común responde a la funcionalidad que el usuario puede obtener de ella. A continuación en la Tabla I se enlistan los principales tipos de aplicaciones que

existen, para el caso de esta aplicación se trata de tipo transaccional, ya que se busca hacer un registro de las actividades.

**Tabla I**

Tipos	Descripción
Informacionales	Orientadas a la difusión de información personalizada.
Descarga de datos	Son servidores de material didáctico, servidores de canciones, etc.
Interactivas	Son orientadas a la interacción con el usuario.
De Servicio	Son sistemas de ayuda financiera, simuladores, etc.
Transaccionales	Son las dedicadas a la banca electrónica, por ejemplo.
Flujo de Datos	Son sistemas de planificación en línea y manejo de inventario.
Entornos de Trabajo Colaborativo	Son Herramientas de diseño colaborativo, sistemas de autoría distribuidos.
Comunidades on-line	Foros de debate, servicios de subastas, entre otros, usuarios con intereses similares, los vínculos son claramente visibles.
Portales Web	Centro comerciales de compra electrónica, intermediarios en línea, etc.
Orientados al análisis de datos	Dedicados al Datawarehousing, aplicaciones OLAP, etc.

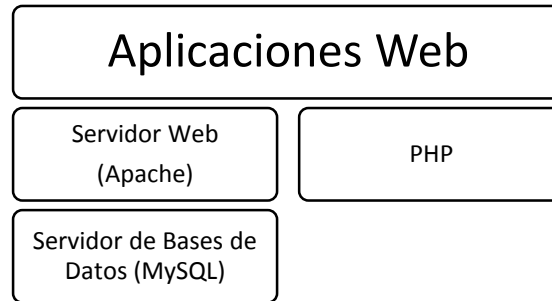
**Tabla I. Tipos de aplicaciones Web.**

### 1. ENTORNO DE DESARROLLO.

Para poder desarrollar la aplicación se requirió de un servidor de hardware que cuente con las funciones de: servidor Web, manejador de consultas vía Internet y un servidor de bases de datos. Los elementos se interrelacionan como se muestra a continuación en la Figura 1. El servidor Web y el lenguaje de consultas vía Internet funcionan al mismo nivel, es decir, el servidor Web provee de la interfaz de comunicación y el lenguaje de consultas la manera en la que se accederá la información, dejando al servidor de bases de datos la tarea de realizar las transacciones directamente sobre la Base de Datos.

Las opciones de software son muchas, sin embargo, el conjunto más utilizado es el servidor Web Apache, el manejador de consultas vía Internet PHP y el servidor de bases de datos MySQL, todos de libre distribución, de aquí que la elección de trabajar esta tecnologías sea muy económica para las instituciones e individuos que deseen iniciarse en la programación de aplicaciones Web, pues además contar con paquetes especialmente diseñados para hacer funcionar los servicios desde la instalación en un servidor como es el XAMMP.





**Figura 1: Tecnologías utilizadas para el desarrollo de la Aplicación Web**

## 2. OBJETIVO GENERAL.

El principal objetivo de la aplicación, fue contar con un sistema de registro de asistencia a eventos de diversa naturaleza en el Tecnológico. La base sobre la cual se construyó es la necesidad de contar con mecanismos automáticos que ayuden a los organizadores de diversas actividades a determinar en un punto del tiempo cuántas y cuáles personas han llegado a un evento para dejar constancia de su participación o la entrega de reconocimientos.

## 3. JUSTIFICACIÓN.

A lo largo de los años, el Instituto Tecnológico se ha encargado de organizar y llevar a cabo eventos de diversa naturaleza en los que participan grandes cantidades de estudiantes de los cuales se requiere llevar un registro. Puesto que cada año el número de eventos crece, se estableció como necesidad institucional el contar con un sistema que facilite la información. Se ideó la aplicación como un sistema sencillo de registro de asistencia, que además pueda establecer en cualquier momento el número total de asistentes así como listas organizadas de todos los participantes para poder hacer entrega de documentos o reconocimientos al final de las actividades.

## 4. METODOLOGÍA.

El desarrollo de un proyecto de software, sea de la naturaleza que sea, requiere de un proceso referido a un modelo que describe específicamente las tareas y las fases por las cuales atravesarán las actividades. El modelo más utilizado es el modelo en cascada que consta de las fases de: análisis de requisitos, diseño del sistema, diseño del programa, codificación, pruebas, implantación y mantenimiento.

Usando esta metodología en cascada [3] se llevó a cabo en la fase de análisis de requerimientos de los usuarios finales del sistema para determinar qué objetivos se deben cumplir, luego se inició la fase de diseño organizando el sistema en elementos que puedan elaborarse de forma separada para así modelar su comportamiento, para pasar a la implementación, pruebas e implantación.

## 5. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

Una de las principales funcionalidades del proyecto fue el poder establecer el listado de los estudiantes presentes en las actividades en tiempo real y de forma organizada. Además se consideró relevante tener un conteo visible en todo momento del total de los asistentes, esto es debido a que en algunas ocasiones se entregan artículos personalizados a los asistentes y se deben hacer reportes posteriormente. Si bien esta aplicación puede ser considerada como un primer incremento, contiene las funcionalidades básicas para poder ser útil.

### 7.1 Análisis de Requerimientos

Los requerimientos son todos aquellos recursos que el producto necesita, una descripción de todo lo que el producto debe hacer y tener, enlista todos los detalles que el producto final debe de cubrir. Se dividen en funcionales y no funcionales, estos a su vez se clasifican en requerimientos de usuario y del sistema. A continuación se enlistan todos los requerimientos que el sistema necesitará.

#### 7.1.1 Requerimientos del Usuario

1. Contabilizar en tiempo real el número de asistentes al evento
2. Permitir seleccionar a los estudiantes de una lista pre-definida
3. Mostrar un listado de los estudiantes presentes organizados por grupo
4. Respetar los elementos y colores institucionales
5. Incluir los datos personales de los desarrolladores

#### 7.1.2 Requerimientos del Sistema

Derivados de los requerimientos del usuario, se establecen de igual manera los requerimientos del sistema. En este sentido se enlistan los requerimientos del sistema en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, enlistados con los requerimientos de usuario correspondiente.

**TABLA II**

Requerimientos del Sistema	Requerimientos del usuario
Administrar las conexiones a las BD.	1,
Administrar datos de la BD.	2, 3

*Tabla III. Requerimientos del sistema.*

Además de los requerimientos de los usuarios y del sistema, el modelado de la aplicación requiere de establecer requerimientos funcionales y no funcionales. Cada uno de los cuales se subdivide a su vez en detalles más específicos en términos de lo que debe hacer la herramienta.

A continuación se presentan los requerimientos no funcionales del producto, los organizacionales y los externos.

#### 7.1.3 Requerimientos no Funcionales

Los requerimientos no funcionales no afectan el funcionamiento principal del sistema, es decir, el sistema puede funcionar sin cubrir estos requerimientos, principalmente están orientados a cumplir con normas y estándares de los clientes [3]. En la Tabla IV se describen las características del entorno del sistema, enlistando los requerimientos de usabilidad, rendimiento o capacidad de respuesta y portabilidad.

**TABLA III**

Tipo de Requerimientos	Requerimiento
De Usabilidad	1. Diseñar interfaces intuitivas, fáciles de entender.

	2. Incluir en el menú de opciones el evento en cuestión.
<b>De Rendimiento</b>	1. El sistema deberá ser rápido y el tiempo de respuesta deberá ser el mínimo posible.
<b>De Portabilidad</b>	1. Diseñar la aplicación para Chrome y Mozilla.

**Tabla IVII. Requerimientos no funcionales de Producto**

#### 7.1.4 Requerimientos no funcionales Organizacionales

Los requerimientos no funcionales organizacionales se relacionan con el contexto en el que realiza el proyecto e implementará el sistema [3]. En la tabla III se enlistan los estos requerimientos mencionados anteriormente.

**TABLA IV**

<b>Tipo de requerimientos</b>	<b>Requerimientos</b>
<b>De Entrega</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El sistema deberá ser entregado funcionando con la base de datos correspondiente.</li> <li>2. El equipo de desarrollo se encargará de capturar y depurar la base de datos del evento.</li> <li>3. El sistema deberá ser instalado en el servidor de pruebas del instituto y ajustado para funcionar de manera remota.</li> </ol>
<b>De Implementación</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El sistema deberá adecuarse a la resolución de una tableta</li> <li>2. Se debe estructurar el código del programa de una manera consistente y entendible para facilitar su modificación en un futuro.</li> </ol>
<b>De Estándares</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Manejo de la paleta institucional de colores.</li> <li>2. Incluir la cintilla de logos que aparece en la página Web institucional</li> </ol>

**Tabla IV. Requerimientos no funcionales organizacionales del producto.**

#### 7.1.5 Requerimientos no funcionales Externos

Los requerimientos no funcionales externos enlistan a aquellos que no van en el código, si no en la manera en cómo se usará y la seguridad que tendrá [3]. En la tabla IV se enlistan estos requerimientos.

**TABLA V**

<b>Tipo de requerimiento</b>	<b>Requerimientos</b>
<b>De Privacidad</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se deberá controlar el acceso a la información por parte de cada usuario, ya que no todos los usuarios tendrán derecho a consultar la misma información.</li> </ol>

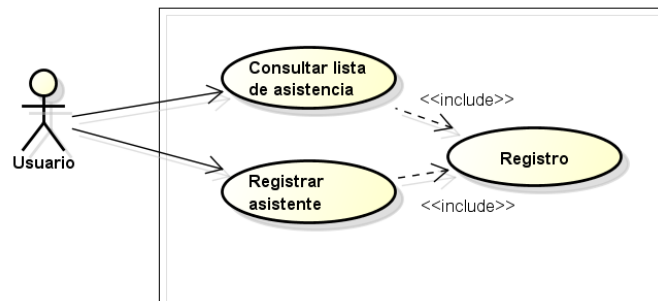
	2. La base de datos del sistema no deberá estar enlazado a otros sistemas externos.
<b>Éticos</b>	1. La información almacenada solo podrá ser consultada por los usuarios autorizados a ésta.
<b>De Seguridad</b>	1. La información no será eliminada de la base de datos si no que pasará a un estado de inactivo. 2. El acceso deberá ser controlado con nombres de usuario y contraseñas. 3. Se debe realizar periódicamente una copia de seguridad de la información almacenada en la base de datos.

**Tabla V. Requerimientos no funcionales externos.**

### 5.2 Diagramas de Casos de Uso

Los casos de uso describen las tareas que deberá realizar un actor dentro del entorno del sistema para llevar a cabo un proceso. Los actores son los personajes que inician alguna tarea que ejecutará el sistema. Los diagramas de caso de uso son importantes porque describen las relaciones entre diferentes tareas y el actor que las realizará [3].

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Se presentan los casos de uso de los usuarios registrados en el sistema. En este caso se podrá realizar el registro de asistentes y consultar la lista de asistencia al evento.



**Figura 2. Diagrama de caso de uso de los usuarios**

### 5.3 Diccionario de Datos

El diccionario de datos representa la forma en la que se estructurarán las tablas para almacenar adecuadamente la información en una base de datos, agregando información acerca del tipo de dato que se puede almacenar en cada uno de los registros [3]. Para el caso de la aplicación la base de datos la tabla principal es la de los asistentes a los eventos en la que se organizan los diferentes campos a ser utilizados durante el registro, en la Figura 3 se puede apreciar el esquema y su definición.

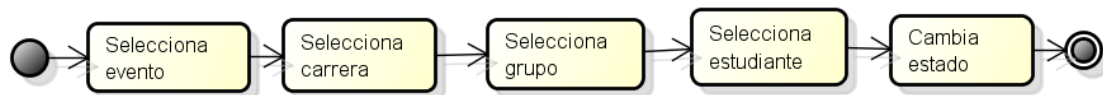
Columna	Tipo	Nulo
id	int(8)	No
Carrera	varchar(10)	No
Apellidos	varchar(50)	No
Nombre	varchar(40)	No
Grupo	varchar(1)	No
Asistencia	varchar(2)	No

**Figura 3. Diccionario de datos de los asistentes.**

Además de los asistentes se guarda una tabla más de los usuarios y las contraseñas de acceso a la aplicación.

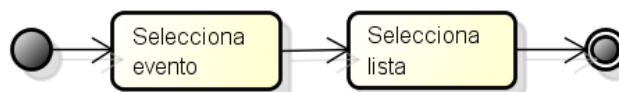
#### 7.4 Diagramas de Actividades

Los diagramas de actividades muestran la secuencia en la que los usuarios realizan los procesos que se modelan dentro del sistema [3]. A continuación se presentan los diagramas y su descripción [3].



**Figura 4. Registro de asistencia.**

En la figura 4 se describe el proceso principal para registrar la asistencia a un evento que inicia seleccionando justamente el nombre del evento, y para facilitar el proceso de búsqueda, la carrera de del estudiante, el sistema desplegará los grupos y con ello el listado de estudiantes, lo único que queda por hacer es el seleccionar el nombre del estudiante en cuestión y guardar la selección.

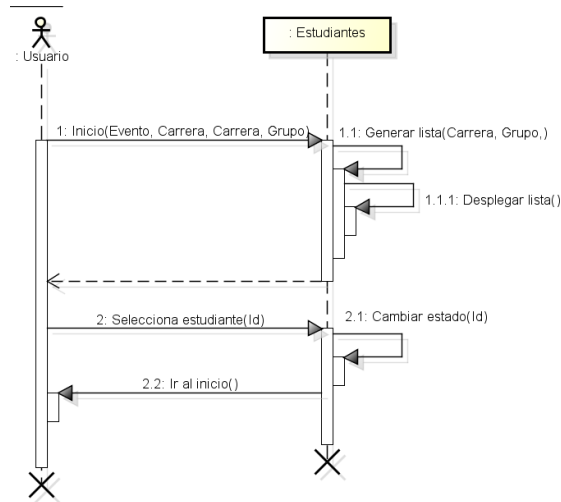


**Figura 5. Consulta lista de asistencia.**

Finalmente, en cualquier momento del proceso, se puede seleccionar consultar la lista de asistencia y se desplegarán las listas únicamente de las personas que hayan registrado su asistencia hasta ese momento.

### 7.5 Diagrama de Secuencia

Los diagramas de actividades muestran la manera en que se realizan las diferentes tareas que ejecutarán cada uno de los actores con ayuda del sistema [3]. La figura 6 muestra la forma en la que se llevan a cabo los procesos de selección de estudiantes para guardar su asistencia.



**Figura 6. Registrar acceso de un estudiante al evento.**

### 6. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS.

Una vez establecidos los principales parámetros de funcionalidad se procedió a la maquetación considerando elementos de imagen institucional, uso de logotipos, y elementos de usabilidad. En la figura 7ª, se puede apreciar la pantalla de inicio en la cual se requiere un usuario y una contraseña, en caso de dar una combinación errónea, aparecerá una leyenda indicándolo al usuario. Una vez que el acceso se concede, se muestra la lista de carreras para seleccionar, además de mostrar el número total de personas registradas al evento.




**(a)**



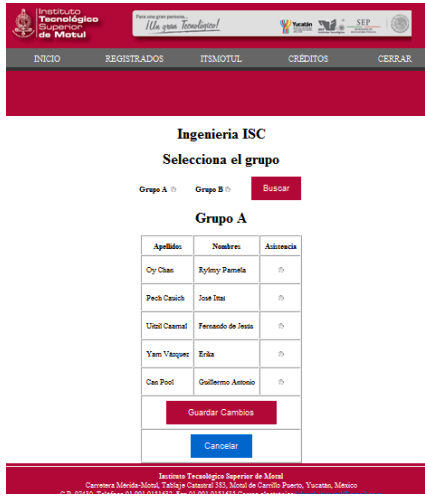
**(b)**

**Figura 7. Pantallas principales de acceso (a) login y (b) página de inicio.**

Una vez seleccionada una carrera, se requiere de seleccionar un grupo, para poder filtrar a los estudiantes. Una vez seleccionado el grupo, el sistema muestra el listado de estudiantes que no han sido registrados para hacer más fácil la búsqueda de estudiantes.



**(a)**



**(b)**

**Figura 8. (a) Selección del grupo y (b) Lista de estudiantes que no han sido registrados.**

En la Figura 9 se pueden ver las listas de los estudiantes ya registrados como asistentes al evento organizados por carrera y por grupo de forma alfabética. Cabe mencionar que este proceso puede llevarse a cabo en cualquier momento.



**Ingeniería en Sistemas Computacionales**

A	B
1. Cortes Marín Reyes Gilberto	1. Camín Ake Eduardo Humberto
2. Herrera Ramirez Joel Absalon	2. Chi Méndez Obedía Andrea
3. Ku Pool José Casiano	3. Chau Cause Felipe de Jesús
4. Montero Cobso Rocio Esther	4. Diaz Marceus Yancio Isabel
5. Moo Méndez Aldo Marín	5. Delgado Casché Eldo Eliseo
6. Pacheco Oqup Zaine Guadalupe	6. Dalb Pech José Humberto
7. Santos Pino Maricruz	7. Dalb Pech Juan Carlos
8. Suanza Vera Alejandro de Jesús	8. Ku Camil Julian Manuel
9. Tuyub Xibin Iliannet	9. Ku Camil Manuel de Jesús
10. Villaseca Cas Yánuca Aracelly	10. Ku Rivera Alan Israel
11. Xul Casché Eliseo Catalino	11. Nubez Flores Efraín Anthony de Jesús
12. Xul Casché Jorge Luis	12. Padilla Barcal José Guadalupe
	13. Perea Zavala Guillermo
	14. Sánchez Polanco Miguel Francisco
	15. Tun Bote Yasumi del Carmen
	16. Tzo Chel Lorenzo Emmanuel
	17. Victorin Chin José Félix Leobardo

**Figura 9. Lista de estudiantes registrados.**

Finalmente, el proceso de pruebas consistió en verificar los controles de acceso, la capacidad de soportar accesos múltiples, verificar que una vez seleccionado el estudiante no aparezca en la lista de estudiantes faltantes y que los estudiantes marcados como asistentes aparezcan en la lista de registrados, dejando la verificación de la base de datos en manos de los responsables del evento. El sistema sirvió durante la ceremonia de egreso para organizar la entrega de documentación y a los estudiantes durante la ceremonia.

## **7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.**

El desarrollo de sistemas de información debe de responder a necesidades reales de procesamiento de datos, sean de la naturaleza que sean. En esta ocasión la necesidad de procesar la asistencia de estudiantes a eventos académicos da origen al proyecto, se trabajó con estudiantes de 8º y 6º semestre considerando que el nivel de dificultad no era muy alto y permitía dar a conocer las tecnologías a los menos avanzados. Los resultados de utilizar esta herramienta fueron muy positivos agilizando los procesos de organización de los estudiantes y la entrega de reconocimientos. Seguir una metodología ayuda a tener control sobre el desarrollo de las aplicaciones.

Si bien este es un primer incremento, se buscó que la funcionalidad tuviera un impacto positivo en los procesos. Como trabajo a futuro se considera incluir mecanismos para administrar a los estudiantes, los grupos y los profesores encargados de registrarlos, además de considerar la posibilidad de soportar eventos cuyas asistencias sean más de una, por ejemplo para cursos o seminarios.

## **REFERENCIAS.**

1. Canals, Agustí (2003). "La gestión del conocimiento". En: *Acto de presentación del libro Gestión del conocimiento (2003: Barcelona) [en línea]. UOC. [Fecha de consulta: 05/02/2013]. <<http://www.uoc.edu/dt/20251/index.html>>*
2. R. Stair; G. Reynolds, *Principios de sistemas de información: un enfoque administrativo*, (Ed. Cengage Learning,), (2010).
3. R. Pressman, *Ingeniería de Software: Un enfoque práctico*, (Ed. McGraw Hill Iiteramericana), (2010).
4. Silva, D. & Mercerat, B. Construyendo aplicaciones web con una metodología de diseño orientada a objetos. RCC, 2, 2 (versión electrónica). Bucaramangara: Colombia. (2001).
5. Schwave, D. et al. Engineering Web Applications for Reuse. IEEE Multimedia, Vol 8 Nro 1, pp 20-31. (2003)
6. Luján, S. Programación de servidores web con CGI, SSI e IDC. Alicante: Club Universitario. (2001).
7. Garlan, S. M. Software Architecture. Prentice-Hall. (1996).
8. Conallen, J. Safari books online. Recuperado el 15 de Octubre de 2012, de Safari books online: <http://safari.awprofessional.com/0201615770> (1999).
9. Sanz, S. D. JavaScript: Iniciación y referencia. Mc Graw Hill. (2001).



## 4.2 LA INGENIERÍA DE SISTEMAS APLICADA A LA AUTOMATIZACIÓN DE CONTROL DE HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA EN EL INTERIOR DE UN INVERNADERO.

Ing. Rosa Elvira Moreno Ramírez, Dr. Vicente Vallejo Puerta, Dr. Fidel Camarena Vudoyra, Ana Laura González Colín, Graciela García Rueda, Guillermo Nieto Hernández.

*Instituto Tecnológico de Toluca. Av. Tecnológico S/N, Fraccionamiento La Virgen, C.P. 52140, Metepec, Estado de México, México.*

[Remrll2@yahoo.com.mx](mailto:Remrll2@yahoo.com.mx), [vicente\\_vallejo2003@yahoo.com.mx](mailto:vicente_vallejo2003@yahoo.com.mx), [facv504@gmail.com](mailto:facv504@gmail.com),  
[aural\\_2903@hotmail.com](mailto:aural_2903@hotmail.com), [shelis\\_91@hotmail.com](mailto:shelis_91@hotmail.com), [memo\\_lightness@hotmail.com](mailto:memo_lightness@hotmail.com).

### RESUMEN.

*Un invernadero es una construcción que tiene por objetivo simular las condiciones climáticas más adecuadas para un cultivo y/o protección de plantas con cierta independencia del medio exterior; sin embargo esto no es suficiente ya que se requiere de un control adecuado de dichas condiciones al interior de esta estructura, por lo que se hace necesario el uso de sistemas automatizados para monitorear y controlar el ambiente interno desde cualquier ubicación donde se encuentre el propietario.*

*El presente proyecto consiste en el diseño y puesta en marcha de un mecanismo de bajo costo que controle en forma automática la humedad relativa y la temperatura internas: Sensores que al detectar los parámetros fuera de rango, activan el mecanismo de protección basándose en la información registrada en la base de datos. Los datos registrados serán utilizados para la generación de estadística y tendencias de comportamiento para la toma de decisiones.*

### ABSTRACT.

*A greenhouse is a structure that simulates the appropriate climatic conditions for growing and/or protection of plants with some Independence from the external environment. However, this is not enough because a proper control of these conditions within this structure is also required, the use of automated systems to monitor and control the internal environment from any location, where the owner is located, is needed.*

This project consists of the design and implementation of a low-cost mechanism to control automatically the relative humidity and internal temperature: sensors to detect out of range parameters, activate the protection mechanism based on information recorded in database. The recorded data will be used to generate statistical and behavioral trends for decision-making.

**PALABRAS CLAVE:** *Invernadero, Sensor, Micro controlador, Humedad Relativa, Temperatura, Base de Datos, Automatización, hidropónico(a) s.*

### 1. INTRODUCCIÓN.

La escasez de alimentos, la falta de agua, el cambio climático, la contaminación y empobrecimiento de suelos por el monocultivo y el incremento del desempleo, entre otros, son problemas presentes a nivel mundial. La producción de algunos alimentos vegetales bajo ambientes de invernaderos ha demostrado ser una solución a estos problemas y una gran mejora es la implementación de técnicas de cultivo hidropónicas. El control de la nutrición y del microclima de un invernadero es

importante en la producción. Para poder probar que estrategias de control son las más adecuadas para el control del microclima es importante contar con modelos climáticos de los invernaderos.<sup>1 a 15</sup>

Es importante contar con algún control climático en un invernadero, por lo que el presente proyecto presenta una propuesta para desarrollar un sistema automatizado para invernaderos, controlando principalmente la humedad relativa y la temperatura en su interior.

La humedad relativa del aire afecta a la pérdida de agua por transpiración de las plantas. Una humedad relativa elevada, ya sea en invernadero o al exterior, provoca menos transpiración y en consecuencia, menos circulación de nutrientes de las raíces a las hojas y menos ventilación de la superficie de las hojas. Por el contrario, humedades relativas demasiado bajas pueden provocar que las hojas se sequen o se quemen. El rango óptimo de humedad relativa oscila entre 60 y 80 %, y es posible medirla con un higrómetro. En estados de mayor humedad relativa, existen riesgos de que proliferen enfermedades fungosas<sup>2,8,11,13,14 y 15</sup>.

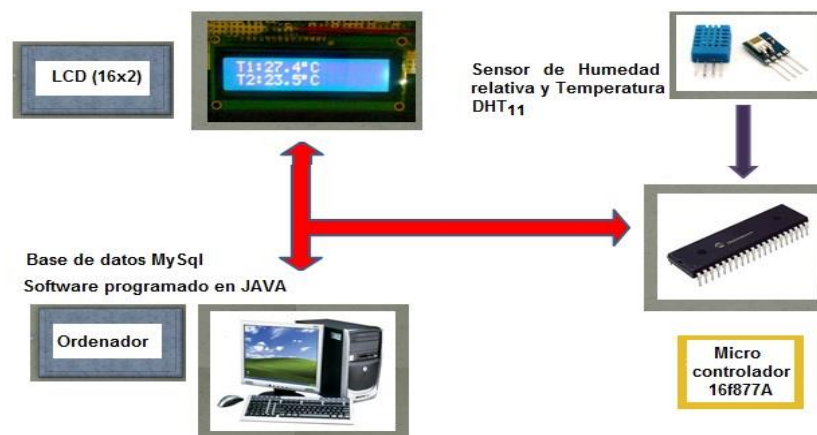
El registro de la temperatura diaria o de corto plazo, ayuda a mantener condiciones ambientales óptimas en los invernaderos. La temperatura regula el grado de crecimiento de las plantas. La ventilación y calefacción controlan la temperatura dentro de un invernadero. Para cultivos de interés en este proyecto la temperatura óptima será de 21.5°C, con una temperatura mínima biológica de 10°C y una temperatura máxima biológica de 30°C. Considerando como temperaturas letales el llegar a los -6°C o los 40°C.<sup>8,11,13,14 y 15</sup>

Aunque ya existen en el mercado diferentes opciones comerciales, el producto de este trabajo de investigación demuestra que con pocos recursos y una adecuada infraestructura para controlar los insumos básicos para una buena cosecha, se puede controlar los efectos negativos de la falta de alimento en el mundo.

**METODOLOGÍA.**

La adquisición de datos de humedad relativa y temperatura en tiempo real, al interior del invernadero, se realiza a través de sensores DHT<sub>11</sub>, son recibidos por un micro controlador PIC 16f877A y posteriormente la información se visualiza en una pantalla (led 16x2) y también se almacena en una base de datos MySql.

El software que se encarga de controlar los parámetros de temperatura y humedad se encuentra programado en JAVA. La figura 2.1. Muestra lo anterior.



**Figura 2.1. Dispositivo para la adquisición y almacenamiento de datos de humedad relativa (%HR) y temperatura (°C) al interior del invernadero.**

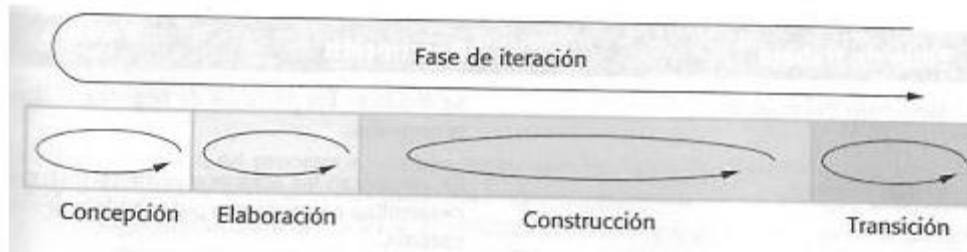
Para almacenar los datos, el software recibe la información de los parámetros de humedad relativa (%HR) y temperatura (°C) cada hora, los cuales son mostrados en pantalla y almacenados en la tabla que le corresponde a cada uno de los parámetros en la base de datos. Mientras que para el control de los parámetros el sistema pide al usuario los rangos de cada uno de ellos para activar los actuadores que se encargarán de manejar los dispositivos encargados de mantener en un nivel óptimo los valores de humedad y temperatura en el invernadero, estas actividades se muestran con más detalle en la figura 2.3.

El desarrollo del software de este proyecto, se realizó basado en la metodología RUP (Rational Unified Process, Proceso Unificado Racional) ya que es un modelo que permite el desarrollo de software a gran escala, mediante un proceso continuo de pruebas y retroalimentación, garantizando el cumplimiento de ciertos estándares de calidad debido a que su meta es precisamente el asegurar la producción de software de alta calidad que satisfaga las necesidades de los usuarios finales, dentro de un calendario y presupuesto predecible.

El RUP se describe desde tres perspectivas:

1. Perspectiva Dinámica que muestra las fases del modelo a través del tiempo
2. Perspectiva estática que presenta las actividades del proceso que se establecen
3. Perspectiva práctica que sugiere buena prácticas a usar durante el proceso

Las fases del RUP están relacionadas con asuntos de negocio más que técnicos. La figura 2.2 muestra las fases en el RUP<sup>12</sup>.



**Figura 2.2. Fases del RUP**

1. **Concepción:** La meta de esta fase es establecer un caso empresarial para el sistema. Primero se identifican las entidades externas que interactúan con el sistema y se define las interacciones.
2. **Elaboración:** Esta fase consiste en desarrollar la comprensión del problema de dominio, generando el modelo de requerimientos del sistema a través del modelo de Casos de Uso, establecer el marco conceptual arquitectónico del sistema, diseñar el plan del proyecto e identificando los riesgos del mismo.
3. **Construcción:** Esta fase incluye el diseño, programación y pruebas del sistema.
4. **Transición.** Esta fase se interesa por el cambio del sistema desde el ambiente de desarrollo al ambiente de usuario, y ponerlo a funcionar en un ambiente real.

Cada fase del sistema se puede presentar en forma iterativa con resultados desarrollados de forma incremental y todo el conjunto de fases puede expresarse de manera incremental como se muestra en la figura 2.2, desde la transición hasta la concepción.

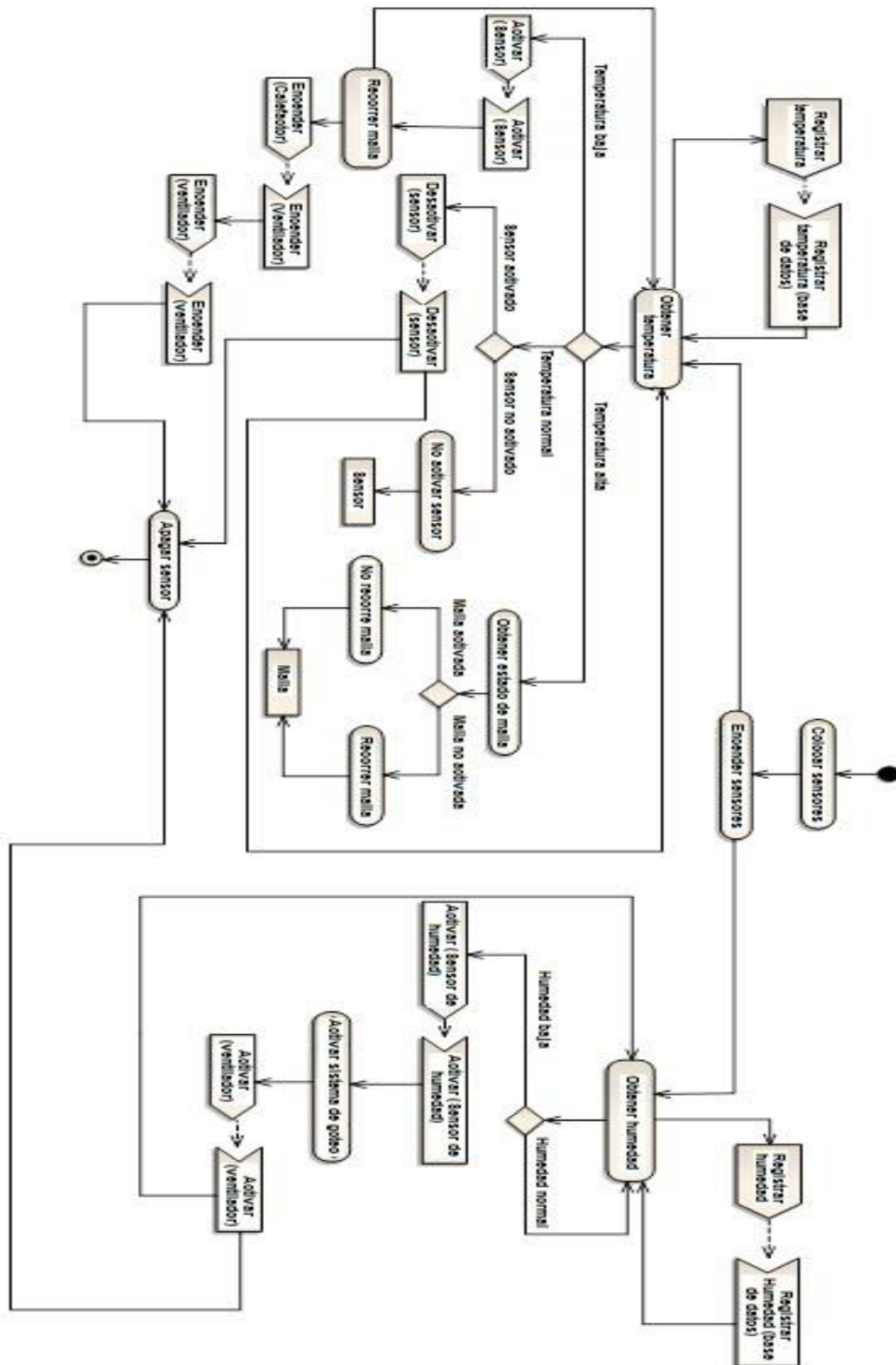
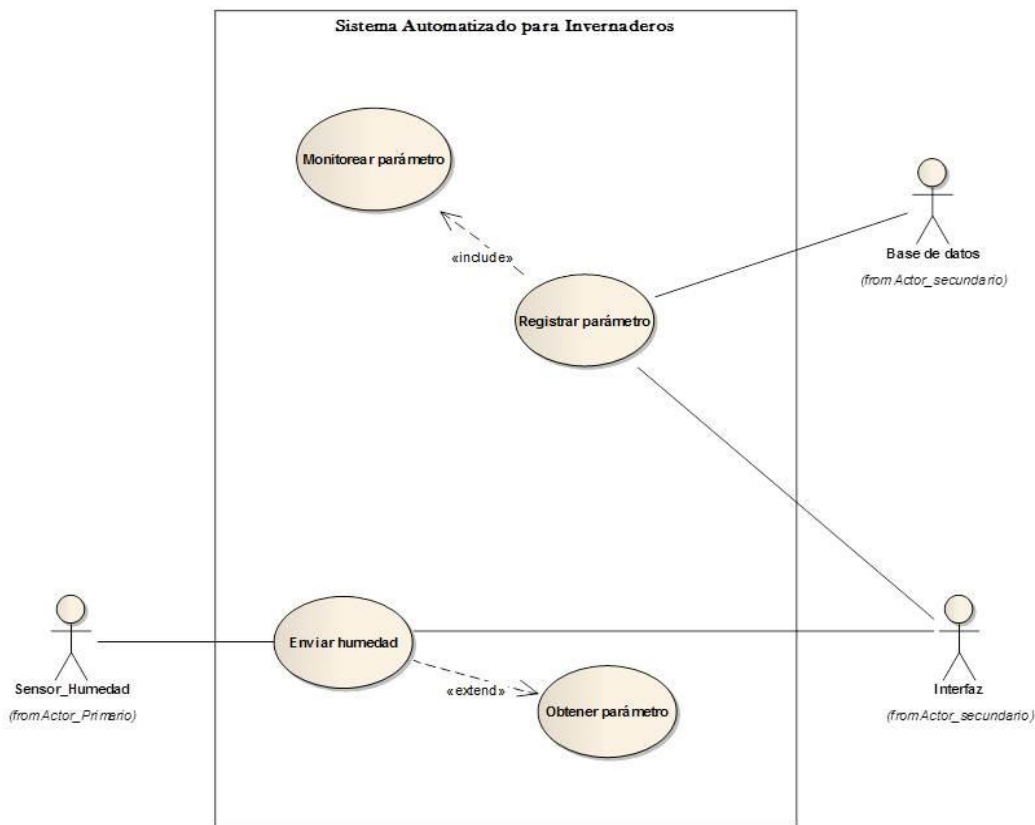


Figura 2.3. Diagrama de actividades del control de Humedad relativa (%HR) y Temperatura (°C).

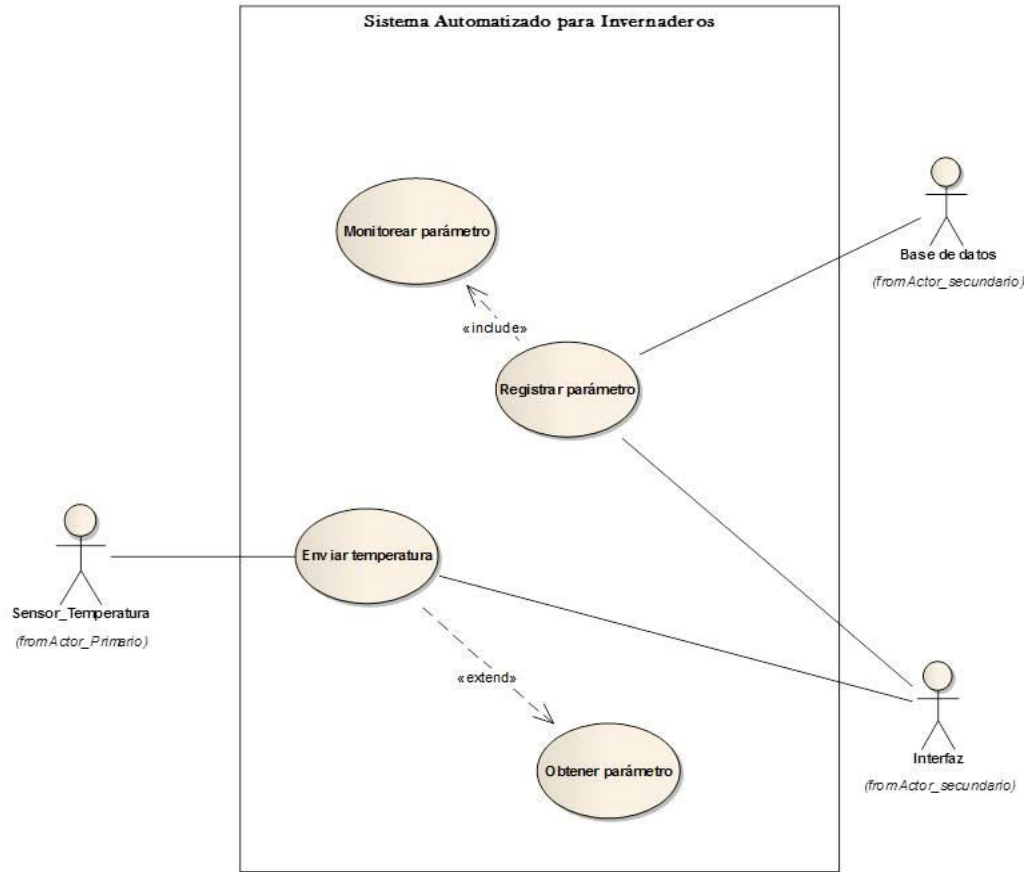
**1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

a) **Prueba de Funcionalidad del Sistema:** Se construyó el dispositivo para la adquisición de datos en campo, el cual se fundamenta en la obtención de información en tiempo real (toma de datos cada hora) mediante un micro controlador para posteriormente registrarlo en una base de datos (Figura 3.1 y Figura 3.2). Con estos datos se ha conseguido en una primera fase obtener un mapeo de la variables temperatura y humedad relativa y observar su comportamiento desde del mes de febrero y hasta la fecha.

El control de temperatura y humedad relativa son herramientas poderosas para la optimización del proceso del control del clima que redundará en la obtención de varias cosechas lechugas hidropónicas, una tras de otra.



**Figura 3.1 Caso de uso para obtención del parámetro de humedad Relativa.**

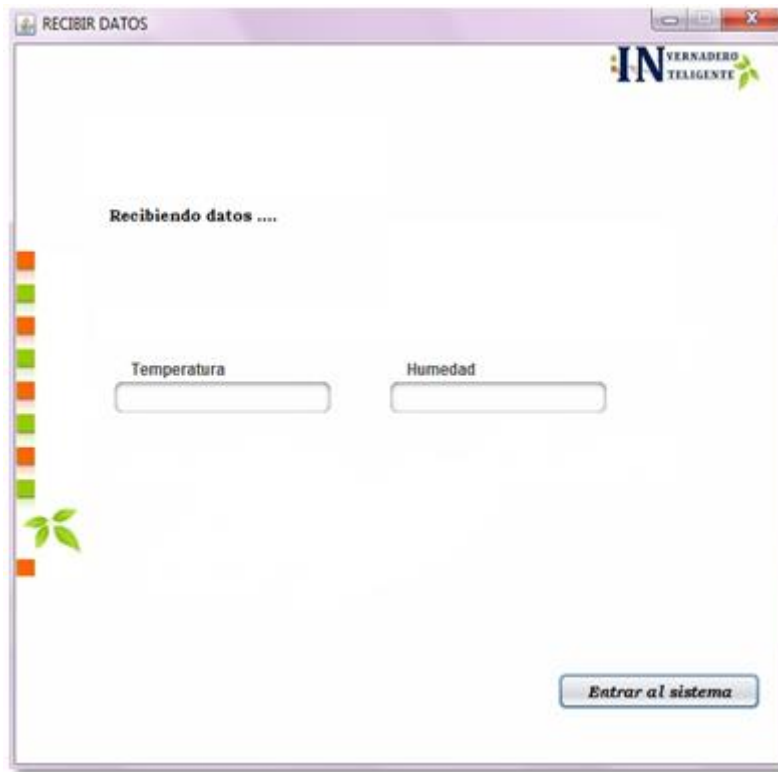


**Figura 3.2 Caso de uso para obtención del parámetro Temperatura.**

**b) Prueba al manejo de Datos del Sistema:** Se verificó el correcto funcionamiento del flujo de información que el sistema realiza cuando se guarda y actualiza la información en la base de datos, así como cuando se muestra dicha información a través de los gráficos que genera el sistema.

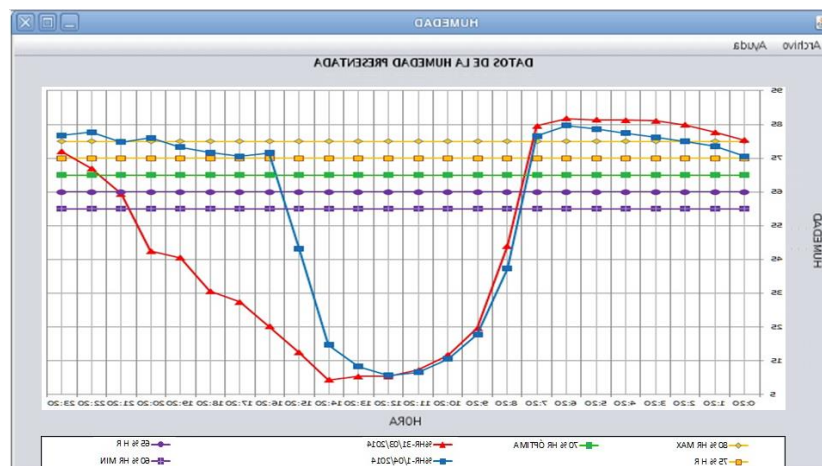
Esta prueba es de vital importancia, porque tiene que ver con la información que el sistema se encarga de gestionar. Se realizaron diferentes actividades dentro del sistema y una vez finalizada la actividad, se procedió a verificar en la base de datos que los cambios que se esperaba que el sistema realizara, realmente estuvieran plasmados en la información que en ese momento tenía acumulada la base de datos.

La recepción de los datos se hace a través de la interfaz gráfica encargada de recibir los parámetros en la base de datos como se muestra en la figura 3.3.



**3.3. Interfaz registro de datos.**

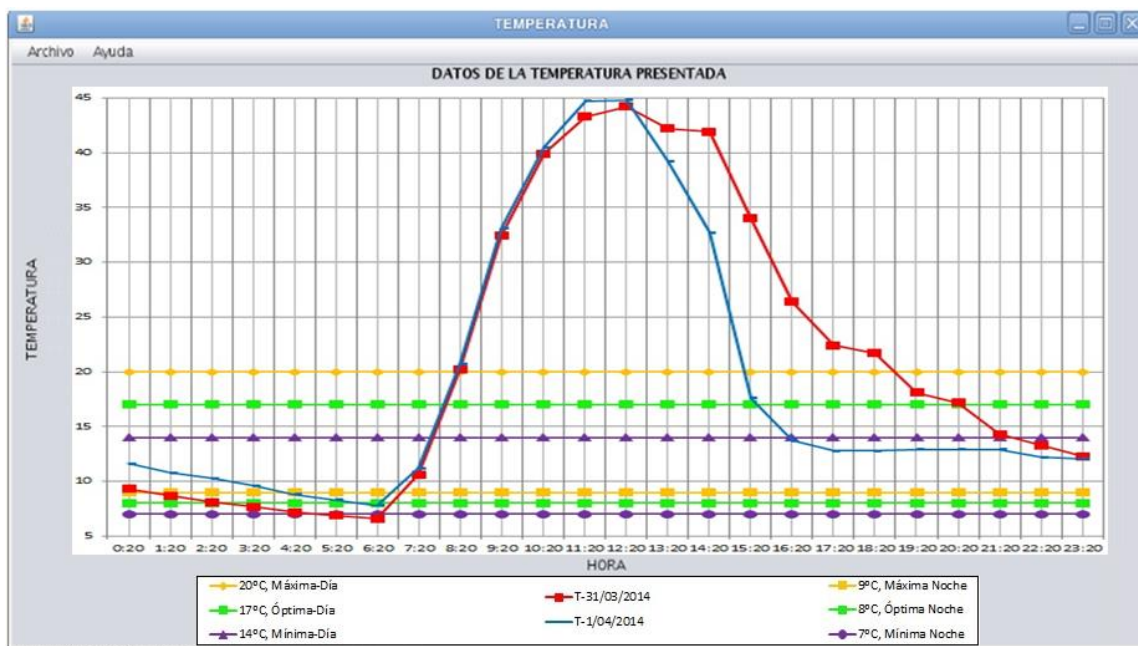
En las figuras 3.4 y 3.5 se presenta el perfil de Humedad relativa (%HR) y de temperatura (°C) respectivamente, la adquisición de datos en tiempo real se realizó cada hora. Se aprecia un comportamiento similar en los diferentes horarios de 2 días, lo cual sirve de base para la toma de decisiones en el control de estos parámetros, dentro del invernadero.



**Figura 3.4 Perfil de Humedad relativa (%HR).**

Los datos en color rojo corresponden al % de Humedad relativa tomada cada hora desde las 0:20 hrs a las 23:20 hrs del día 31 de marzo del año en curso y los datos en azul corresponden al % de Humedad relativa en tiempo igual pero del día 1º de abril, también del año en curso, aún sin control de éste parámetro ya que se está generando la base de datos para ver su comportamiento y de esta manera contemplar el equipo de enfriamiento-calefacción a emplear: Una cortina de agua en el domo exterior del invernadero, otro dispositivo para elevar las cortinas exteriores, una cortina de agua al interior del invernadero, un calefactor y ventiladores, entre otros<sup>5,9,10,11,12 y 13</sup>. Se tienen datos desde el mes de febrero a la fecha.

La bibliografía<sup>3,5,6,7,9,10,13,14 y 15</sup> establece un límite máximo de 80% de HR y un límite mínimo de 60% para algunos cultivos hidropónicos, por lo que se ha fijado un límite máximo de 75% de HR y un mínimo de 65% de HR con el fin de tener un rango de control. El % de HR óptimo esta fijado en 70%.



**Figura 3.5 Perfil de Temperatura (°C).**

Los datos en color rojo corresponden a la Temperatura en °C tomada cada hora desde las 0:20 hrs a las 23:20 hrs del día 31 de marzo del año en curso y los datos en azul corresponden a la Temperatura en °C en tiempo igual pero del día 1º de abril, también del año en curso, aún sin control de éste parámetro ya que se está generando la base de datos para ver su comportamiento y de esta manera contemplar el equipo de enfriamiento-calefacción a emplear: Una cortina de agua en el domo exterior del invernadero, otro dispositivo para elevar las cortinas exteriores, una cortina de agua al interior del invernadero, un calefactor y ventiladores, entre otros<sup>5,9,10,11,12 y 13</sup>. Se tienen datos desde el mes de febrero a la fecha.

La bibliografía<sup>3,5,6,7,9,10,13,14 y 15</sup> establece para algunos cultivos hidropónicos un límite máximo letal menor a 40°C, la temperatura máxima biológica de 30°C, la mínima biológica de 6°C y la mínima letal de - 6°C.

La temperatura para algunos cultivos hidropónicos en el día debe estar en un rango diferente al de la noche por lo que se ha establecido que durante el día límite máximo será de 20°C, una



temperatura óptima de 17°C y una temperatura mínima de 14°C. En la noche la máxima será de 9°C, la óptima de 8°C y la mínima de 7°C.

## 2. CONCLUSIONES.

El desarrollo de software en los últimos años se ha vuelto una actividad cada vez más recurrente para solucionar problemas generalmente relacionados con la sistematización de actividades y reducción de ejecución de las mismas, por lo que el desarrollo tecnológico no hubiera sido el mismo de no ser por los sistemas de software.

*En este proyecto, la medición de humedad relativa (%HR) y temperatura (°C) al interior del invernadero, mediante sensores-micro procesador-ordenador a nivel experimental se fundamenta en la adquisición de datos en tiempo real, descartando el error humano, y además se trabaja en lapsos de tiempo rigurosos.*

*El histórico de humedad relativa y temperatura ayuda a comprender el comportamiento al interior del invernadero. El control de estos parámetros son una herramienta poderosa para optimizar el proceso de producción de lechugas hidropónicas y algunas otras plantas.*

*La innovación de este proyecto, es la obtención de datos exactos que serán utilizados para la generación de estadísticas y tendencias de comportamiento para la toma de decisiones. La computadora recibe y recibirá en tiempo real las condiciones que imperan al interior del invernadero y controlará humedad relativa y temperatura dentro de los intervalos establecidos para la producción de cultivos hidropónicos.*

## REFERENCIAS.

1. Álvarez, M. *Hidroponía*, (Ed. Albatros, Buenos Aires), 112, (2011).
2. Barbado, J. *Hidroponía*, (Ed. Albatros, Buenos Aires), 190, (2009).
3. Coljap-Industria Agroquímica, S.A. *Aprende fácil Cultivos Hidroponicos*, (Ed. Culturales VER-LTDA, Santa Fé de Bogota), 520, (1991).
4. Cooper, A. *The ABC of NFT*, (Ed. Casper, Narrabeen), 171, (1979).
5. Kamp, P & Timmerman, G. J. *Computerised Environmental Control in Greenhouses*, (Ed. PTC+,The Netherlands), 267, (2003).
6. Morgan, I. *El cultivo hidropónico de lechugas*, (Ed. Casper, Narrabeen), 111, (1999).
7. Rodríguez Delfín, A., Chang La Rosa, M., Hoyos Rojas, M., Falcón Gutiérrez, F. *Manual Práctico de Hidroponía*, Universidad Nacional Agraria La Molina, (Ed. Mekanobooks E.I.R.L., Lima), 100, (2004).
8. Rodríguez Samperio, A. C. *Cómo producir con facilidad, rapidez y óptimos resultados Forraje Verde Hidropónico*, (Ed. Diana, México, D.F.), 113, (2003).
9. Rodríguez Samperio, G. y Rodríguez Samperio, A. C. *Manual de invernaderos. Principios y bases*, (Asociación Hidroponica Mexicana, Toluca, México), 170, (2008).
10. Samperio Ruiz, G. *Hidroponia para Dummies*, (Ed. Planeta Mexicana, S.A., México, D.F.), 328, (2012).
11. Samperio Ruiz, G. *Hidroponia Fácil para Jóvenes (y no tan jóvenes)*, (Ed. Planeta Mexicana, S.A., México, D.F.), 142, (2008).

12. Sommerville, Ian. *Ingeniería del software*, 9ª. Edición (Ed. Pearson, Madrid, España), 771, (2011).
13. Samperio Ruiz, G. *Un paso más en la Hidroponia*, (Ed. Diana, México, D.F.), 327, (2004).
14. Samperio Ruiz, G. *Hidroponia Comercial*, (Ed. Diana, México, D.F.), 196, (1999).
15. Samperio Ruiz, G. *Hidroponia Básica*, (Ed. Diana, México, D.F.), 153, (1997).

### 4.3 MEDICAL SMART.

**Autores:** Mauro Sánchez Sánchez, Rodrigo Bautista Fontes, Víctor Manuel Gutiérrez Albarrán, Crystian Anaya Franco, Jesus Giovanni Aguirre Álvarez, Bany Sabel Hernández Cardona, Sergio Díaz Zagal. **Institución:** Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico Fraccionamiento La Virgen Metepec, México, C.P. 52149. **Correos Electrónicos:** mss\_ms2@hotmail.com, rodrigo.b.f@live.com.mx, levistore.save.patmos@gmail.com, crys.anaya@gmail.com, giovanni.fi05@gmail.com, banyshc@yahoo.com, sdiaz@ittoluca.edu.mx. **Áreas:** Ingeniería de Software y Computación.

#### RESUMEN.

En un centro médico, la organización y gestión de pacientes, las citas, los médicos, los historiales médicos, la información anterior sobre citas y medicamentos recetados, son aspectos esenciales para el buen funcionamiento del mismo, de igual manera el acceso rápido a esta información; el pronto acceso a la información propicia que el servicio brindado sea de mejor calidad y en ciertas ocasiones este factor puede reducir el tiempo de la consulta médica, y teniendo esta información de una forma rápida, los doctores pueden dar diagnósticos, rápidamente.

Con base en las razones presentadas anteriormente, surge Medical smart, que busca brindar un servicio que soporte estas necesidades y brinde más opciones de gestión, como la llamada inteligente y el recordatorio de citas por medio de mensajes SMS al celular del paciente.

#### ABSTRACT.

In a medical center, the organization and management of patients, appointments, medical records, previous information about appointments and prescription drugs, are essentials for a good operation; fast access to information causes that the service provided can be higher quality and sometimes this factor can reduce the time of the medical consultation, and having this information in a fast time, doctors can give diagnosis, quickly.

Based on the reasons presented above, Medical smart arises, which seeks to provide a service that supports these needs and provide more management options, such as intelligent call and appointment reminders by SMS messages to the patient cellphone.

#### 1.- INTRODUCCIÓN.

##### 1.1- Antecedentes

En la actualidad cada vez más y más la internet en conjunto con la web, va siendo una parte importante en la vida de las personas, ya que brinda información y comunicación de una manera rápida y portátil a sus usuarios, desde una computadora, laptop o cualquier dispositivo que tenga acceso a internet; les permite estar comunicadas de una forma dinámica y esto ha tenido un gran impacto en cómo la gente vive y se comunica hoy en día.

Estas nuevas tecnologías se han ido implementando en distintas empresas u organizaciones para poder hacer más eficiente la administración de información, mejorar y aumentar la rapidez con que un mensaje le llega a los empleados, compañeros o clientes, esto a razón de aumentar el desempeño de la empresa u organización.

En el presente trabajo se concentrará en cómo esta nueva tecnología se puede aplicar en un centro de salud, para gestionar la información de sus doctores y pacientes, mejorar la comunicación que se tiene para las citas y brindar herramientas para mejorar acceder de una forma rápida al historial médico del paciente.

### **1.2- Definición del problema**

De forma creciente, los centros de salud, se ven sometidos a diferentes retos que afectan la eficiencia de su servicio, como lo son la lentitud al acceso de historiales médicos, el seguimiento de tratamientos y la falta de comunicación que existe entre el paciente y el médico en cuanto a la asignación, cancelación o modificación de las citas, tratamientos y medicamentos asignados, además de que, para solicitar una cita, el usuario tiene que ir directamente al centro de salud y esto causa molestias y pérdida de tiempo.

La falta de organización de los factores antes mencionados produce un índice de desaprovechamiento del tiempo tanto del doctor como del paciente, generando insatisfacción por parte de los pacientes y esto puede provocar que dejen la asistencia médica, lo cual representaría una pérdida de ingresos para el centro médico y una reputación de mal servicio.

### **1.3- Justificación**

Medical smart planea satisfacer estas necesidades brindando un servicio por medio de una aplicación web que les permita a los médicos y a los pacientes tener acceso a información que les será útil para conocer la hora de sus citas, sus tratamientos, su historial médico, por mencionar algunos y, además, se proporcionarán herramientas como las llamadas inteligentes, notificaciones vía SMS y correo electrónico para aumentar la comunicación que existe entre el médico y sus pacientes.

### **2.- ¿Qué es Medical smart?**

Medical smart es una aplicación web que proporciona un servicio para la administración de las consultas, historiales clínicos de los pacientes y acceso rápido a la información desde cualquier dispositivo que cuente con acceso a internet, de tal modo que el doctor podrá tener acceso a esta información en cualquier momento y lugar, de una manera más eficiente, sin papeleo y más interactiva, ya que el paciente podrá revisar también información que le sea importante, por ejemplo, ver los datos de su última cita, cuándo es su próxima cita, entre otras.

Medical smart ofrece las siguientes características:

- Notificaciones SMS y por correo.
- Historial médico virtual.
- Agenda virtual de citas.
- Notas de la cita para el doctor.
- Llamada inteligente.

Todo esto manejado por una aplicación web, que de una manera sencilla y gráfica, le permita al usuario acceder a los apartados mencionados anteriormente dependiendo si es un doctor o un paciente, en la figura 1 se observa la imagen de Medical smart.



Figura 1. Imagen de presentación.

### 3.1.- ¿Cómo funciona?

Medical smart se divide en dos módulos, los cuales son:

- Doctor
- Paciente

#### 3.1.1 Doctor

A continuación se describirán las opciones que tiene el doctor al acceder a Medical smart.

El doctor ingresa al sistema mediante un nombre de usuario y contraseña, como se puede observar en la figura 2.

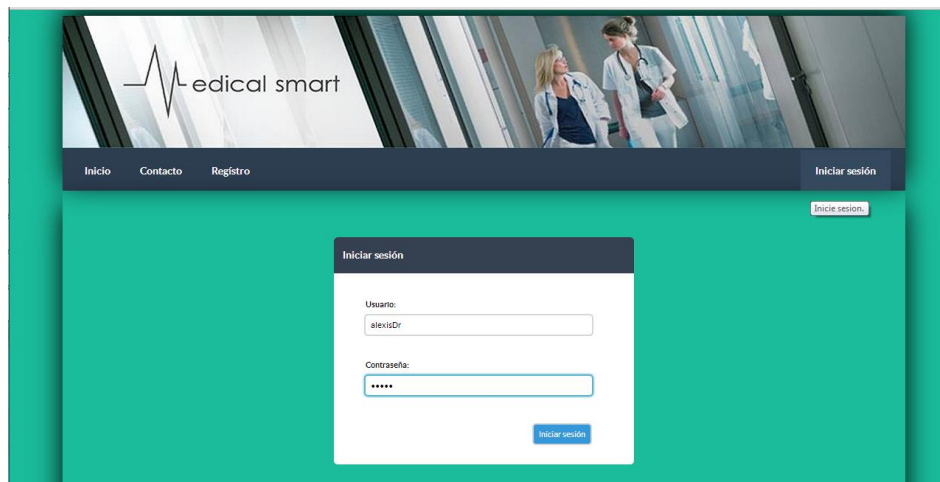
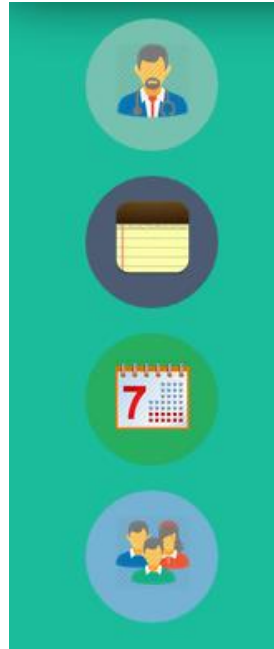
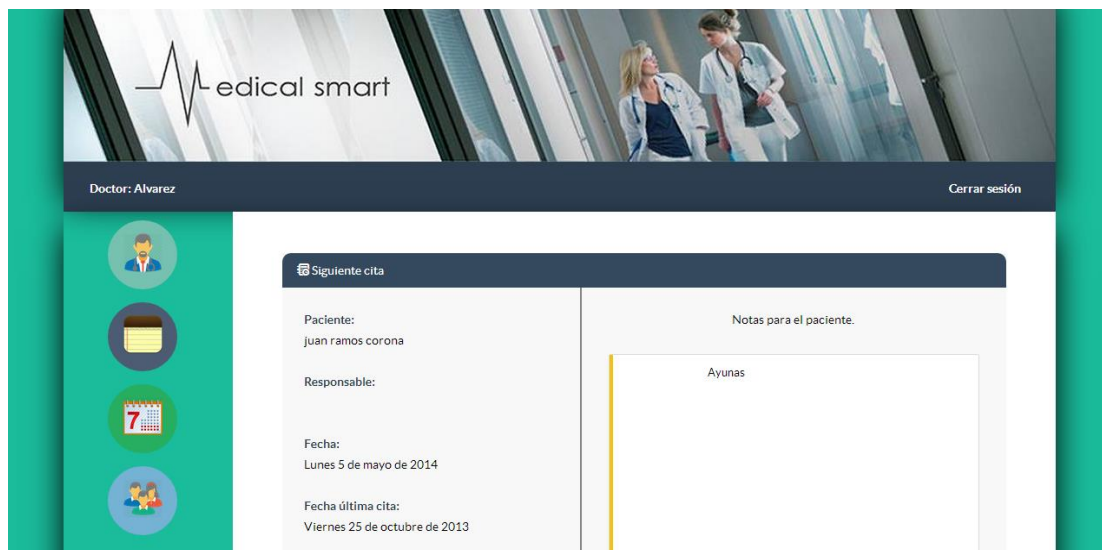


Figura 2. Ingreso de un doctor al sistema.

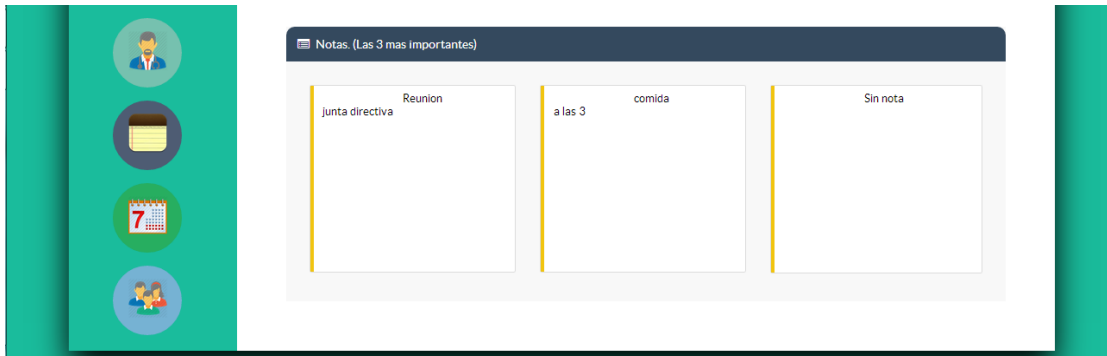
Cuando haya ingresado al sistema verá la pantalla de inicio que se puede observar en la figura 4 y 5, en la cual verá la información de su próxima cita y la nota relacionada con la misma y en la parte final las tres notas más importantes que tenga, además en la parte izquierda están las secciones para dirigirse a ver la página de inicio, notas, calendario virtual y pacientes, estos iconos se observan en la figura 3.



**Figura 3. Iconos del menú.**

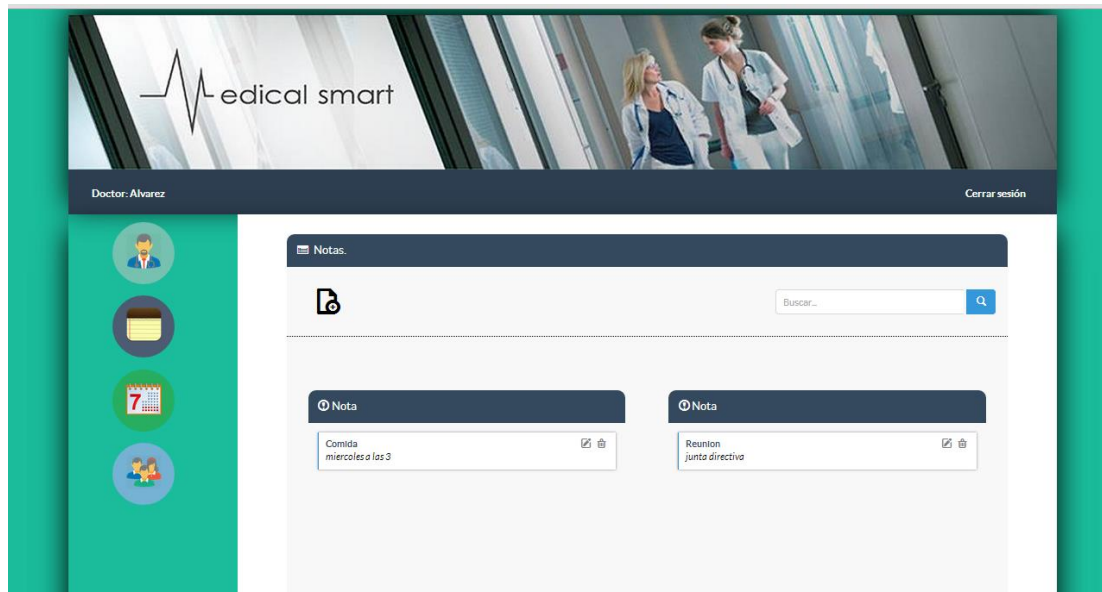


**Figura 4. Pantalla inicial del doctor, siguiente cita.**



**Figura 5. Pantalla inicial del doctor, notas.**

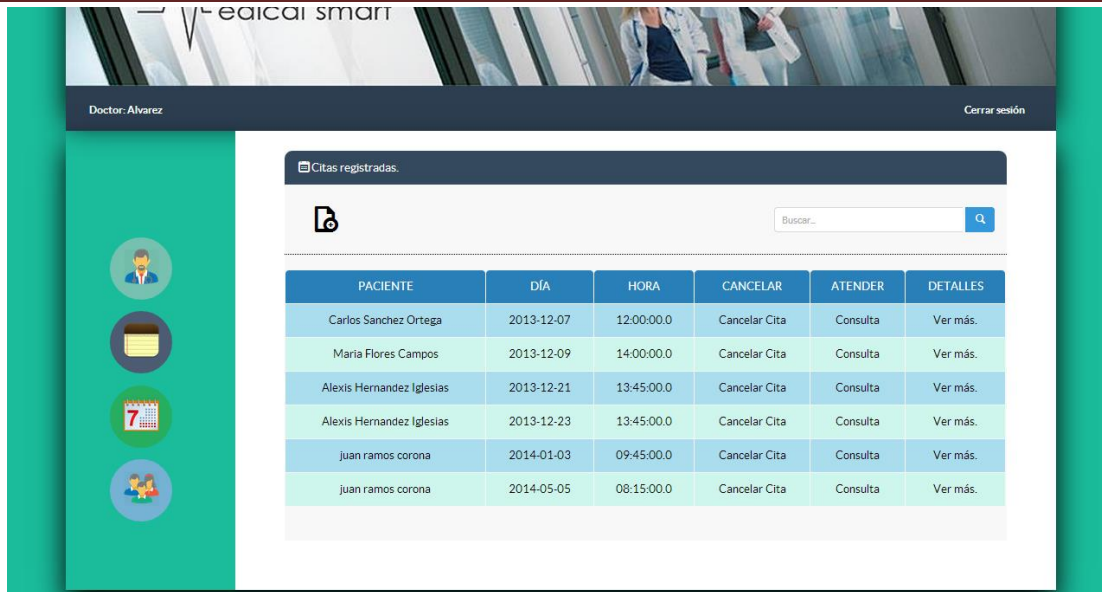
Si el doctor desea ver sus notas, debe dar clic en el segundo icono que tiene una imagen de bloc amarillo, aquí podrá modificar, eliminar o buscar sus notas, verá la siguiente pantalla en donde podrá realizar las opciones deseadas como se puede ver en la figura 6.



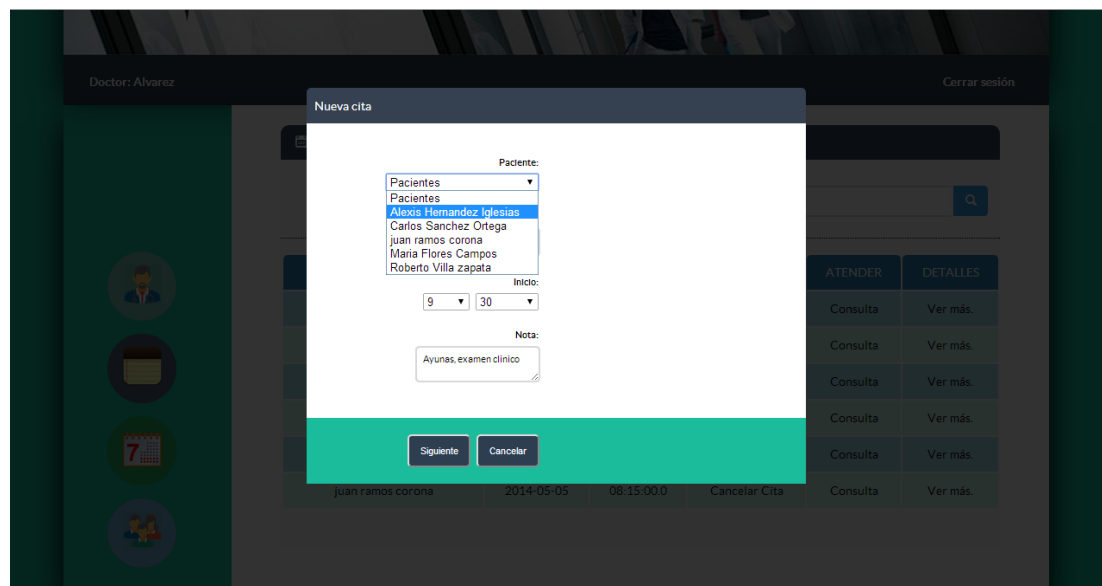
**Figura 6. Pantalla del doctor sección notas.**

Si el doctor desea ver su calendario virtual, debe dar clic en el tercer icono que tiene una imagen de un calendario, aquí podrá ver las citas que tiene actualmente, como se ve en la figura 7, agregar más citas, cancelar citas, modificarlas o buscar una cita en específico como se observa en la figura 8.

Si el doctor cancela o modifica una cita se le notificará al paciente por medio de un correo electrónico y un mensaje de texto a su celular.



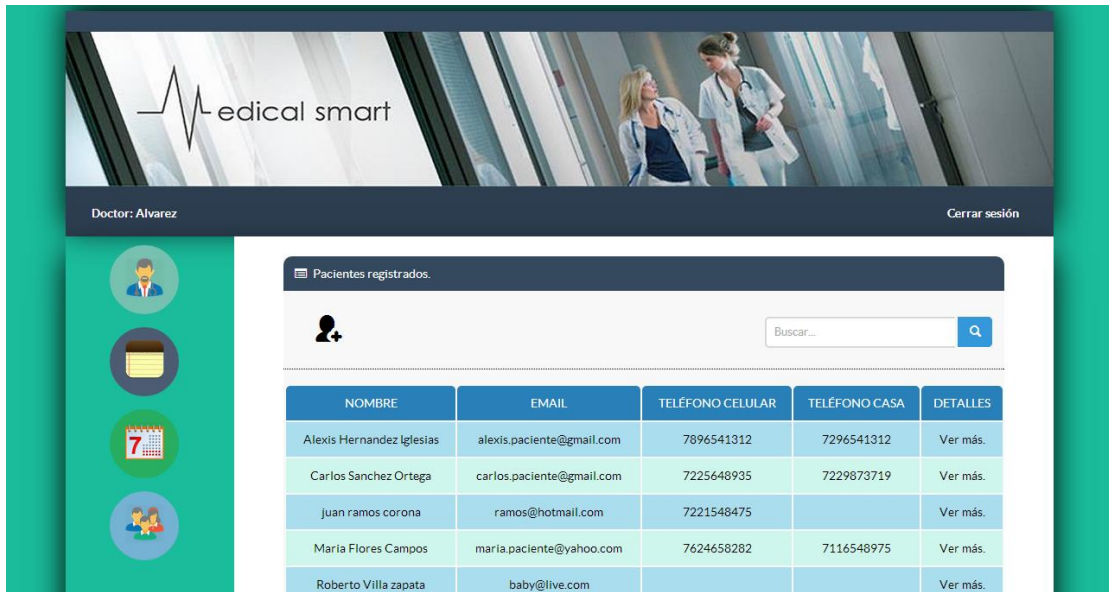
**Figura 7. Pantalla del doctor sección calendario virtual.**



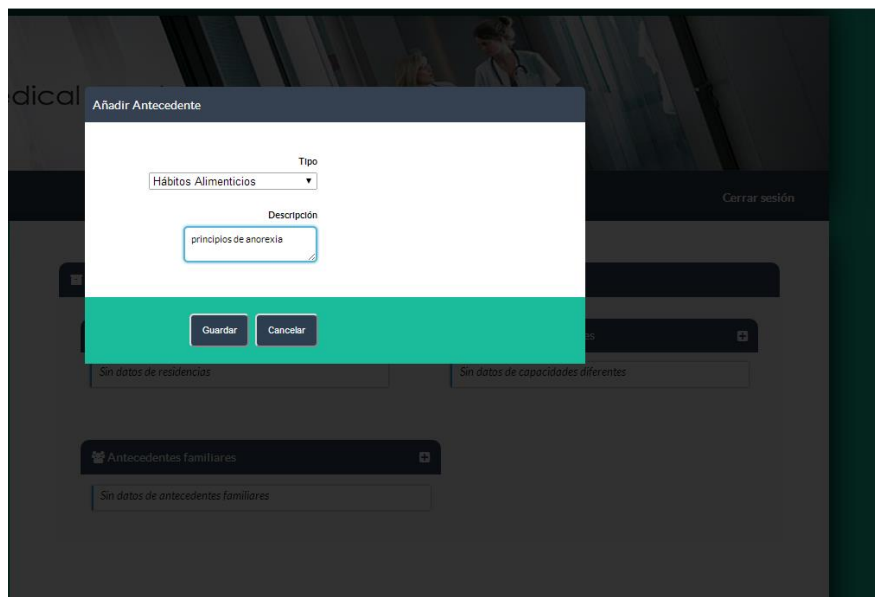
**Figura 8. Pantalla del doctor sección calendario virtual, agregar cita.**

Finalmente, si el doctor desea ver la lista de sus pacientes y su información debe dar clic en el cuarto icono que tiene una imagen de personas, aquí el doctor podrá ver una lista con todos sus pacientes y una pequeña descripción de su información, agregar nuevos pacientes, ver el historial médico de los pacientes y agregar antecedentes a cada paciente como se observa en la figura 9 y 10.





**Figura 9. Pantalla del doctor sección pacientes.**



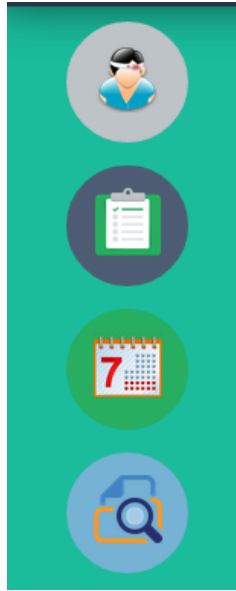
**Figura 10. Pantalla del doctor sección pacientes, agregar antecedentes.**

Smart Call de Medical smart ofrece un acceso rápido a la información del paciente cuando éste le hace una llamada a su consultorio, es decir, cuando entra una llamada se mostrara en pantalla que hay una llamada entrante y el doctor decidirá si la toma, si la toma de desplegará de una manera accesible la información más importante de ese paciente, para que el médico atienda de manera eficiente a dicho paciente. Smart call únicamente funciona con un módem que proporcionará la el intercambio de llamada de la línea telefónica con la PC donde se encuentre operando Medical Smart.

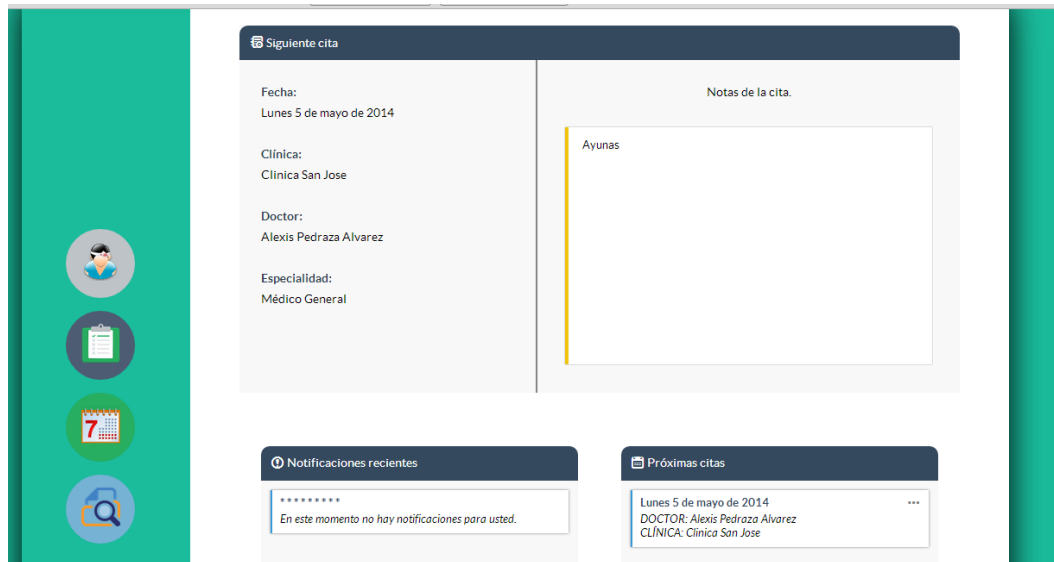
### 3.1.1 Paciente

De igual manera un paciente ingresará al sistema por medio de un nombre de usuario y una contraseña como se vio en la figura 2.

Su pantalla inicial mostrará la información de su siguiente cita junto con la nota que el doctor agregó a la misma, sus notificaciones recientes y la información de su próxima cita y a la izquierda estarán las secciones de página de inicio, información de su cita pasada, calendario virtual y buscar doctor, estos iconos se observan en la figura 11 y la pantalla principal en la figura 12.



**Figura 11. Iconos del menú.**

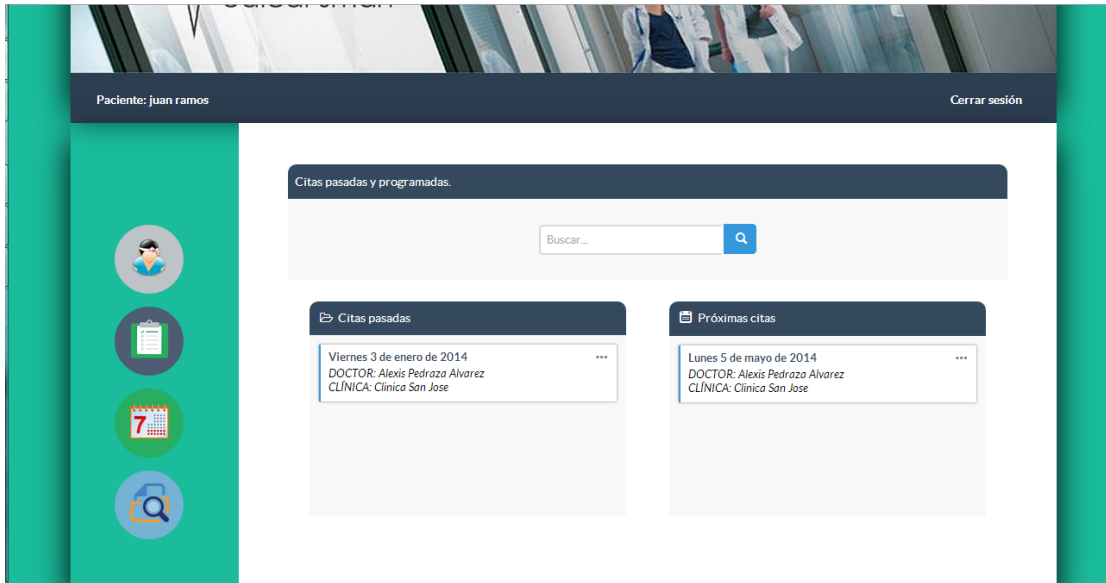


**Figura 12. Pantalla inicial del paciente.**

Si el paciente desea ver la información de su última cita, debe dar clic en el segundo icono que tiene una imagen de una hoja, aquí verá toda la información de la cita, diagnósticos, notas y medicamentos.

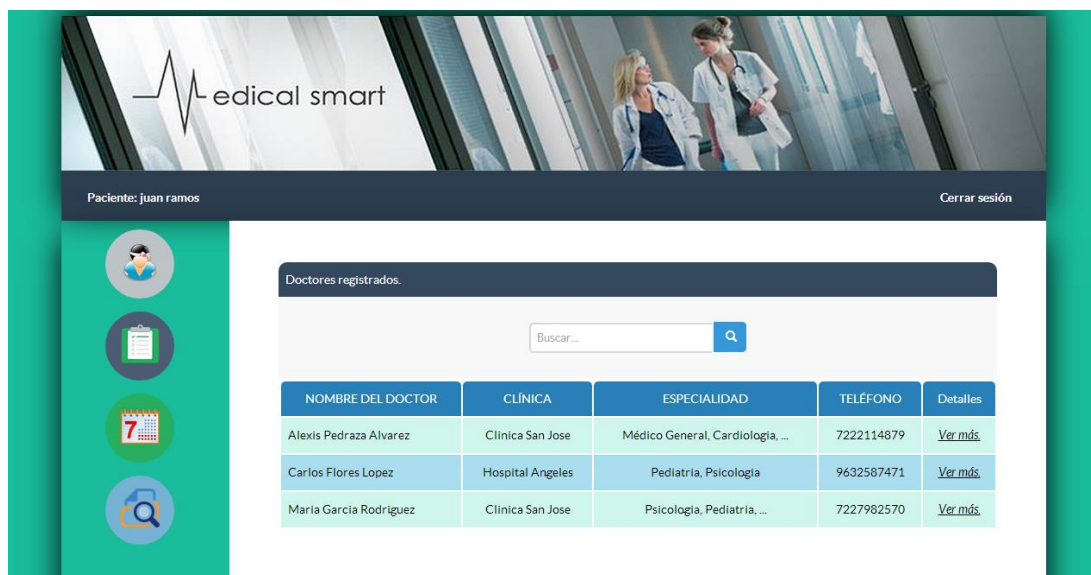
Si el paciente desea ver su calendario virtual, debe dar clic en el tercer icono que tiene la imagen de un calendario, aquí podrá ver las citas que tiene programadas y las citas pasadas que ha tenido, también tendrá la opción de cancelar una cita que tiene programada, como se observa en la figura 13.

Si una cita es cancelada se le notificará al doctor por medio de un correo electrónico y un mensaje de texto a su teléfono celular.



**Figura 13. Pantalla del paciente sección calendario virtual.**

Finalmente, si el paciente desea buscar a un doctor, debe dar clic en el cuarto icono que tiene una imagen de una lupa y una hoja, aquí podrá buscar a un doctor de entre una lista de los doctores de Medical smart, especializados en distintas áreas, y al mismo tiempo ver su correo y su número telefónico para que pueda contactarlo, esto se puede observar en la figura 14.



**Figura 14. Pantalla del paciente sección buscar doctor.**

#### **4- CONCLUSIÓN.**

La aplicación web Medical Smart satisface las necesidades de organización, comunicación y acceso rápido y confiable a la información que existen entre un centro médico y sus pacientes.

La mejora de la comunicación y organización se ve reflejada en que inmediatamente cuando se hace una actualización de citas, por ejemplo, se envía un mensaje de texto y un mensaje de correo electrónico tanto al paciente como al doctor, informándoles el cambio realizado.

La portabilidad de la aplicación ofrece un acceso casi inmediato desde cualquier lugar con acceso a internet, esto disminuye tanto el tiempo de espera del paciente como del doctor en cuestión, ya que para organizar una cita no es indispensable que las partes involucradas estén presentes físicamente en el mismo lugar.

Mejorar la organización previene también la cantidad de recursos materiales (papeles), utilizados para el expediente del paciente.

#### **4.4 SISTEMA PARA SEGUIMIENTO PERSONALIZADO EN EL CONTROL DE RUTINAS DE UN GIMNASIO.**

Ing. Rosa Elvira Moreno Ramírez, Gabriel Mercado Iturbe, Christian Adrian Colín Alfaro,  
Evelyn Anaya García, Rodrigo Gutiérrez Serrano  
Instituto Tecnológico de Toluca. Av. Tecnológico S/N, Fraccionamiento La Virgen, C.P.  
52140, Metepec, Estado de México, México

[remrll2@yahoo.com.mx](mailto:remrll2@yahoo.com.mx), [gabomercado1991@gmail.com](mailto:gabomercado1991@gmail.com), [chris\\_kapy\\_9@hotmail.com](mailto:chris_kapy_9@hotmail.com),  
[evy\\_005@hotmail.com](mailto:evy_005@hotmail.com), [royguser@hotmail.com](mailto:royguser@hotmail.com)

#### **RESUMEN.**

El Sistema para Seguimiento Personalizado en el Control de Rutinas de un Gimnasio es un software para gimnasios y centros deportivos que ofrecen innovación y calidad en sus servicios, haciendo cambios significativos en el seguimiento y atención a sus clientes de una forma más detallada y personalizada.

Este sistema considera las operaciones principales de un gimnasio para que pueda ser de gran ayuda en la administración del negocio, incluyendo un módulo donde el usuario del gimnasio podrá observar su perfil (edad, peso, talla, presión, ritmo cardiaco, nivel de entrenamiento) así como las próximas rutinas a realizar en las siguientes sesiones (éstas podrán ser visualizadas como gifs donde se muestra con detalle cada ejercicio así como el tiempo y el día para el que están planeados), también cuenta con un portal web dedicado al seguimiento personal de rutinas del usuario del gimnasio contando con una opción para que el usuario tenga acceso a un servicio médico en tiempo real mediante un dispositivo móvil en caso de sufrir algún percance o complicaciones físicas derivadas de las rutinas a las que esté dedicado.

#### **ABSTRACT.**

“ Sistema para Seguimiento Personalizado en el Control de Rutinas de un Gimnasio” is a software for gyms and sport centres that offer innovation and quality in its services, making significant changes in the follow-up and attention to its customers in a more detailed and personalized way.

This system considers the main operations of the gym so it can be helpful in managing the business, including a module where the user of the gym you can see your profile (age, weight, size, pressure, heart rate, training level) as well as the upcoming routines to be carried out in the following sessions (these can be viewed as gifs showing in detail each year as well as the time and day for which they are planned)also has a web site dedicated to personal monitoring of the user of the gym routines with an option so that the user has access to a health service in real time using a mobile device in case of a mishap or physical complications.

#### **1. INTRODUCCIÓN.**

El ritmo de vida que se estila actualmente, ha generado que las personas acudan a centros de entrenamiento llamados gimnasios, para ejercitarse y mantenerse en buen estado de salud, además de lucir un cuerpo estético, por lo que los servicios que prestan estos centros deben ser de mejor calidad, atendiendo en forma personalizada los requerimientos de cada cliente.

Aunque ya existe en el mercado software de control y administración de estos lugares, la mayoría de los sistemas utilizados van más bien enfocados a la administración monetaria del gimnasio y no a los clientes que lo usan.

El producto de este proyecto ofrece la ventaja de llevar en forma personalizada el seguimiento para control de las rutinas aplicadas para cada usuario en base a sus propias necesidades, incrementando la funcionalidad y eficiencia de los procesos y servicios de los gimnasios.

WORLD GYM es un software pensado para todas aquellas personas que sienten el gusto por hacer ejercicio y para los que quieren cambiar el rumbo de su vida a uno más saludable y no están 100% seguros de cómo hacerlo.

El sistema contará con dos módulos: una aplicación de escritorio, la cual será usada solamente por personal del gimnasio y una plataforma web, la cual será utilizada por los clientes con opción a adquirir la versión para dispositivo móvil.

Existe una área potencial para el desarrollo mercadológico de este te proyecto, ya que en cualquier gimnasio, ya sea público o privado, podrá ser implementado el sistema por estar especializado en esa área.

Se realizó el análisis visitando varios gimnasios, entre estos se encuentra “Sport Plaza” ubicado en la plaza de Metepec, del cual el entrenador proporcionó información necesaria para el desarrollo del proyecto y las utilidades que podrá contener el software.

La competencia que podría tener este sistema, es reducida ya que pocas aplicaciones existen para este tipo de necesidades. A continuación se presentaran algunas de los programas que están en esta área junto con sus ventajas y desventajas.

#### **GYM Master Lite**

Esta página web es bien vista por los usuarios ya que es muy útil para los gimnasios, sin embargo, el mayor defecto que puede tener es que se enfoca mucho en la administración del mismo, es decir, está muy enfocada en que los clientes paguen, y no toma en cuenta lo que realmente necesitan los socios que es un seguimiento de su salud y del seguimiento con cada uno de ellos mediante los avances que ha logrado obtener con énfasis en su índice de masa corporal (IMC) si ha surgido un avance con el buen funcionamiento de las máquinas y el trabajo de las rutinas en las mismas y la forma correcta de utilizar cualquier aparato para evitar lesiones y la desacreditación del mismo para mayor ingresos.

Es muy útil para administrar un gimnasio pero no para mantener a los clientes en forma.

#### **Ultimate GYM.**

Sistema usado normalmente en gimnasios de alto nivel económico, contiene diversas rutinas y ejemplos ilustrados para su mejor comprensión. Entre las desventajas encontramos que los ejemplos ilustrados son estáticos, es decir, las imágenes solo muestran las posiciones iniciales y finales de los ejercicios, no es como se debe hacer correctamente, sin mencionar que no contiene un registro del progreso hecho por el usuario.

#### **GYM UP**

Al igual que el primer ejemplo, este programa está hecho principalmente para el registro y administración de usuarios, cuenta con registro del último ingreso y de cuánto tiempo lleva dentro del gimnasio, sin embargo, no dice siquiera que tipo de rutinas ha hecho o en que ha mejorado.

#### **Gimnasio Workout**

Software especializado en poner rutinas para gimnasio cuenta con cronometro, lista larga de ejercicios, contador de calorías perdidas y medidor de repeticiones. Dentro de las desventajas encontramos que hace las rutinas en general, no especializadas para cada usuario, el contador de repeticiones es manual y no cuenta con ejemplos de cada ejercicio.

Las ventajas principales con las que cuenta **WORLD GYM** son:

- Ejemplos ilustrados y animados de rutinas así como videos de cómo realizar cada una de ellas
- Rutinas adaptadas para cada usuario según su índice de masa corporal (IMC)
- seguimiento de los instructores subiendo al portal web información de avances de los socios y mediante ello updates de rutinas semanales.
- Se puede acceder desde cualquier computadora o celular y obtener nuestros servicios

WORLD GYM no se encargara de suplir al instructor, solamente será una herramienta de ayuda para los usuarios que quieran mejorar su estilo de vida y su salud.

En conclusión, WORLD GYM puede entrar en cualquier tipo de gimnasio, ya que contiene ejercicios básicos y sencillos con ejemplos explícitos para hacerlos de la mejor manera, el mercado es muy amplio y dispuesto a varios cambios por lo tanto si es un sistema viable y útil en esta época.

## **2. METODOLOGÍA.**

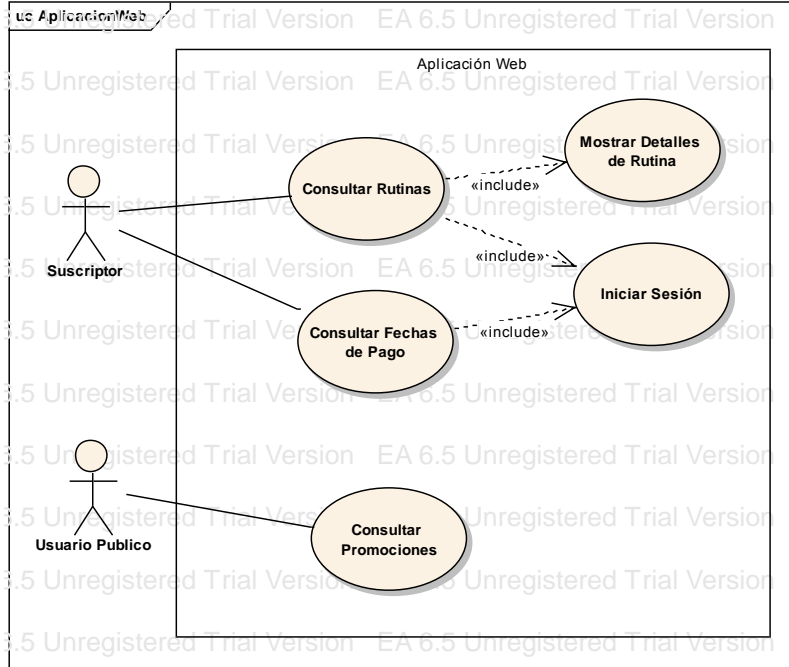
Este proyecto está basado en la metodología de desarrollo ágil Scrum, ya que es un proceso en el que se aplican de manera regular un conjunto de buenas prácticas para trabajar colaborativamente, en equipo, y obtener el mejor resultado posible de un proyecto. Estas prácticas se apoyan unas a otras y su selección tiene origen en un estudio de la manera de trabajar de equipos altamente productivos.

En Scrum se realizan entregas parciales y regulares del producto final, priorizadas por el beneficio que aportan al receptor del proyecto. Por ello, Scrum está especialmente indicado para proyectos en entornos complejos, donde se necesita obtener resultados inmediatos, donde los requisitos son cambiantes o poco definidos, donde la innovación, la competitividad, la flexibilidad y la productividad son fundamentales.

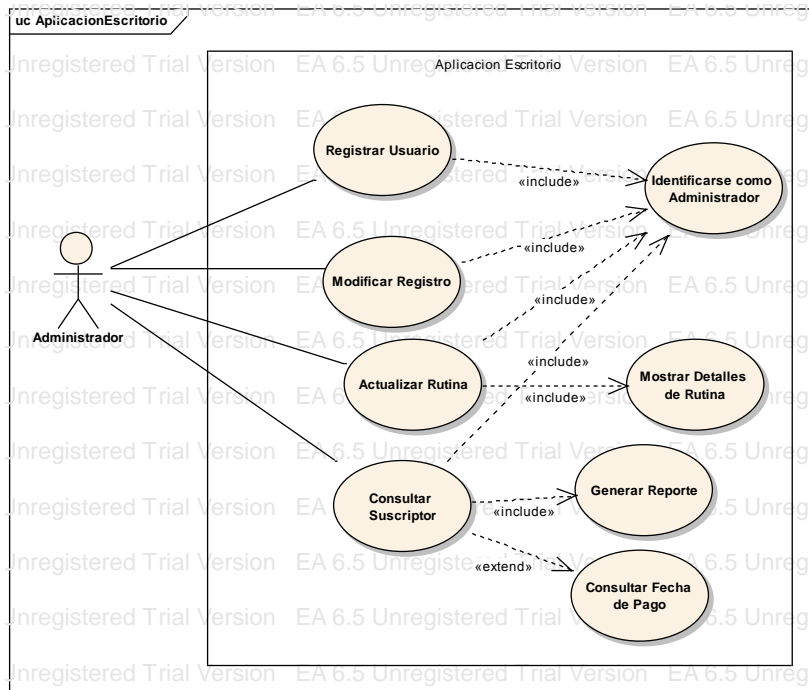
Scrum también se utiliza para resolver situaciones en que no se está entregando al cliente lo que necesita, cuando las entregas se alargan demasiado, los costes se disparan o la calidad no es aceptable, cuando se necesita capacidad de reacción ante la competencia, cuando la moral de los equipos es baja y la rotación alta, cuando es necesario identificar y solucionar ineficiencias sistemáticamente o cuando se quiere trabajar utilizando un proceso especializado en el desarrollo de producto [2].

El análisis de requerimientos esta basado en UML ya que es un lenguaje gráfico que nos permite visualizar, especificar, construir y documentar el sistema [3].

A continuación se presentan los diagramas UML que describen la funcionalidad del sistema.

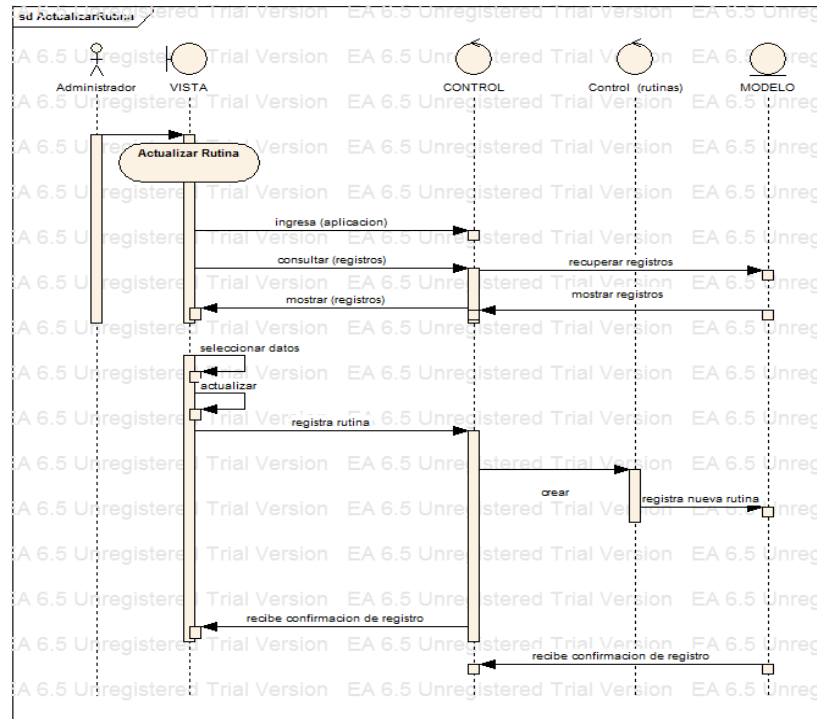


**Figura 2.1. Caso de Uso General de la Aplicación Web.**

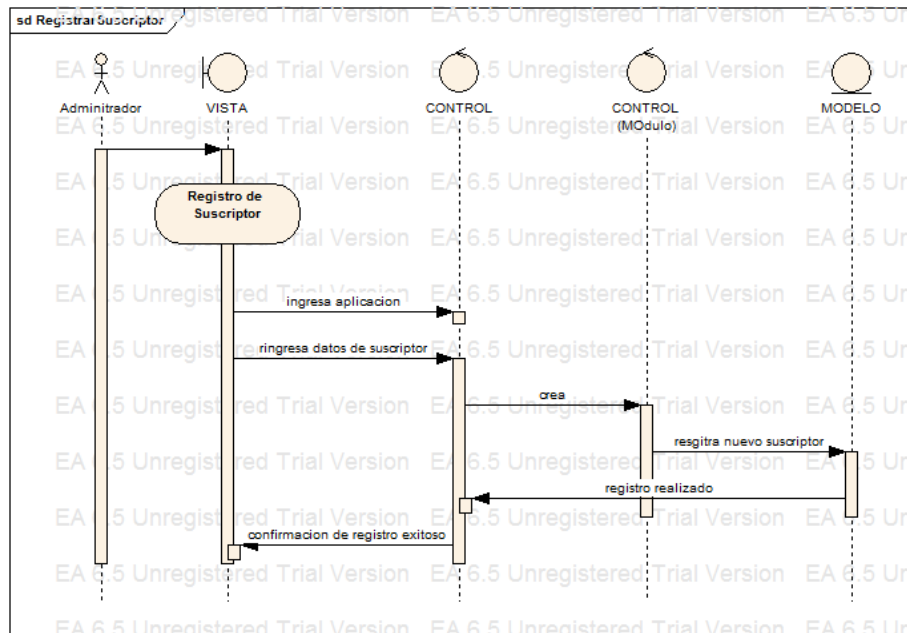


**Figura 2.2. Caso de Uso General de la Aplicación de Escritorio.**

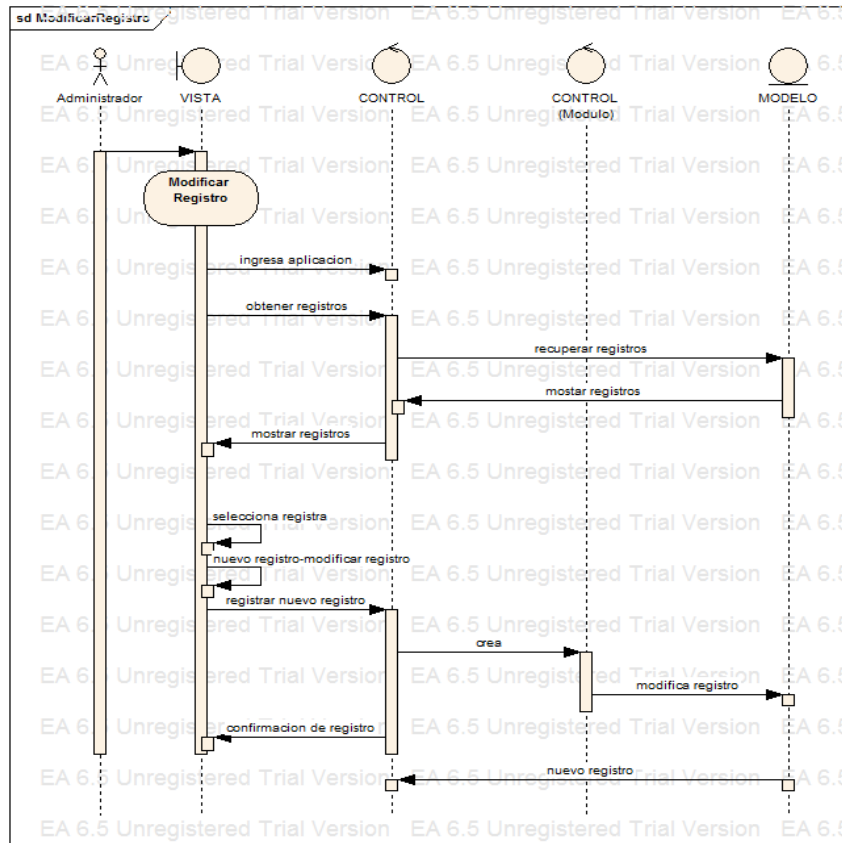




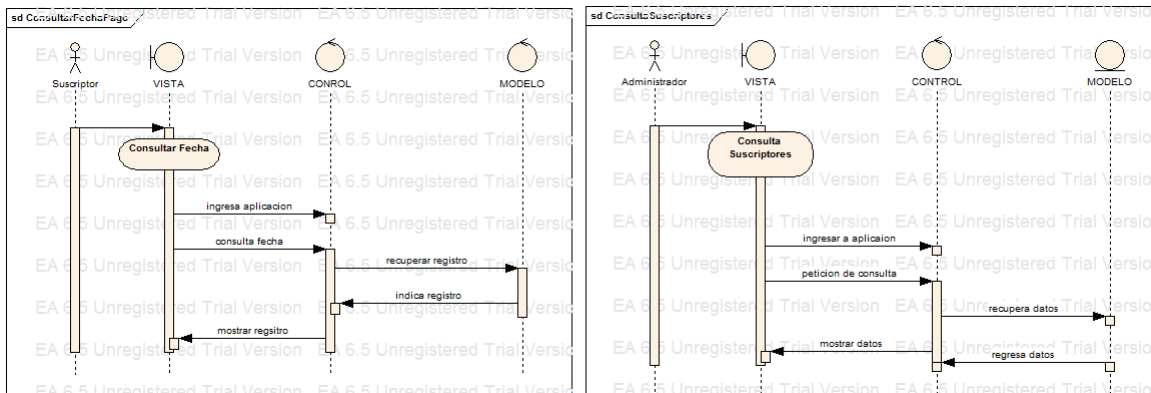
**Figura 2.3 Diagrama de Secuencia para Actualizar Rutina.**



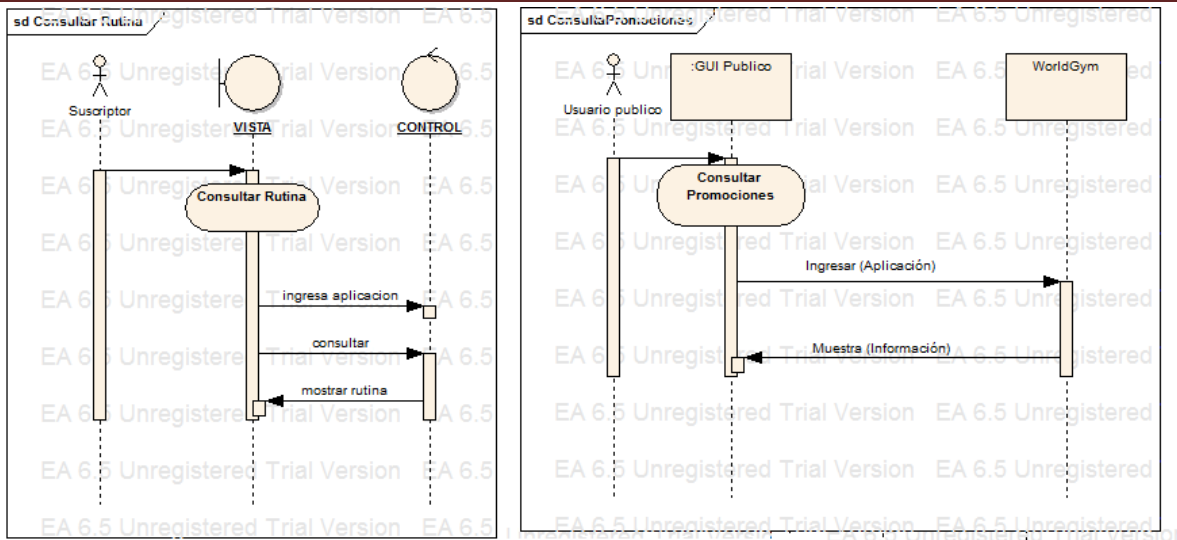
**Figura 2.4 Diagrama de Secuencia para Registrar Suscriptor.**



**Figura 2.5 Diagrama de Secuencia Modificar Registro.**



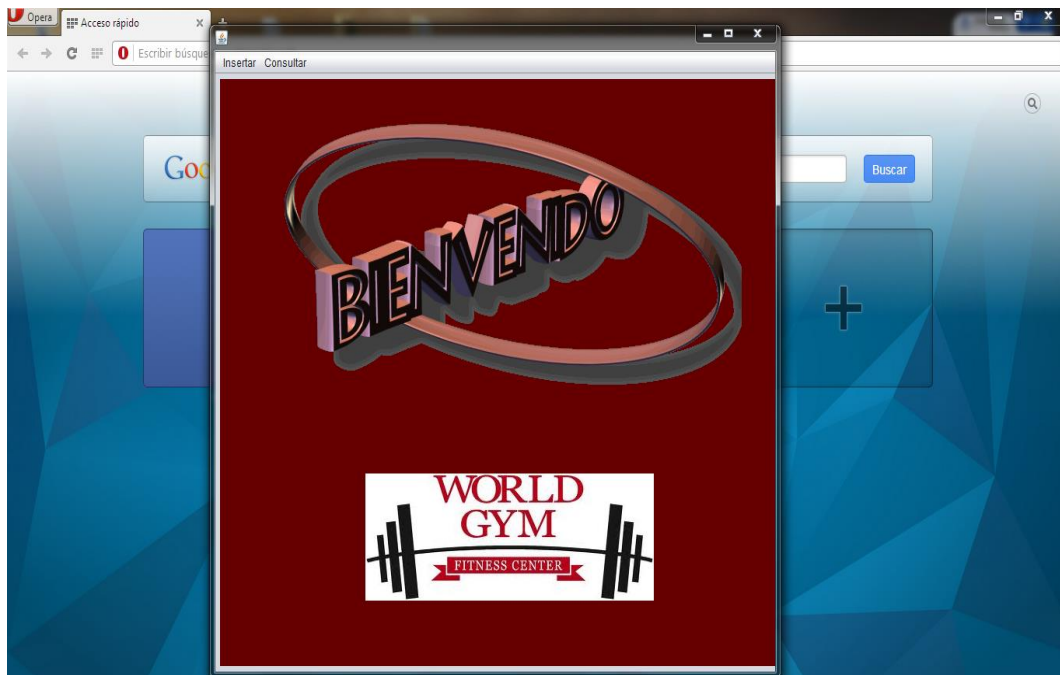
**Figura 2.6 Diagramas de Secuencia de Consultar Fecha de Pago y Consultar Suscriptores.**



**Figura 2.7 Diagrama de Secuencia de Consultar Rutina y Consultar Promociones.**

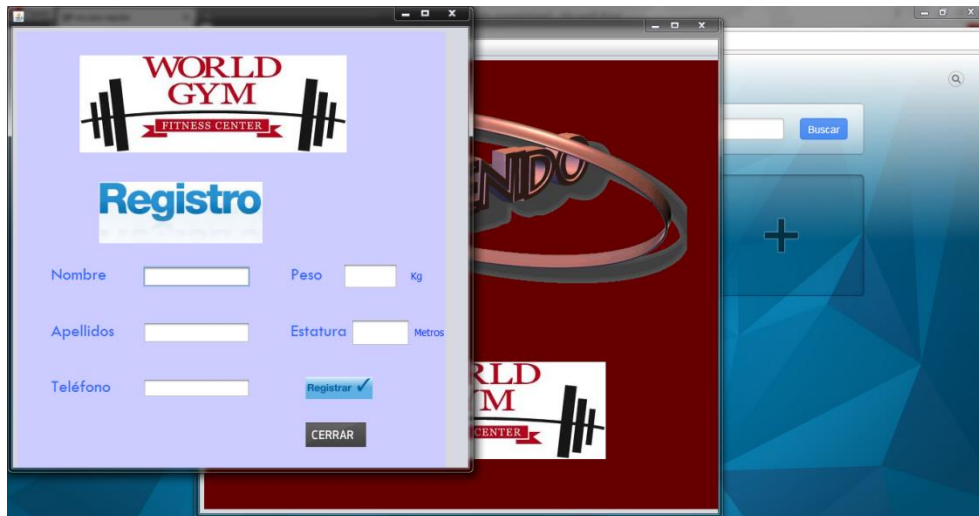
**3. RESULTADOS.**

Figura 3.1 muestra la pantalla principal para entrar al sistema.



**Figura 3.1. Pantalla Principal.**

Figura 3.2 muestra la forma que se diseñó para registrar la información general del cliente al sistema.



**Figura 3.2. Diseño para registro.**

Figura 3.3 muestra los datos del suscriptor seleccionado.



**Figura 3.3. Pantalla muestreo de datos de suscriptores.**

Figura 3.4 muestra la pagina de inicio de la aplicación web

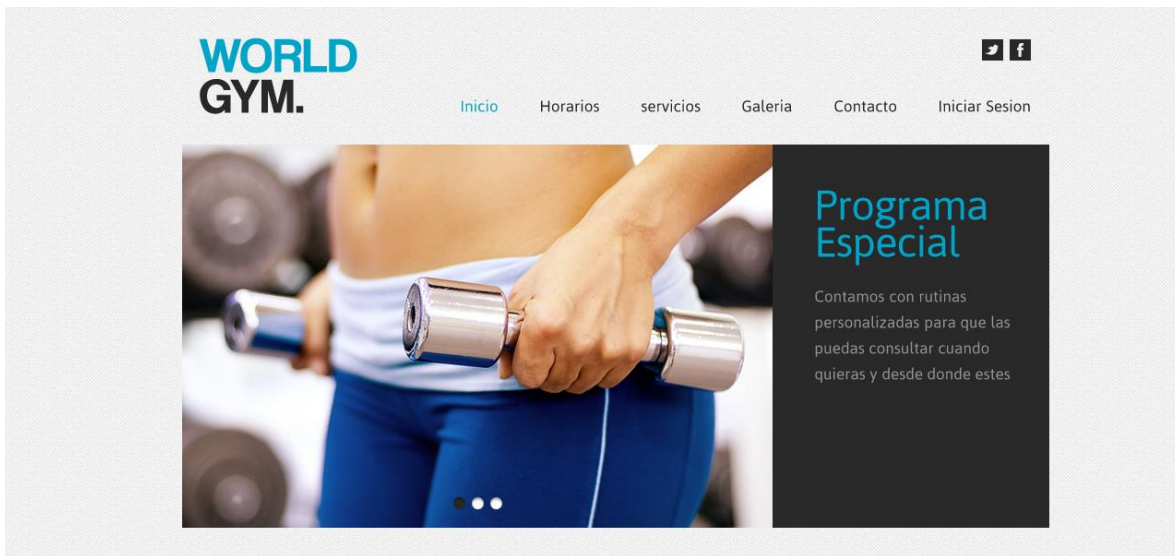


Figura 3.4. Pagina de inicio de aplicación web.

La figura 3.5 muestra información acerca de los servicios ofrecidos por el gimnasio.



Figura 3.5. Muestra de información.

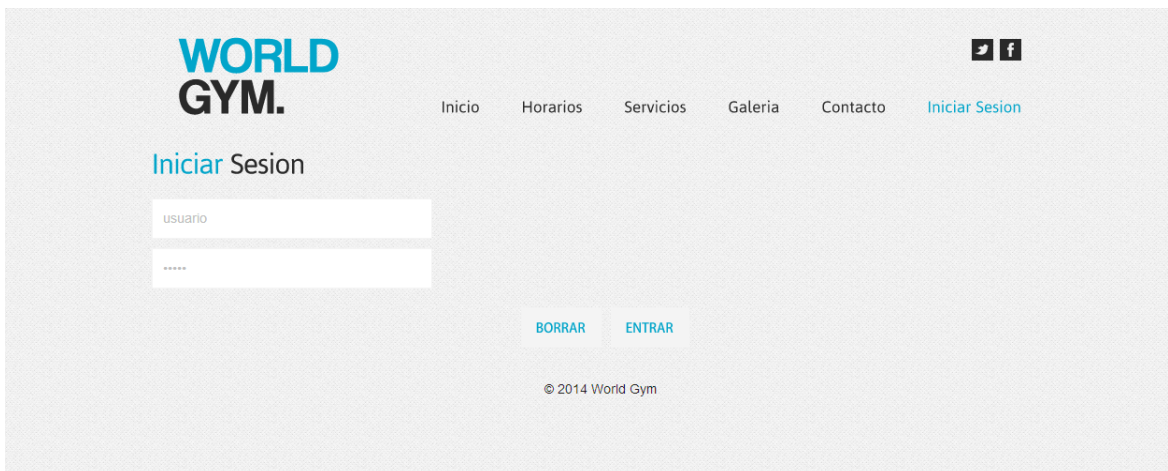
Figura 3.6 muestra el reporte general de todos los suscriptores.



SUSCRIPTOR	NOMBRE DEL SUSCRIPTOR	SIGUIENTE FECHA DE PAGO	ADEUDO	RETRASO (días)
45	ALEJANDRO NAVA	19/05/2010	\$500	2
46	RAUL JIMENEZ	19/05/2013	\$500	2
48	CARLOS NUÑES	20/05/2013	\$500	1
50	EDUARDO COLIN	22/05/2013	\$0	
51	MARIA VILLAS	18/05/2013	\$500	3
52	FERNANDO VALENZUELA	19/05/2013	\$500	2
53	RODRIGO GUZMAN	19/05/2013	\$500	2
54	EMETERIO FIERRO	25/05/2013	\$0	
56	LUIS GUERRA	25/05/2013	\$0	
64	ALBERTO IBARRA	25/05/2013	\$0	
65	LUIS DOMINGUEZ	18/05/2013	\$500	3
66	JAVIER LOZANO	25/05/2013	\$0	
67	ANTONIO LOPEZ	19/05/2013	\$500	2
68	ALEJANDRO NAJERA	18/05/2013	\$500	3
69	CARLOS ROMAN	19/05/2013	\$500	2
70	JOSE GOMEZ	18/05/2013	\$0	
73	MIGUEL ZEPEDA	25/05/2013	\$0	
74	EDUARDO MIRANDA	19/05/2013	\$500	2
81	MILTON JIMENEZ	06/06/2013	\$0	
82	DAVID RENDON	25/05/2013	\$0	
83	LUIS TAPIA	06/06/2013	\$0	
84	ROBERTO TAPIA	19/05/2013	\$500	2
90	FIDEL RUEDA	25/05/2013	\$0	
92	ALEJANDRO FERNANDEZ	06/06/2013	\$0	

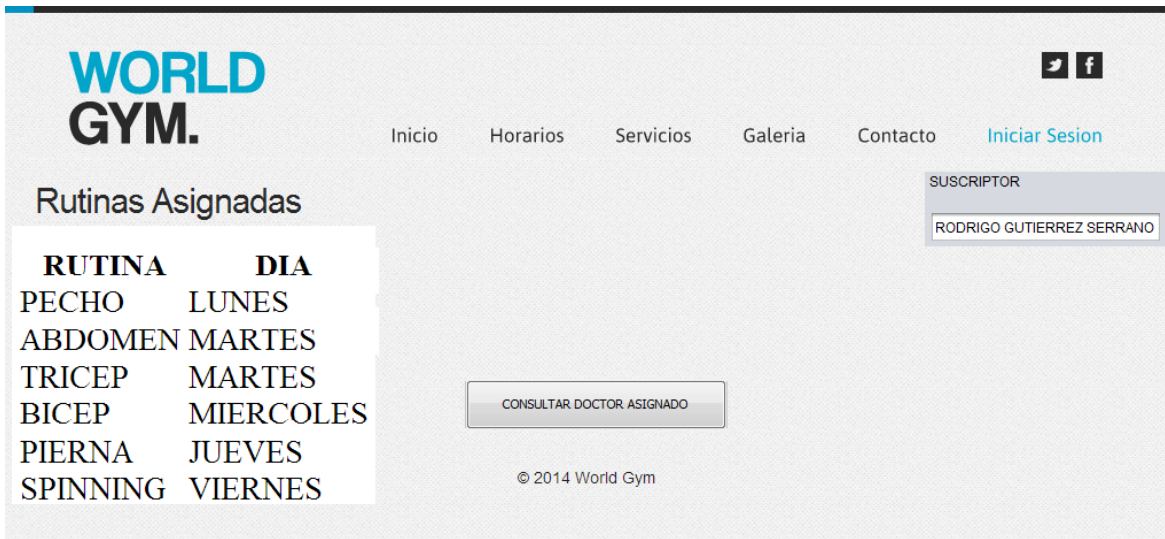
**Figura 3.6. Muestra de reporte general.**

Figura 3.7 muestra la pantalla de inicio de sesión para el suscriptor del gimnasio.



**Figura 3.7. Pantalla de Inicio de Sesión.**

Figura 3.8 que muestra la pantalla principal de la sesión del suscriptor donde consulta sus rutinas y puede contactar con el doctor.



**Figura3.8 Pantalla de sesión del suscriptor.**

#### 4. CONCLUSIONES.

Con este sistema de seguimiento personalizado en el control de rutinas y gestión para un gimnasio se pretende innovar y ofrecer un servicio de calidad, haciendo cambios significativos en el seguimiento y atención de sus clientes de una forma detallada y personalizada.

Además el sistema tiene contemplado que el cliente tenga una motivación e interés al poder visualizar su avance periódicamente y la forma en que va evolucionando su complexión física, así como el estar seguro de que su rendimiento físico va creciendo positivamente y saber que su salud va mejorando según su progreso, y que de no ser así contara con una opción rápida para tener acceso a un servicio médico en caso de tener un percance o complicación física esto si se lleva consigo un dispositivo móvil mediante el cual el usuario pueda requerir este servicio.

#### 5. REFERENCIAS.

- 1.-GymMaster (s.f).Recuperado el 13 de Marzo de 2014 de <http://www.gymmaster.co.nz/>
- 2.-¿Qué es Srum? (s.f). Recuperado el 11 de Marzo de 2014 de <http://www.proyectosagiles.org/>
- 3.-J. Schmuller, Aprendiendo UML en 24 horas (Prentice Hall, México) ,448 paginas,(2001)
- 4.-63 Millones de mexicanos usan la telefonía móvil (s.f).Recuperado el 21 de marzo de 2014 de <http://cio.com.mx/63-millones-de-mexicanos-usan-la-telefonía-movil/>
- 5.-Videojugadores invaden el país (s.f).Recuperado el 1 de abril de 2014 de <http://www.eluniversal.com.mx/graficos/pdf12/tecno/invaden.pdf>

6.- Cuatro de cada 100 mexicanos no hacen ejercicio (s.f).Recuperado el 1 de abril de 2014 de <http://www.maspormas.com/noticias/mexico/4-de-cada-10-mexicanos-hacen-ejercicio>

7.-52% de la población no hace ejercicio en Mexico (s.f).Recuperado el 12 de Marzo de 2014,de <http://www.unionguajuato.mx/articulo/2013/02/05/salud/52-de-la-poblacion-no-hace-ejercicio-en-mexico>.



## **4.5 APLICACIÓN DE LA “TOP-DOWN NETWORK DESIGN METHODOLOGY” PARA EL DISEÑO DE LA RED DE COMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE CHETUMAL.**

<sup>1</sup>Martín Antonio Santos Romero, <sup>2</sup>Alicia Guadalupe Robertos Pinto  
<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Chetumal, <sup>2</sup>Universidad de Quintana Roo  
<sup>1</sup>martin.santos@utchetumal.edu.mx, <sup>2</sup>alirober@uqroo.mx

### **RESUMEN.**

El diseño de la red de comunicaciones de la Universidad Tecnológica de Chetumal tiene como principal objetivo diseñar una red convergente que permita brindar soporte a las aplicaciones informáticas y necesidades de comunicación de la institución garantizando la disponibilidad, seguridad, escalabilidad y facilidad de administración de la red. La metodología empleada para elaborar el diseño de red es la metodología Top-Down Network Design, de la empresa Cisco, líder mundial en equipos de infraestructura de red e Internet. El Top-Down Network Design es una metodología iterativa que consta de cuatro fases que van desde la detección de las necesidades y metas del cliente, pasando por las fases de diseño físico y lógico de la red, que permiten la creación del diseño, hasta construir un prototipo, realización de pruebas, optimización y documentación del diseño.

Palabras clave: Metodología, Top-Down, diseño, descendente, red.

### **ABSTRACT.**

The design of the communications network of the Universidad Tecnológica de Chetumal has as main objective to design a converged network that allows providing support computer applications and communication needs of the institution ensuring the availability, security, scalability and manageability of the network. The methodology used to develop the network design is the Top-Down Network Design Methodology, by Cisco Company, world leader in network infrastructure equipment and Internet. The Top-Down Network Design is an iterative methodology that consists of four phases from the detection of the needs and goals of the client, through the stages of physical and logical design of the network, enabling the creation of the design, to build a prototype, testing, optimization and design documentation.

Keywords: Methodology, Top-Down, design, down, network.

### **1. INTRODUCCIÓN.**

Regularmente la infraestructura de red de voz, video y datos de una institución no se planifica mediante la utilización de una metodología formal, motivo por el cual el desempeño de estas redes no se aproxima a lo esperado y menos a lo óptimo. El uso de una metodología permite crear un diseño de red, basado en los objetivos institucionales y requerimientos técnicos para lograr estos objetivos, que al ser implementado se aproxime al desempeño esperado.

La Universidad Tecnológica de Chetumal (UT Chetumal) es una institución de educación superior de reciente creación, que como toda organización busca tener una infraestructura de red que soporte todas sus aplicaciones informáticas y de comunicaciones, que garantice la disponibilidad y seguridad de los servicios y recursos.

La utilización de una metodología de diseño de redes como lo es Top-Down Network Design permite obtener un diseño de red que cubra los cuatro objetivos básicos fundamentales de una red actual: la escalabilidad, la disponibilidad, seguridad y facilidad de administración [2].

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Actualmente, el edificio principal de la UT Chetumal está en construcción, por lo cual se hace necesario diseñar e implementar una red nueva, que considere todas las necesidades y requerimientos de la institución. El primer edificio constará de dos plantas. La planta baja tendrá las oficinas de la rectoría, ocho aulas, diez cubículos para profesores y un laboratorio de informática. La planta alta tendrá ocho aulas, un laboratorio de informática, un laboratorio de idiomas, diez cubículos para profesores, una sala de profesores y una sala de juntas. La proyección implica la construcción de 6 edificios adicionales. La UT Chetumal tiene una matrícula actual de 555 alumnos. Cuenta con el siguiente personal: 65 docentes y 25 administrativos. La proyección tiene contemplado atender entre 1200 y 1500 alumnos por ciclo escolar, más los docentes y administrativos que se incorporen.

Por lo anterior, se hace necesario que la red de comunicaciones esté diseñada para poder soportar a todos los usuarios, aplicaciones informáticas y de comunicaciones necesarias para garantizar la disponibilidad y seguridad de los servicios y recursos de la red.

### **2.1. Objetivos**

El objetivo general fue diseñar una red convergente que permita brindar soporte a las aplicaciones informáticas y necesidades de comunicación de la Universidad Tecnológica de Chetumal, garantizando la disponibilidad, seguridad, escalabilidad y facilidad de administración de la red.

Para lo cual, se fijaron los siguientes objetivos específicos:

- Identificar los requerimientos de los usuarios para el uso de las aplicaciones y necesidades de comunicación.
- Adaptar los requerimientos técnicos de la red a los objetivos institucionales.
- Diseñar el modelo lógico de la red.
- Diseñar el modelo físico de la red.
- Crear y probar un prototipo de la red.
- Documentar el diseño de la red.

## **3. DESARROLLO.**

El diseño de una red, debe ser un proceso completo, que asocie las necesidades de la institución a la tecnología disponible, esto para generar una arquitectura de red que maximice el éxito.

### **Top-Down Network Design Methodology**

Esta metodología de diseño de redes divide el diseño en cuatro fases principales [1]:

*Analizar Requerimientos:* Las tareas que se llevan a cabo en esta fase incluyen: entrevistar usuarios y personal técnico; analizar objetivos comerciales y restricciones; obtener y analizar requisitos técnicos, pros y contras; caracterizar la red existente y caracterizar el tráfico de la red.

*Diseño Lógico de la Red*, que implica: diseñar una topología de la red, aplicando un enfoque descendente; diseñar modelos de direccionamiento y nombres; seleccionar protocolos de switching y routing; seleccionar estrategias de seguridad para la red; y estrategias para la administración y el mantenimiento de la misma.

*Diseño Físico de la Red*, que implica: seleccionar tecnologías y dispositivos para las redes de cada campus; seleccionar tecnologías y dispositivos para la red corporativa.

*Probar, Optimizar y Documentar el Diseño de la Red*, que implica: diseñar un plan de pruebas; construir un prototipo o piloto; optimizar el diseño de la red y documentar el diseño de la red.

### **3.1. Analizar requerimientos**

Antes de iniciar con el diseño de la red de la UT Chetumal, se realizaron entrevistas con los directivos y personal técnico, esto para comenzar con el levantamiento de las necesidades de comunicación que tiene la institución, sobre todo conocer y analizar los objetivos institucionales que se persiguen y las restricciones de presupuesto, políticas, tiempo y de personal que se tienen para lograrlos, de modo que se pudieran asociar las necesidades de la institución con los requerimientos tecnológicos.

A partir de las necesidades y el análisis realizado se obtuvieron los objetivos técnicos:

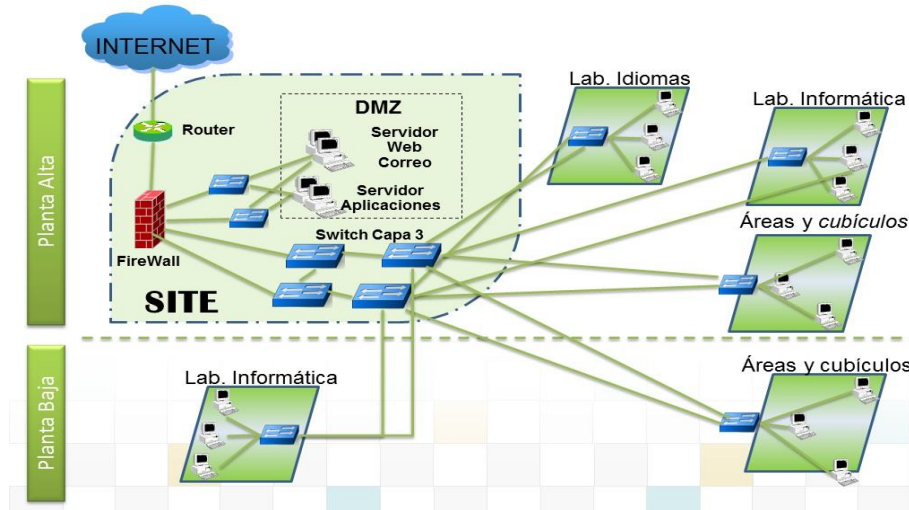
- Diseñar una red convergente que se encuentre disponible para los alumnos, docentes y administrativos en todo momento.
- Soportar la disponibilidad de red las 24 horas, los 7 días a la semana para las aplicaciones y sistema telefónico. Las aplicaciones requieren de períodos de tiempos de respuesta muy breves. Garantizar la calidad del servicio.
- Respaldar un crecimiento del 150% de la red propuesta en cantidad de usuarios y sitios dentro de los próximos cinco años, 600% de la red propuesta en el área de cobertura inalámbrica, 150% de la red propuesta en el tráfico web.
- Mejorar la seguridad agregando filtrado de datos, firewall y seguridad inalámbrica.
- Centralizar los servidores y la administración. Administrar los cambios de configuración en la red. Identificar fallas en la red, monitorear los niveles de rendimiento.

Se omiten la caracterización de la red existente y análisis de tráfico por ser red nueva.

### **3.2. Diseño lógico de la red**

*Diseño de la topología de las redes locales y la conectividad entre redes e Internet*

Como se puede observar en la Figura 1, el diseño de la topología de la red local del edificio principal está basado en el Diseño de Redes Jerárquico de Cisco, que tiene tres capas básicas: Núcleo, Distribución y Acceso. Este diseño permitirá cubrir los objetivos técnicos de disponibilidad y escalabilidad de la red, así como, algunas cuestiones de seguridad y filtrado de tráfico.



**Figura 1. Diseño Lógico de la red UT Chetumal (Fuente: Elaboración propia).**

#### *Plan de direccionamiento y nombres*

El esquema de dirección IP debe cumplir con los requisitos de la red para servir de soporte a la escalabilidad y a un modelo de diseño jerárquico.

Para planear el esquema de direccionamiento, se examina la topología en conjunto con los diferentes tipos de usuarios y tipos de tráfico. Los diferentes usuarios y servicios se agrupan en distintas VLAN (Redes de Área Local Virtuales) o subredes. El esquema de direccionamiento IP se aplica a las subredes o VLANs. Cada una de estas redes/VLAN representa una subred IP. Utilizando direccionamiento privado.

En cuanto al plan de nombres se define un esquema para nombrar y poder ubicar a cada dispositivo de la siguiente manera: CD-CE-CA-NC. Donde CD es un código del tipo de dispositivo, por ejemplo, para una computadora de escritorio el código puede ser PC; CE es el código de edificio, por ejemplo ED1 que indica edificio 1; CA es el código del área, por ejemplo, SE para servicios escolares y finalmente NC es un número consecutivo para cada dispositivo, así pues, un nombre para un dispositivo quedaría de la siguiente manera PC-ED1-SE-001.

#### *Selección de protocolos de red*

De acuerdo a las aplicaciones, servicios de red y configuraciones que se tendrían en el diseño de red, los protocolos que se requeriría son los siguientes: FTP, HTTP, DHCP, POP, SMTP, SIP, RSTP, VTP, SNMP, OSPF, HTTPs, IP y SNMP.

#### *Estrategias de seguridad*

La UT Chetumal manejará bases de datos con información crítica y personal de todos sus alumnos, profesores y empleados, por esta razón es de suma importancia ver por las seguridad de la red tanto física como lógicamente. Algunas prácticas de seguridad que aplican para proteger la red institucional son:

- Agregar un firewall en la salida a Internet. Restringir el acceso a ciertos servicios, uso de ACL (Listas de Control de Acceso) filtrando tráfico en lugares adecuados.

- Usar IDS (Sistemas de Detección de Intrusiones) para todos los niveles de la red.
- Crear rutas redundantes para asegurar la disponibilidad.
- Usar Antivirus y Antispyware.
- Crear una única red de administración para todo el campus.
- Establecer el tipo de seguridad de la red inalámbrica utilizando el protocolo WPA2
- Utilizar sistemas de seguridad de acceso físico al site de comunicaciones.

### 3.3 Diseño físico de la red

El diseño físico de la red de la UT Chetumal está basado en los esquemas del diseño lógico e implica la selección de los dispositivos de red y las tecnologías de red. La tecnología de red de área local seleccionada es GigabitEthernet y el enlace a Internet será un servicio de Internet dedicado E1. Se requerirá un cableado estructurado con cable UTP Categoría 6 y fibra óptica en las capas de distribución y núcleo. El cableado debe ser certificado.

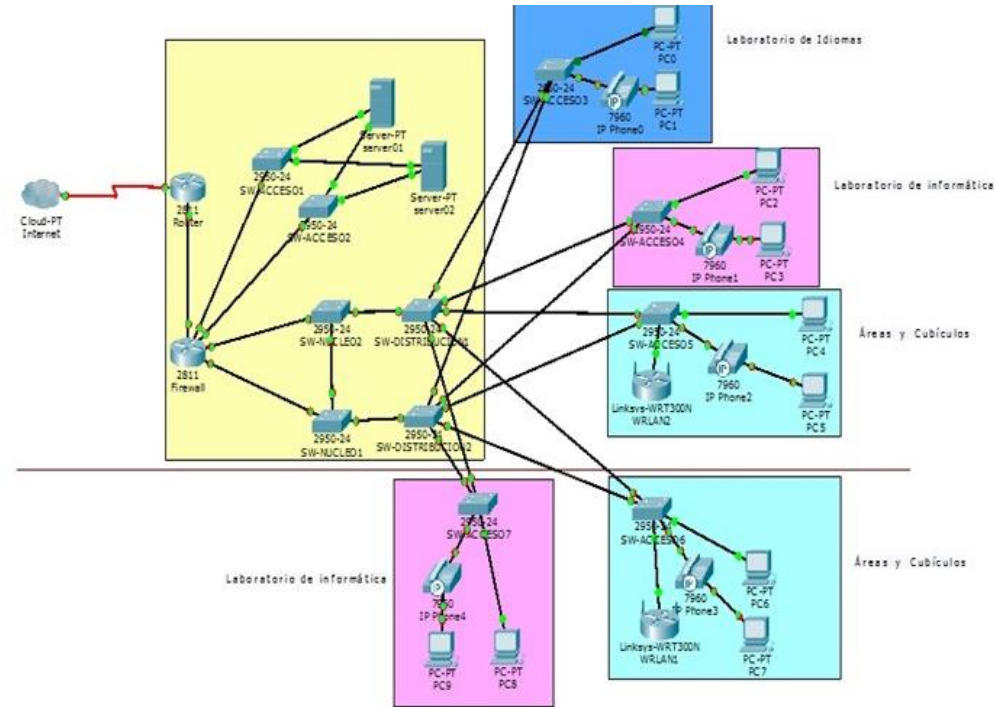
A continuación se listan los dispositivos de red seleccionados, considerando únicamente los dispositivos de interconexión de redes y sus accesorios para el site:

Cantidad	Switches	Modelo
6	Switch de 24 puertos	WS-C2960-24TC-S
5	Switch de 48 puertos	WS-C2960-48TC-S
1	Smartnet 8X5XNBD para switch WS-C2960-24TC-S	CON-SNT-296024TC
7	Smartnet 8X5XNBD para switch WS-C2960-48TC-S	CON-SNT-296048TC
6	Escalerilla porta cables de 12" 10250-712	CPI
3	Curva interna porta cables de 12" 10724-712	CPI
4	Bajantes a organizadores con radios de curvatura 12100-712	CPI
4	Rieles móviles para escalerilla 12115-712	CPI
6	Kit de golpes para escalerilla 11301-701	CPI
2	Bases para kit de elevadores de 3" 10595-712	CPI
5	Kit de elevadores para rack 10506-702	CPI
3	Remates de pared para escalerilla 11421-712	CPI
3	kit de union para escalerilla 11302-701	CPI
1	Lote de material diverso	

**Tabla I. Dispositivos de redes seleccionadas (Fuente: Elaboración propia)**

### 3.4 Probar, Optimizar y Documentar el Diseño de la Red

Una vez finalizado el diseño de la red, se procede a crear un prototipo en algún simulador de red por ejemplo como el Packet Tracer o el Boson NetSim para verificar el funcionamiento de algunas secciones de la red, optimizar el diseño creado si es necesario y finalmente realizar la documentación requerida (ver Figura 2). [4-5].



**Figura 2. Prototipo de red construido en el simulador Packet Tracer (Fuente: Elaboración propia).**

#### 4. RESULTADOS.

El diseño jerárquico de red creado para la UT Chetumal permitirá implementar una red convergente capaz de proveer disponibilidad 24/7 de los recursos para los alumnos, docentes y administrativos en todo momento con tiempos de respuesta muy breves y garantizar la calidad del servicio mediante rutas redundantes y priorización de tráfico. De igual manera, el diseño jerárquico respaldará el crecimiento proyectado de la red. Se agregará la seguridad con filtrado de tráfico y firewalls, así como, seguridad inalámbrica. La administración será centralizada y permitirá identificar fallas en la red y monitorear los niveles de rendimiento. Lo anterior se refleja en la Figura 2 prototipo de red construido y verificado en el simulador Packet Tracer que permite observar la disponibilidad total de la red incluso durante la falla de alguno de los enlaces.

#### 5. CONCLUSIONES.

El diseño de una red basada en una metodología de diseño permite implementar una red de comunicaciones que contribuya al éxito de una institución y obtenga el desempeño esperado al adecuar la tecnología a los objetivos institucionales. Top-Down Network Design es una metodología cuyas fases implican asociar el diseño lógico y el diseño físico a los objetivos institucionales y requerimientos técnicos de una organización. El diseño de red jerárquico creado para la UT Chetumal cumple con el principal objetivo de diseñar una red convergente que permita brindar soporte a las aplicaciones informáticas y necesidades de comunicación de la institución garantizando la disponibilidad, seguridad, escalabilidad y facilidad de administración de la red.

## 6. REFERENCIAS.

- [1] Oppenheimer, Priscilla: Top-Down Network Design. Second Edition. Cisco Press (2004).
- [2] Teare, Diane: Designing Cisco Networks. Cisco Press (2002).
- [3] Evans, Sharon: Telecommunications Network Modeling, Planning and Design (2005).
- [4] Diseño de redes, Top Down Design Networking, Cisco, recuperado el 18 Marzo de 2014. Disponible en: <http://www.cisco.com/web/learning/le31/le46/cln/qlm/CCDA/design/top-down-approach-to-network-design-3/player.html>.
- [5] Boson Netsim, Software de simulación de redes, recuperado el 18 Marzo de 2014. Disponible en: <http://www.boson.com/netsim-cisco-network-simulator>.

## **4.6 SISTEMA DE MENSAJERÍA INTERNA EMPRESARIAL.**

**Autores:** Mauro Sánchez Sánchez, Sergio Enrique Hernández Ortega, Rafael Méndez Sotelo, Diana Montserrat Martínez Espinoza, Benjamín López González, Citlalih Yollohtli Alejandra Gutiérrez Extrada, **Institución:** Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico s/n. Fraccionamiento La Virgen. Metepec, Edo. De México, México C.P. 52149, **Correos:** mss\_ms2@hotmail.com, s.hdz\_0543@hotmail.com, dianita\_gatito22@hotmail.com, rafaenlaweb\_20@hotmail.com, benklg80@hotmail.com, citlalihg@ittoluca.edu.mx  
**Área:** Ingeniería de Software y Computación

### **RESUMEN.**

Existe una gran necesidad aún no solventada de comunicación organizacional, en la cual los empresarios tal vez no estén conscientes de lo que tienen, pues no existe un proveedor de servicios que cubra ésta necesidad, e incluso puede llegar a pensarse que es imposible, o simplemente tienden a conformarse con las aplicaciones existentes basándose en su bajo precio o su ineficiente funcionamiento.

Actualmente la comunicación empresarial u organizacional está teniendo demasiados problemas que afectan el desempeño de la misma, y son tan cotidianos que los administradores o los gerentes no llegan a percatarse de ellas o simplemente no les toman importancia, en este trabajo se describen los puntos considerados críticos en cuanto a la comunicación actual y una posible solución a éstos.

### **ABSTRACT.**

There is a great need still not solved of organizational communication, in which the employers may not be aware of what they have, because there is no service provider that meets this need, and they may even think that it is impossible, or just tend to conform with existing applications based on its low price or inefficient operation.

Currently the business or organizational communication is having too many problems that affect the performance of it, and those problems are so frequently that administrators or managers fail to notice them or simply do not take their importance, this document describes the critical points in terms of the current communication and a possible solution to these.

### **1. ANTECEDENTES.**

Las demandas de comunicación organizacional han aumentado cada día, desde la implementación de las telecomunicaciones en la vida de las personas, se ha logrado desarrollar aplicaciones cada vez más específicas y eficientes en el proceso de comunicación. Hemos llegado a un punto en el cual se tiene una dependencia de la tecnología para poder comunicarnos, por lo cual es necesario estar actualizado conforme a los nuevos lanzamientos y descubrimientos científicos que afectan este competido pero aun demandado mercado.

La idea de este sistema surgió de la comunicación actual de las organizaciones en México, de la manera de mejorar esta organización y de sistemas existentes en el mercado para organizaciones internacionales.

Se escogió la comunicación porque, basado en estudios previamente realizados, la comunicación en las organizaciones nacionales es muy deficiente en el aspecto de ahorro de recursos materiales, temporales y humanos, debido a que en la comunicación tradicional todos los procesos se manejan mediante documentos, formatos, circulares y oficios, además de que muchas veces se



desperdicia tiempo en la entrega y recepción de ésta información, especialmente si la organización cuenta con un numero grande de departamentos, empleados e información.

Es de suma importancia entender todo el proceso, las actividades y los elementos que componen a la comunicación interna organizacional ya que es un clavo esencial para su estructura, su correcto funcionamiento y el éxito que ésta pueda tener debido a que sin comunicación no puede existir la organización, por lo cual resulta de vital importancia garantizar al usuario, y más que nada a la organización, que su proceso de comunicación no se verá afectado por nada en cuanto a software se refiere, además de garantizar que la información enviada será recibida en tiempo y forma para evitar posibles retrasos en los procesos internos de la organización o en las labores cotidianas, sean estas de baja, mediana o gran importancia.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Dentro de una organización suele suceder que la comunicación no es la adecuada, esto se refiere a que no se garantiza la recepción de la información que se quiere hacer llegar a cierta persona. Un ejemplo claro es la perdida de documentos, en la comunicación “tradicional” la pérdida o daño de documentos u oficios importantes es bastante común en organizaciones con deficiencia en la administración de su comunicación.

La comunicación persona a persona también es un aspecto que se tiene bastante descuidado, ya que en ciertas ocasiones hay información, documentos u oficios importantes que necesitan tener una respuesta inmediata dada su urgencia y por distintas razones (ya sea que el remitente no esté disponible, que la secretaria no haya entregado el mensaje a tiempo, que el documento se traspapeló y desapareció, en fin, errores humanos) no pudieron ser entregados en tiempo y forma, pudiendo afectar en alguna manera a los procesos de la organización o una actividad de alta prioridad

Un aspecto más en el que se puede decir que la comunicación organizacional está en peligro es la confidencialidad de la información y los permisos que se tienen para poder acceder a ésta. Normalmente no se tienen ningún tipo de control sobre quién puede y no puede ver o manipular la información, de esta manera se corre el riesgo de que cierto departamento pueda acceder a información que solamente está destinada para otro departamento en específico, e inclusive llegar a pensar en un filtro de datos hacia fuera de la organización, este es un factor de alta importancia que necesita ser solventado lo más pronto posible.

Todas estas problemáticas actuales van encaminadas a pensar solamente en una cosa: la comunicación “tradicional” dentro de una empresa tiene muchos aspectos en los cuales tiene que mejorarse, optimizarse, e inclusive llegar a un punto en el que tenga que revolucionarse completamente. Las organizaciones no pueden seguir con esta comunicación, el mundo actual no puede seguir con esta comunicación.

## **3. OBJETIVOS.**

### **3.1 Objetivo general**

Desarrollar un sistema de software de calidad capaz de incorporar el envío y la recepción de mensajes, documentos, eventos/reuniones y tareas con el fin de construir una eficiente comunicación organizacional controlada de manera semiautomática y que sea adaptable a cualquier empresa basándose en su estructura organizacional.

### 3.2 Objetivos específicos.

- Asegurar la integración y la disponibilidad de los documentos, de los mensajes y en concreto, de la información manejada dentro de la empresa en cualquier momento que se necesite.
- Garantizar que la información que se envía hacia algún departamento o destinatario sea recibida en tiempo y forma, de tal forma que no haya retrasos en las actividades cotidianas de la empresa.
- Disminuir las pilas de papeles generados por circulares, permisos, documentos y solicitudes dentro de la organización, esto con fines tanto ambientales como de limpieza dentro de la organización.
- Optimizar el tiempo en el que se envía y/o recibe la información y, por ende, optimizar procesos internos de la organización.
- Garantizar que los empleados conozcan o estén al tanto de la información que están recibiendo y que dicha información sea lo suficientemente clara como para poder tomar una decisión de manera correcta.
- Controlar el acceso a la información, de manera que solo el personal con los permisos suficientes pueda acceder a ella.
- Asegurar la recepción de la información en tiempo y forma, sin importar si el empleado destinatario está disponible en ese momento o no.

### 4. JUSTIFICACIÓN.

La idea es crear un sistema que se implemente en un gran número de empresas, con diversos giros y actividades, que sea capaz de adaptarse y sea fácil de configurar para cubrir en su totalidad las demandas de comunicación organizacional de la misma, para ello el sistema necesitará conocer el organigrama de la empresa y de esa manera definir los niveles de comunicación que la empresa podrá tener para el control de la misma.

El sistema está pensado para operar en intranet, esto quiere decir que la información no tendrá contacto alguno con el mundo exterior con el fin de garantizar la disponibilidad, la seguridad, la integridad y la confidencialidad de la misma, así mismo para evitar posibles filtrados de información hacia fuera de la empresa.

Se tiene contemplado utilizar un mecanismo de notificaciones periódicas para garantizar que el empleado destinatario reciba en tiempo y forma la información que se le envía, esto es bastante útil cuando la información que se necesita enviar o recibir es urgente o prioritaria, ya que las notificaciones se seguirán enviando hasta que el empleado destinatario haya recibido correctamente la información.

Tomando en cuenta que este sistema es una solución de software, toda la información manejada será completamente virtual, esto quiere decir que los papeleos y las constantes pilas de éstos disminuirán de manera exponencial, así como la contaminación generada por la empresa, los gastos que se realizan para comprar papel o tinta de impresión y se reducirán tiempos que antes se ocupaban para imprimir el documento, autorizarlo y distribuirlo. Además de que la lectura o la forma en la que la información se le presenta al empleado no será tan frustrante como tener

papeles por todos lados, todo será como estar revisando la bandeja de correo electrónico: información concisa, cruda y sin ningún tipo de malentendidos que pudieran surgir.

Los aspectos más importantes que debe cubrir el sistema, es notificar a cada empleado cuando éste reciba cualquier tipo de información (mensajes, reuniones, eventos o documentos) y garantizar la recepción o confirmación de recibido, en otras palabras el empleado debe ser notificado vía SMS o mail de la información enviada (eventos agregados a su agenda o envío de documentos), además de una notificación propia del sistema.

El sistema también pretende que los empleados encargados de cada departamento y aquellos que tengan los suficientes permisos definidos en sus niveles puedan organizar y agendar eventos y reuniones hacia los empleados de niveles inferiores, haciendo de este sistema único en su tipo.

Otro aspecto verdaderamente importante, no solo para el sistema, sino para cualquier entidad u organización, es la seguridad e integridad de la información, en virtud de que se manejan datos personales, financieros, legales, etc., debiendo ser accesada únicamente por personal con los suficientes privilegios y capacidades para poder visualizarla y manipularla, además de que es necesario tener dicha información accesible y asegurada manejando respaldos en caso de algún fallo externo o interno al sistema.

Todos estos aspectos serán realizados desde un solo sistema interno, que no requiera conexión a internet, que garantice la seguridad y asegure que la información siempre estará disponible y segura mientras las máquinas permanezcan encendidas.

## **5. RESULTADOS.**

### **5.1 Vista General.**

Cualquier empresa está estructurada gracias a un Organigrama, que es básicamente toda la estructura interna de la misma, éste Organigrama está compuesto por distintos niveles (si lo vemos como una estructura jerárquica como se muestra en la figura 1), en el que cada nivel tendrá ciertos privilegios de comunicación.

Cada nivel está conformado por departamentos, y cada departamento está conformado por muchos empleados.

Aquí se puede deducir que todo el sistema irá regido por el Organigrama y por la entidad de Empleado, ya que el empleado es el que realizará las acciones dentro del sistema (enviará mensajes, documentos, eventos, etc.), y como cada acción está definida para ser enviada por un emisor y recibida por uno o más receptores o destinatarios, es necesario colocar en cada objeto a manejar (mensajes, documentos y eventos) una relación con esos destinatarios y con el empleado emisor, para que de esta manera se pueda controlar quién envía y quién recibe cuál información.

Nivel 1

Gerencia

Nivel 2

Producción

Recursos  
Humanos

Mercadote  
cnia

Nivel 3

Ventas

Calidad

Figura 1: Organigrama de ejemplo.

## 5.2 Módulos

### 5.2.1 Módulo Organigrama.

El módulo Organigrama es uno de los más importantes para SMIE, ya que es el que controlará la comunicación entre empleados o departamentos.

Básicamente este módulo trata de esquematizar el diseño empresarial que se tiene actualmente de forma jerárquica, de tal manera que los departamentos con más prioridad queden hasta arriba, y de ahí los demás departamentos vayan en orden descendiente dependiendo de cómo tenga o como piense organizarlo el departamento de Recursos Humanos (que como se sabe, es el encargado de prácticamente todo esto, figura 2 y 3).

Principal

Agregar

Modificación

Visualizar

### AGREGAR NIVEL DE COMUNICACIÓN

Número de niveles existentes: 5

ID de Nivel:

Agregar Departamentos al Nivel

Departamento:

Seleccione

Ventas

Comunicación

Comunicación vertical:

Comunicación horizontal:

Prioridad y Permisos

Notificación:

¿Reservar?:

**Figura 2: Pantalla para agregar un nuevo nivel.**

Principal

Agregar

Modificar

Buscar

### AGREGAR PERSONAL

Datos Personales



ID:

Nombre(s):

Apellido Paterno:

Apellido Materno:

Fecha de Nacimiento:

Sexo:

Teléfono:

Correo:

Datos Personales

Calle:

Número:  CP:

Ciudad:

Estado:

Datos de la Empresa

Departamento:

Puesto:

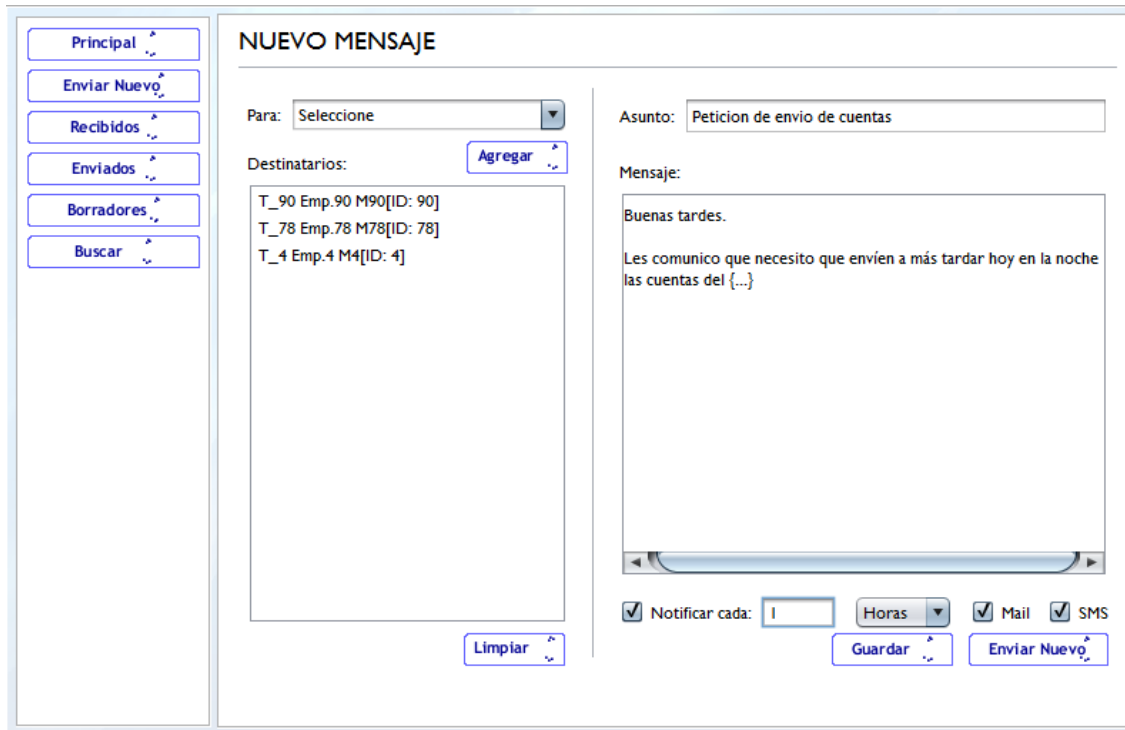
Contraseña:

Contraseña:

**Figura 3: Pantalla para agregar un nuevo empleado.**

### 5.2.2 Módulo Mensajes.

Éste módulo es el encargado de crear, enviar, modificar, guardar y administrar los mensajes de los empleados que son enviados a través del sistema y de la base de datos (figura 4).



**Figura 4: Pantalla de nuevo Mensaje.**

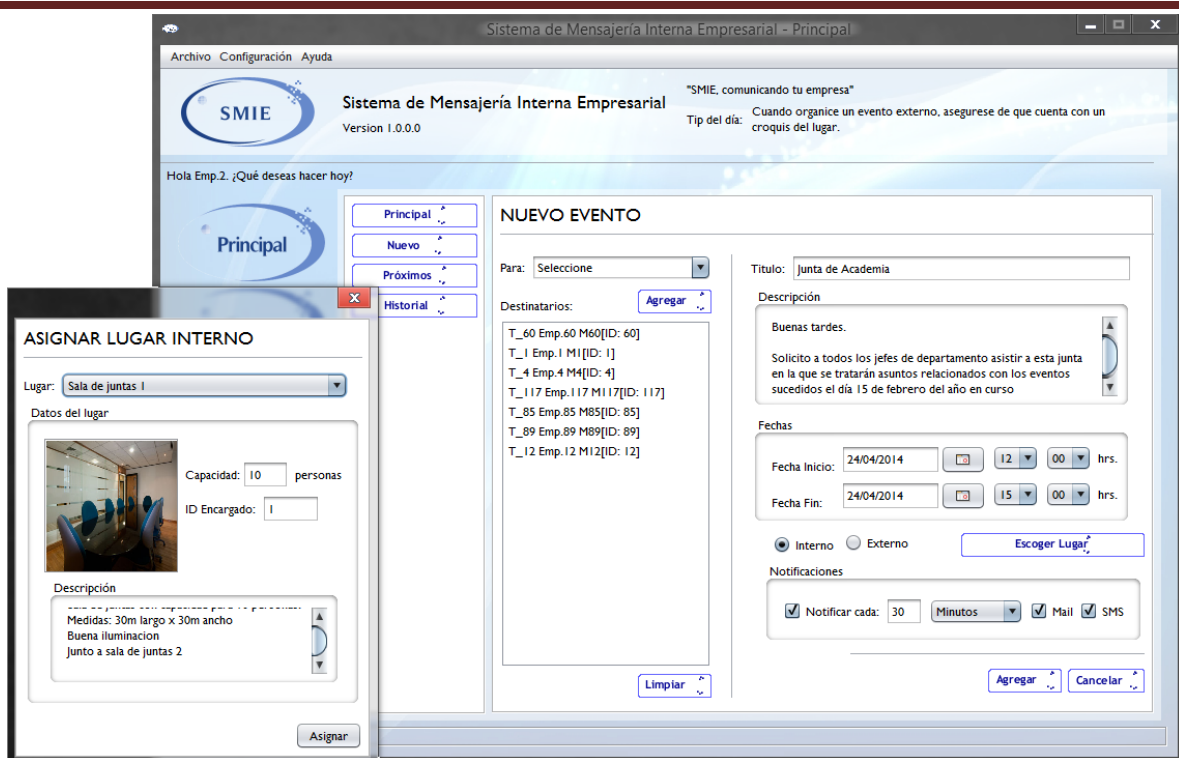
### 5.2.3 Módulo Eventos.

El módulo de eventos es el más importante de SMIE, ya que contiene una de las características que lo hace único en su tipo: Permitir que los empleados encargados de cada departamento y aquellos que tengan los suficientes permisos definidos en sus niveles puedan organizar y agendar eventos y reuniones hacia los empleados de niveles inferiores.

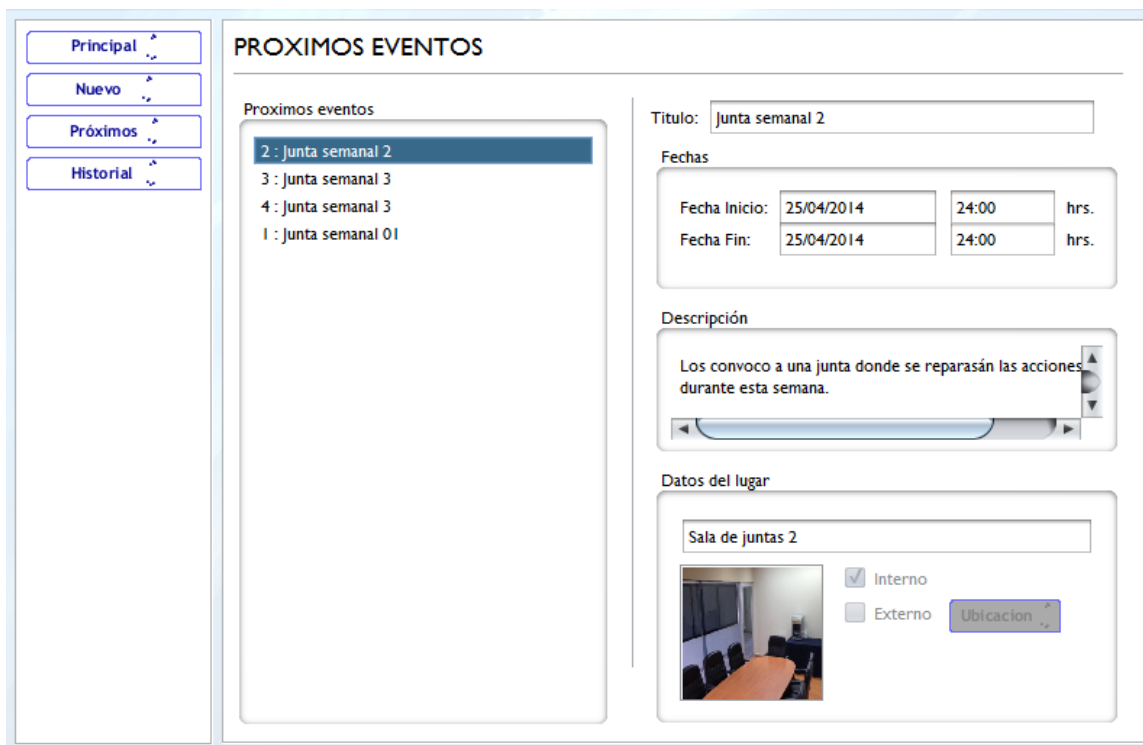
Dichos eventos tendrán la característica de tener asociado un lugar en donde se llevará a cabo (ya sea interno o externo, como se vio en el módulo de Organigrama).

En caso de que el lugar sea interno, primeramente el lugar debe existir en el Organigrama, y debe de estar libre en el horario en el que se tiene planeado realizar el evento, así como también debe contener el recurso inmobiliario suficiente para cubrir las necesidades del evento.

En caso de que el lugar sea externo, se debe especificar el nombre, la ubicación del mismo, una fotografía y (opcionalmente) un croquis que indique la ruta o la ubicación de una forma más entendible y gráfica. Después de que un nuevo lugar externo es definido, éste estará disponible para futuros eventos, lo anterior se realizó con el fin de evitar que el empleado organizador defina una y otra vez un mismo lugar externo (figura 5 y 6).



**Figura 5: Pantalla de Nuevo Evento.**



**Figura 6: Pantalla de Próximos Eventos.**

**5.2.4 Módulo Documentos.**

Éste módulo es bastante similar al de Mensajes, ya que tendrá los mismos métodos, las mismas funciones y características similares (figura 7).

Es el encargado de crear, enviar y administrar los documentos de los empleados que son enviados a través del sistema y de la base de datos.

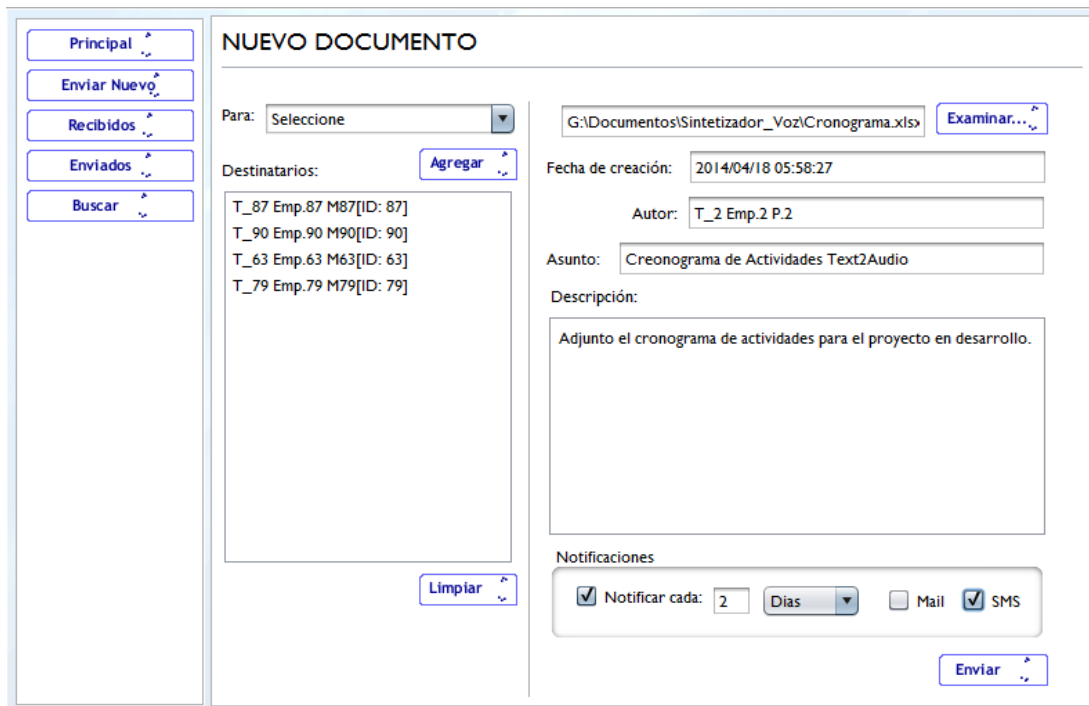
El módulo solamente se dedica a almacenar/recuperar información dentro de la base de datos, y mostrar la información pertinente en las GUI a través del controlador (los eventos dentro de la GUI).

Una característica del módulo es que solamente se podrán cargar archivos con formato específico (tabla I):

Tabla I

Extensión	Tipo de archivo
txt	Archivo de texto plano
pdf	Archivo de documento portable (Portable Document Format)
doc, docx	Archivo de Microsoft Word
xls, xlsx	Archivo de Microsoft Excel
ppt, pptx	Archivo de Microsoft Power Point
zip	Archivo comprimido
rar	Archivo comprimido
vsd, vsdx	Archivo de Microsoft Visio
mmp	Archivo de Microsoft Project

**Tabla I: Extensiones soportadas.**



**Figura 7: Pantalla de Nuevo Documento.**



**REFERENCIAS.**

- [1] Cantos J. (2013). La comunicación interna para evitar la “toxicidad” en tu empresa (I). [EN LINEA] Disponible en: <http://canasto.es/2013/10/la-comunicacion-interna-como-lubricante-para-tu-empresa/>. [Último acceso 28 noviembre 2013].
- [2] Foromarketing. ¿Existe la comunicación interna en las empresas? [EN LINEA] Disponible en: <http://foromarketing.com/existe-la-comunicacion-interna-en-las-empresas>. [Último acceso 28 noviembre 2013].
- [3] Jaime Llacuna Morera (2000). La comunicación en las organizaciones. [EN LINEA] Disponible en: [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp\\_685.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_685.pdf). [Último acceso 08 abril 2014].
- [4] Muñoz, R. (2011). La comunicación interna herramienta estratégica de la empresa en el siglo XXI. [EN LINEA] Disponible en: <http://www.microsoft.com/business/es-es/Content/paginas/article.aspx?cbcid=294>. [Último acceso 28 noviembre 2013].

## **4.7 LA METODOLOGÍA AGILE EN EL DESARROLLO DE SOFTWARE PARA MODELADO DE YACIMIENTOS PETROLEROS: UN CASO DE ESTUDIO.**

Ernesto Bautista Thompson, Gustavo Verduzco Reyes, Carlos de la Cruz Dorantes

Universidad Autónoma del Carmen

eb\_thompson@yahoo.com, gvrmx@hotmail.com, malcreado@hotmail.com

### **RESUMEN.**

La metodología de desarrollo de software Agile surgida a mediados de los 1990s, busca implementar practicas para resolver los problemas de modificación de requerimientos del software inicialmente planteados, conforme el cliente y el desarrollador identifican nuevas necesidades y requerimientos al evolucionar el proyecto de desarrollo. En el campo del desarrollo de software científico esta metodología presenta coincidencias con el proceso de investigación y desarrollo, en particular al desarrollar algoritmos y software novedoso por ejemplo en un grupo de investigación (investigador lider, investigadores miembros y estudiantes) se encuentra con un proceso de continua mejora y ajuste de los requerimientos del software y algoritmos desarrollados conforme el proceso de investigación avanza (sea este en física, química, o una rama de la ingeniería por citar ejemplos), este tipo de experiencia propia de la investigación academica, se adapta al proceso organizacional Scrum que requiere equipos compactos que trabajan en una meta mediante un proceso iterativo e incremental de dos a tres semanas (Sprints). Sin embargo, aunque en el papel parece directo esta analogía de trabajo, el antecedente formativo (diferente para un físico, geologo, ingeniero, informatico, etc.) implica retos a nivel organizacional para el éxito de implementar la metodología Agile en un proyecto de desarrollo de software para ciencia e ingeniería de alto nivel de complejidad. En este artículo se presenta un caso de estudio en relación a la metodología Agile aplicada al desarrollo de software para el campo de las geociencias en la industria petrolera nacional, producto de la experiencia de los dos primeros autores como miembros de un proyecto academia-industria para el desarrollo de software de modelado de yacimientos petroleros en México.

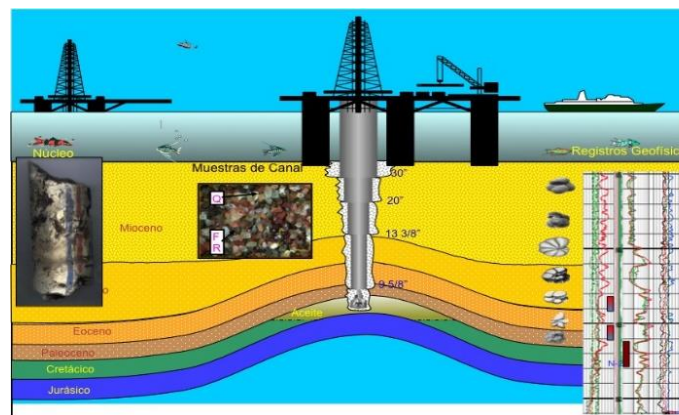
### **ABSTRAC.**

The Agile methodology for software development created in the middle of the 1990s, try to implement best practices in order to solve the problems derived from additional changes in the original software requeriments of a project, these changes are product of the interaction between client and developers during the evolution of the software development project. In the field of scientific software development this methodology has similarities with the process of research and development, in particular when algorithms and novel software is developed, for example, in a research group (principal researcher, research associates, and students) where exists a process of continuos improvements and adaptations of the requirements and algorithms at the same pace of the particular research (for example in: physics, chemistry, o engineering), this experience of the research and development in academic enviroments, can be adapted to tha Scrum organizational process, that requires small teams that work in a particular goal by an iterative and incremental process by periods of two to three weeks (Sprints). Although in the theory can be a direct analogy, the profesional and technical background (different for a physicist, geologist, engineer, software programmer, analyst, etc.) implies challenges at the organizational level, for the success of implement the Agile methodology in a software development project for science and engineering with high levels of complexity. In this paper, we present a case of study of the application of the

Agile methodology in the development of a software for geosciences in the oil and gas industry of Mexico, base on the experience of the first two authors as members of a academy-industry project for the development of software for modelling and simulation of oil reservoirs in Mexico.

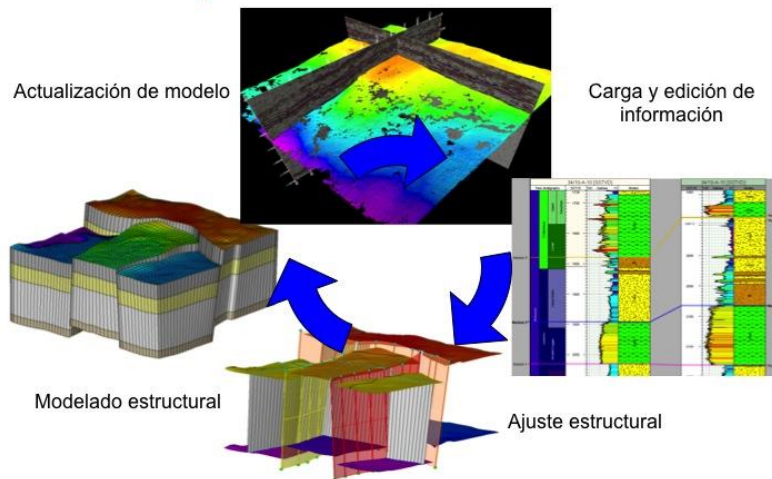
## 1 INTRODUCCIÓN.

Durante los últimos seis años, CONACYT en conjunto con la Secretaria de Energía (SENER) conformaron un Fondo denominado Fondo SENER-Hidrocarburos con la finalidad de generar un acervo tecnológico y de formación de recursos humanos especializados en el campo de la exploración y explotación de los recursos de gas y petróleo del país, este fondo se apoya en un porcentaje de los ingresos petroleros de la empresa nacional Petróleos Mexicanos (PEMEX), los cuales soportan el presupuesto de dicho fondo, de 2009 a la fecha se han emitido anualmente convocatorias que en conjunto representan más de 100 necesidades tecnológicas específicas de PEMEX, identificadas a partir de estudios de inteligencia tecnológica generados por personal especializado de PEMEX [1, 2, 3]. Entre las necesidades tecnológicas, se encuentra el desarrollo de metodologías, técnicas de análisis, y software, para las tareas de exploración e identificación de potenciales yacimientos de petróleo y gas. El proceso de exploración petrolera, ver las Figuras 1 y 2, involucra generar un universo de datos derivados de diferentes metodologías de exploración y de la aplicación de múltiples técnicas de medición de datos, posteriormente se requiere el análisis de la información recopilada y su interpretación, finalmente se aplican múltiples herramientas de software para integrar los datos y generar modelos en dos y tres dimensiones de estructuras geológicas de interés, al integrar y visualizar la información resultante el equipo de análisis: petrofísicos, geólogos y geofísicos, identifica aquellos patrones característicos de las regiones geológicas con potencial de contener aceite (petróleo) y gas en las formaciones rocosas (rocas con porosidades y fracturamientos), estas trampas geológicas son las que con alta probabilidad contienen aceite y gas susceptible de ser extraído [4]. Una de las demandas tecnológicas requeridas por el Fondo SENER-Hidrocarburos es el desarrollo de nuevas herramientas para el modelado y simulación de yacimientos, en particular los llamados yacimientos naturalmente fracturados los cuales son característicos de las regiones petroleras del sureste de México, el proyecto del cual se basa el caso de estudio aquí planteado se denomina “Modelos Fractales para la Caracterización de Yacimientos en Sistemas Heterogéneos de Difusión Lenta” y dentro del mismo el desarrollo del software de modelado de yacimientos conforme el núcleo integrador de los resultados a obtener en el proyecto [2, 5]. En la siguiente sección se explica la problemática tecnológica presente en México en cuanto al desarrollo de software para modelado y simulación.



**Figura 1. Universo de datos para la construcción de un modelo de yacimiento petrolero.**

*Definición del yacimiento*

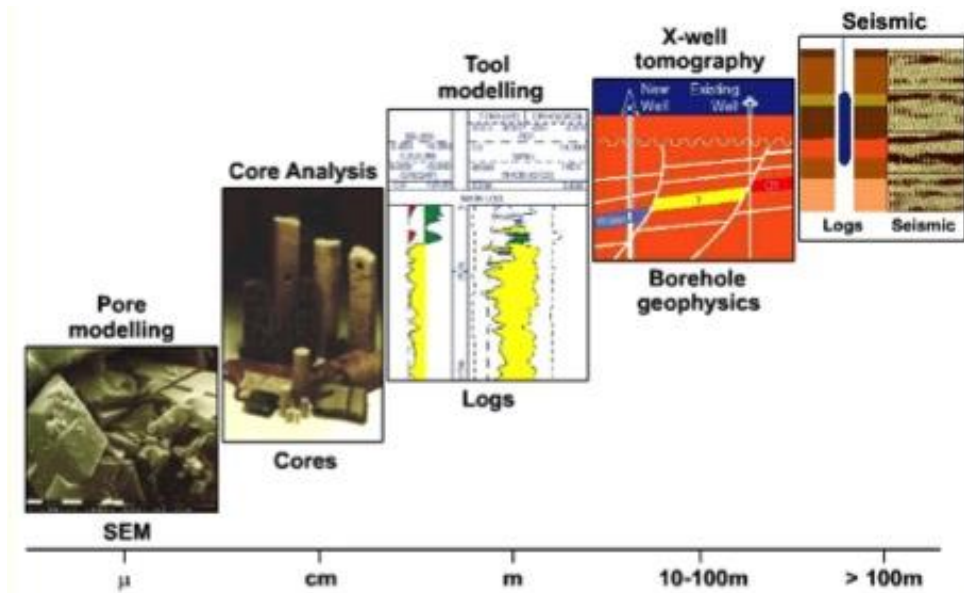


**Figura 2. Ciclo de construcción de modelo computacional de un yacimiento petrolero.**

**2 SOFTWARE DE MODELADO Y SIMULACIÓN DE YACIMIENTOS PETROLEROS.**

La industria petrolera mundial es una de las grandes usuarias de software para modelado y simulación así como de cómputo de alto rendimiento (supercomputo) y sistemas de visualización de última generación (realidad virtual, nuevas técnicas de graficación y representación de datos). En México, la industria petrolera nacional, hace uso intensivo de software altamente especializado para el proceso de captura, integración, análisis y visualización de la información generada en los procesos de exploración: campañas geológicas (estudios de afloramientos, recolección de núcleos en pozos de exploración), estudios de sísmica (2D, 3D y 4D), estudios en laboratorio (tomografía de núcleos, microscopía óptica y electrónica de muestras de núcleos, estudios termodinámicos de aceite y gas, caracterización fisicoquímica, caracterización mecánica de rocas etc.), recolección de registros petrofísicos en pozos (mediciones de rayos gamma, gravimetría, magnetometría, aguas de formación, resistividad eléctrica, etc.) [6, 7, 8]. La cantidad de datos que es posible recopilar de un yacimiento petrolero es enorme, y posee la característica de que es multiescala, ver Figura 3, es decir se tienen datos desde escalas de micras (microscopía electrónica), hasta escalas de kilómetros (sísmica), asimismo es información dispersa en tres dimensiones en el espacio de la región geológica bajo estudio y recopilada en diversos periodos de tiempo a lo largo de la vida de un campo petrolero. Entonces la información que se maneja es multiescala, dispersa (es un muestreo aleatorio pero no es sistemático a todo el volumen de la región bajo estudio por cuestiones de costos), e incremental en el tiempo (conforme evoluciona la región de interés como zona de exploración y explotación de petróleo). Además del proceso de captura de múltiples tipos de datos y su preparación para su procesado y análisis computacional, se requiere de modelos petrofísicos, químicos, geológicos, geofísicos, y matemáticos que deben estar integrados en forma de algoritmos y métodos numéricos; los cuales hacen uso de estos datos y generar información interpretable sobre las características de un yacimiento. Esta información a su vez se visualiza de múltiples formas (graficas especializadas en dos y tres dimensiones) que pueden ser manipuladas por los expertos para la generación de interpretaciones o modelos posibles del yacimiento bajo estudio. La complejidad del modelado es tal que no existe una correspondencia uno a uno entre los datos generados y el modelo final del yacimiento, dado el alto grado de incertidumbre, se tiene una correspondencia de uno a muchos es decir hay varios modelos computacionales finales (que generalmente son generados vía simulaciones probabilísticas) que son validos físicamente para los datos originales medidos en el yacimiento, es aquí donde la capacidad de los expertos humanos

hace la diferencia y permite el discriminar las soluciones no validas de aquellas con alta probabilidad de éxito (es decir de poseer aceite y gas).



**Figura 3. Naturaleza multiescala de la información de un yacimiento petrolero.**

El proceso descrito arriba, conlleva el uso de una o mas herramientas de software, algunas integradas en forma modular como suites de software, este tipo de software comercial esta dominado por tranasnacionales como Schlumberger <sup>TM</sup>, Haliburton <sup>TM</sup> y empresas mas especializas como Paradigm E&P <sup>TM</sup>, Beicip-Franlab <sup>TM</sup>, Golder Associates <sup>TM</sup>; los cuales llevan cerca de 40 año en el mercado y han sido pioneros en la comercialización de estas tecnologías las cuales se han generado en centros académicos especializados en países como Canadá, USA, Francia, Noruega, por citar los mas relevantes. El costo de uso de estos softwares es muy alto (cientos de miles de dólares por licencia) dado que se manejan esquemas de licencias por usuario de módulos, submódulos, y por periodos de tiempo específicos con vencimientos, lo anterior se debe al alto costo de desarrollo y las tecnologías involucradas en este tipo de software, aunado al costo de los servicios en la industria petrolera el cual es de los mas altos del mundo, para ser competitiva toda empresa petrolera debe poseer un acervo tecnológico propio que le permita resolver las particularidades propias de sus yacimientos (características geológicas), y a su vez disminuir su dependencia en tecnologías clave para los procesos de negocios de esta industria. Estas son las motivaciones que llevan al desarrollo de tecnología propia innovadora para el modelado y simulación de yacimientos petroleros. En el caso particular del caso de estudio que se presenta se llevo a cabo el desarrollo de un software para el modelado estático de yacimientos naturalmente fracturados siendo uno de los elementos innovadores la integración de metodologías fractales para la construcción del modelo además de las metodologías estándar de la industria [2, 5]. La construcción de un modelo estático significa la generación de un modelo en tres dimensiones de la petrofísica y geología del yacimiento, este modelo a su vez sirve de base para simulaciones de mecánica de fluidos del aceite y gas presente en el sistema, estos son los llamados modelos dinámicos y su desarrollo no involucraba al caso de estudio presentado.

### **3 CASO DE ESTUDIO.**

A continuación se describen las acciones para la implementación del laboratorio de ingeniería de software, selección de metodologías y tecnologías de desarrollo, la estructura organizacional, los problemas enfrentados en cuanto a los aspectos organizacionales y formativos de los recursos humanos involucrados, y la implementación de la metodología Agile adaptada para el desarrollo del proyecto.

#### **3.1 Laboratorio de Ingeniería de Software.**

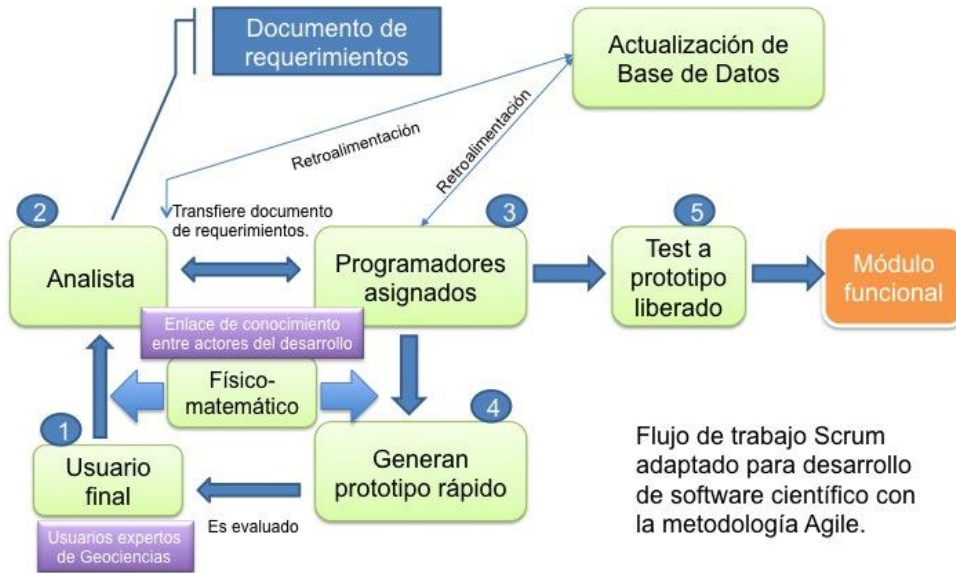
Para el desarrollo del proyecto se implemento un laboratorio de ingeniería de software en el cual se desarrollaron las actividades de levantamiento de requerimientos, análisis y diseño de la arquitectura del software, investigación y desarrollo de algoritmos, programación de los diferentes módulos que conforman el software de modelado, pruebas y validación del mismo. El laboratorio requirió del diseño e implementación de una infraestructura física de redes (intranet e internet), seguridad, arquitectura para desarrollo y repositorios para respaldo y recuperación de datos, también la implementación de la plataforma tecnológica de software para las tareas de desarrollo: visual studio 2010 y tecnología .NET de Microsoft para la programación, Microsoft SQL Server 2010 como motor de base de datos, y librerías especializadas tanto comerciales como open source para diversos componentes del software; finalmente la selección de la metodología de desarrollo software Agile siendo esta la que mas se adapta al entorno de un proyecto de investigación y desarrollo multidisciplinario [9], en este caso de software para geociencias y que requería de mejoras continuas reflejo del proceso de innovación de técnicas de modelado de yacimientos que se llevo a cabo.

#### **3.2 Integración de Metodología Agile y Organización del Recurso Humano.**

La organización y método de trabajo del equipo humano fue uno de los elementos mas críticos para la puesta en marcha del proyecto y su adecuado desarrollo, el proyecto requirió de un equipo humano multidisciplinario en ciencias e ingenierías, a continuación describiremos los perfiles de los diferentes roles involucrados, en primer lugar los usuarios expertos en el campo de las geociencias con experiencia en computo muy focalizada al uso de herramientas altamente especializadas que replican procesos de análisis de datos en petrofísica, geología y geofísica; formativamente estos usuarios entienden los procesos de análisis y como interpretar la información desde su campo profesional, pero tienen poco o nulo conocimiento de los procesos computacionales (algoritmos, formulaciones matemáticas, modelos físico-matemáticos y modelos numéricos), que conforman la base de las herramientas computacionales que utilizan. En segundo lugar el equipo de analistas para recabar los requerimientos y realizar tareas de diseño del software con apoyo de los usuarios expertos asignados, en este caso nos encontramos con el problema de que los analistas aunque capacitados en el levantamiento de requerimientos y generación de los análisis y diseños estándar para ser trasladados al equipo de programación, no contaban con el conocimiento de ingeniería y geociencias para trasladar de forma directa la experiencia de los usuarios en los procesos de negocios propios de la actividad de construcción de modelos estáticos de yacimientos, es aquí donde la metodología Agile nos permitió formar equipos compactos formados por un analista, un matemático y un usuario experto del área de geociencias, para trasladar el conocimiento técnico de ciencias e ingeniería desde el usuario en geociencias, hasta el lenguaje de requerimientos, análisis y diseño de un proyecto de ingeniería de software. La inserción de un matemático (o físico-matemático), permitió construir un puente conceptual que cubriera dos vacíos conceptuales: a) las deficiencias de los usuarios expertos en cuanto a las bases físico-matemáticas y algorítmicas que son base de los procesos de análisis y modelado de yacimientos y b) las deficiencias por parte de los analistas de software en cuanto al conocimiento en los procesos de negocios para análisis y

modelado de yacimientos petroleros. Estas dos problemáticas fueron superadas gracias a la integración de estos equipos e insertados en el proceso Scrum, la metodología Agile nos permitió avanzar en el desarrollo de las diferentes funcionalidades del software muchas de las cuales requerían de mejoras incrementales conforme las técnicas de numéricas, y algoritmos eran ya sea implementados o desarrollados de cero para funcionalidades específicas requeridas.

Para dar una idea del grado de complejidad del software baste decir que incluye componentes de: aprendizaje de máquina, métodos numéricos avanzados, geoestadística, optimización de código, gráficos avanzados en 2D y 3D, procesamiento digital de señales, geometría computacional, optimización para el manejo de grandes bases de datos y de múltiples formatos de archivos, encriptado de datos y elementos avanzados de seguridad; lo anterior nos llevo a otro obstáculo que fue el reclutamiento de programadores con habilidades poco explotadas en el desarrollo de software en México, es decir no solo que dominarán las ultimas técnicas y tecnologías de programación (como .NET, Agile etc.), sino que además tuvieran la formación para entender y codificar requerimientos altamente matematizados y de modelos físicos, químicos, y de geociencias. Dados los tiempos acotados para el proyecto no se podía extender la búsqueda programadores que cumpliera al 100% los requerimientos deseados, dado que en México la formación del personal de programación esta enfocado en su mayoría al desarrollo de proyectos para campos administrativos, contables, WEB, y multimedios y por otro lado aquellos programadores con conocimientos físico-matemáticos provienen del campo de las ciencias básicas y su dominio de entornos de desarrollo de software, técnicas y lenguajes de programación se limita generalmente al uso de lenguajes Fortran, C, Python por citar algunos pero sin incorporar buenas practicas de programación o el uso de lenguajes de programación visuales, se encontró entonces con una escasez de personal con el perfil deseado, ya que había programadores con los conocimientos actualizados en técnicas y lenguajes de desarrollo, pero sin la experiencia y conocimientos en el campo del computo científico o viceversa. Para superar esta deficiencia se integro en forma análoga a los equipos de análisis y diseño del software, equipos compactos formados por matemático (o físico-matemático) y programador, de tal forma que la implementación a nivel prototipo de cada algoritmo requerido contaba con un equipo con las habilidades por un lado matemáticas y de computo científico y por otro lado de técnicas de programación avanzadas y de ingeniería de software. Asimismo la estructuración de estos equipos permitió el aprendizaje colaborativo de cada uno de sus integrantes al asimilar conocimientos de los otros integrantes durante el proceso de desarrollo de cada meta que tenían asignada. En las Figuras 4 y 5 se ilustra el esquema de organización de prototipado rápido basado en la metodología Agile para el desarrollo de las funcionalidades del modelador estático de yacimientos.



**Figura 4. Flujo de trabajo Scrum adaptado, cada Sprint fue de 3 semanas para el desarrollo incremental de cada prototipo funcional.**



**Figura 5. Flujo del prototipado rápido de algoritmos y técnicas computacionales del modelador.**

#### 4 CONCLUSIONES.

El desarrollo de software de alta complejidad para ciencia e ingeniería que involucra un proceso de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), requiere de considerar no solo la metodología de software que mejor se adapte a este proceso de I+D+i como en este caso el uso de la metodología Agile, sino también el entorno en el que se desenvuelve el proyecto, en nuestro caso en México, en particular se deben considerar las deficiencias en formación de los recursos



humanos requeridos en relación a los perfiles profesionales deseados, en el caso particular del proyecto aquí descrito, se requirió de modificar la estructura de los equipos dentro de la organización Scrum para incorporar un elemento de enlace que permitiera cubrir lagunas de conocimiento (en física y matemáticas relacionadas con el modelado de yacimientos), tanto de los usuarios expertos de geociencias como de los analistas y programadores y a su vez acelerar la curva de aprendizaje de los miembros de cada equipo sobre el conocimiento que la otra parte poseía, lo anterior posibilitó que el proyecto no sufriera retrasos a causa de la búsqueda de personal con el perfil deseado y que es sumamente escaso en México, evitándose así la afectación de los tiempos comprometidos para el proyecto ante el CONACYT, asimismo permitió que cada miembro del equipo se enfocara a maximizar sus habilidades en beneficio de la solución de las tareas y metas planteadas y se llevara una mejor comunicación entre todos los miembros del mismo rompiendo barreras creadas por la falta de comprensión del conocimiento que cada parte poseía. Finalmente, proyectos de esta naturaleza en México son la mejor preparación que el profesional de computo puede tener para acceder a proyectos de desarrollo de mayor valor agregado como es el caso del software especializado para ciencia e ingeniería requerido por industrias como la del gas y petróleo.

## 5 REFERENCIAS.

- [1] <http://www.conacyt.mx/index.php/fondos-sectoriales-constituidos2/item/conacyt-sener-hidrocarburos>
- [2] <http://www.conacyt.mx/index.php/fondos-sectoriales-constituidos2/item/conacyt-sener-hidrocarburos>: *Demandas Especificas 2010-01.pdf*
- [3] H. Cinco Ley, *Retos Tecnológicos de la Industria Petrolera*, Memorias del Encuentro Tecnológico Internacional sobre los Recursos Energéticos del Golfo de México, (Facultad de Ingeniería UNAM, México D.F.), (2008).
- [4] M. R. Islam, S. H. Moussavizadegan, S. Mustafiz, J. H. Abou-Kassem; *Advanced Petroleum Reservoir Simulation* (John Wiley & Sons, New Jersey), 466, (2010).
- [5] *Fondo Hidrocarburos: Informe Cero*, (Secretaría de Energía SENER, México D.F.), 65-67, (2013).
- [6] D. V. Ellis, J. M. Singer; *Well Logging for Earth Scientists* (Springer, The Netherlands), 692, (2008)
- [7] S. Chopra, K. J. Marfurt; *Seismic Attributes for Prospect Identification and Reservoir Characterization* (Society of Exploration Geophysicists, Tulsa OK USA), 464, (2007).
- [8] <http://www.corelab.com/ps/rock-properties>
- [9] M. T. Sleetholt, K. E. Hannay, D. Pfahl, H. P. Langtangen; *Computing in Science & Engineering*, March-April, 2-14, (2012).

## **4.8 ANÁLISIS DE APLICACIONES MÓVILES ORIENTADAS A VENTAS PARA LAS PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS.**

Ricardo Armando Barrera Cámara, David Aaron Carvalho Fontz.  
Universidad Autónoma del Carmen.  
rbarrera@pampano.unacar.mx, dacf96@hotmail.com.

### **RESUMEN.**

Actualmente, las pequeñas y medianas empresas han evolucionado en sus métodos de ventas, adoptando las nuevas tecnologías móviles para sus negocios y de esta forma mejorando la productividad del negocio. Esto se debe a existen en el mercado diferentes opciones para la implementación de estas tecnologías, los dispositivos móviles están siendo utilizados por las empresas para optimizar sus procesos de ventas y generar más ingresos en sus negocios. En este trabajo, se realizó una investigación de diferentes aplicaciones orientadas a ventas para las pequeñas y medianas empresas a través de dispositivos móviles, analizando sus características técnicas y funcionales, también se realizó la comparación de las herramientas, según su sistema operativo y el dispositivo móvil que emplean, cumpliendo con el objetivo de realizar un catálogo de las herramientas orientadas a ventas para las pequeñas y medianas empresas en dispositivos móviles.

### **ABSTRACT.**

Today, small and medium enterprises have evolved in their sales methods, adopting new mobile technologies for their businesses and thereby improving business productivity. This is because in the market there are different options for implementing these technologies, mobile devices are being used by businesses to optimize their sales and generate more income in your business. In this paper, an investigation of different sales-oriented applications for small and medium enterprises through mobile devices was performed by analyzing its technical and functional characteristics, the comparison of the tools was also performed, depending on your operating system and mobile device employing, fulfilling the objective of creating a catalog of sales-oriented tools for SMEs on mobile devices.

### **1. INTRODUCCIÓN.**

Hoy en día las tecnologías de información avanzan rápidamente para el apoyo de las pequeñas y medianas empresas, por lo que implementar las nuevas tecnologías es una necesidad, por que ayudan al agilizar los procesos que se emplean en los negocios. Una de las tecnologías que actualmente está en crecimiento son los dispositivos móviles, que son utilizados por la mayoría de los hogares y empresas. Estos, tienen el potencial de ser una gran herramienta para el uso en el área de las ventas de un negocio en crecimiento. Aunque estas tecnologías están a la mano, el problema para las pequeñas empresas es el no conocer que aplicaciones orientadas a ventas existen para estas tecnologías y por esta razón, no poder elegir una aplicación que logre satisfacer las necesidades que tiene el negocio, para incrementar sus estados de ventas y competir con las otras empresas que emplean las nuevas tecnologías en sus negocios, por esta razón, el desconocer los diferentes usos de estas tecnologías, provoca que las empresas mexicanas no empleen estas tecnologías, desperdiciando todo el potencial y el apoyo que puede darle a las pequeñas empresas en sobresalir en su negocio.

Los dispositivos móviles, no solo sirven para la transmisión de datos o de voz, sino que tienen una gran utilidad en aplicaciones educativas, como también en las áreas médicas, por lo que el empleo de estas tecnologías en el área empresarial es de gran ayuda para la optimización de los procesos de ventas que tienen las empresas. En la actualidad existen en el mercado diversas aplicaciones orientadas a ventas para los dispositivos móviles, por esta razón el elegir la herramienta más adecuada a las necesidades del negocio resulta difícil., Por lo que la elaboración de un catalogo de las diferentes aplicaciones, orientadas a las ventas dedicadas a los dispositivos móviles que se

encuentran en el mercado, sería de gran ayuda para las empresas por que permite tener una guía de algunas de las herramientas que se pueden usar.

## **2. PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS.**

Las PYMES en nuestro país forman la gran mayoría de la fuerza laboral, por este motivo se entienda la importancia que tiene este sector en la economía de la nación, esto quiere decir que cerca del 90% de las empresas son las pequeñas y medianas empresas [1]. Según [2], en México la gran mayoría de las PYMES son familiares y que la mayor parte de estas no están certificadas, además de que la mitad de estas empresas no utilizan ningún método de productividad. En la actualidad las pequeñas y medianas empresas en nuestro país se clasifican por la cantidad de empleados que tienen.

En nuestro país las pequeñas y medianas empresas son la mayoría del ingreso económico, por lo que países extranjeros nos generan fuertes competencias en el ámbito tecnológico, por este motivo es importante mejorar la competencia con otros países y, se puede innovar los siguientes aspectos [3]:

1. Elaborar tecnologías nuevas y mejorar los productos del país.
2. El Crear nuevos materiales y novedosos servicios.
3. Implementar las crecientes tecnologías para mejorar la economía de los negocios.

## **3. DISPOSITIVOS MÓVILES.**

Los dispositivos móviles, son dispositivos de información, cuentan con un tamaño pequeño y se transportan fácilmente, otras de sus características principales están su capacidad de almacenamiento de la información y que por medio de estos dispositivos podemos tener acceso a nuevos servicios, como lo son el internet [4].

Los dispositivos móviles se pueden identificar por ser ligeros, tener mayor rendimiento de energía y por su capacidad de almacenar la información, de esta forma se pueden clasificar en asistentes personales, Smartphone o teléfonos inteligentes y Tablets [5]:

- Asistente Digital Personal. Los asistentes personales o PDA, son unos dispositivos electrónicos que pueden cumplir con funciones de agendas personales, estas agendas pueden guardar mas información que la gran mayoría de los teléfonos, además de que cuentan con mayores dimensiones en sus pantallas y pueden procesar más datos, entre sus funciones están las de tener un calendario, bloc de nota y una lista de contactos, entre otras opciones [6].
- Teléfonos inteligentes. Los teléfonos inteligentes o comúnmente llamados smartphones son dispositivos móviles, que le permiten a los usuario llevarse una pequeña herramienta, por lo que pueden cumplir con funciones como el realizar cálculos, descargar videojuegos, comunicase con internet, ver videos, entre otras opciones, según [7] estos dispositivos móviles, además de ejecutar una gran variedad de procesos, lo que más ha llamado la atención de los clientes es su hardware y el sistema operativo que contiene el teléfono.
- Tablet. Las tabletas o tablets son un tipo de dispositivo móvil, que emplea las pantallas táctiles para su uso, este tipo de dispositivo móvil tiene unas características que combina las ventajas de procesamiento de una computadora portátil como lo son las netbooks o laptops y las funciones que tienen los asistentes digitales o PDA..

**4. ANÁLISIS DE APLICACIONES MÓVILES.**

Para poder realizar el análisis de las herramientas orientadas a ventas para dispositivos móviles, se descargaron aplicaciones gratuitas, las cuales están disponibles en el sitio de aplicaciones de cada sistema operativo móvil. Se consideración los siguientes aspectos:

- Sistema operativo del Cliente. Representan los sistemas operativos en la cual se ejecutan las aplicaciones específicamente móviles. Los sistemas operativos analizados fueron android y IOS. Esto considerando el alto número de dispositivos que utilizan estos sistemas operativos. Los elementos considerados son: sistema operativo, versión, autor o fabricante, licencia, requisitos del cliente, dispositivo orientado, sitio web.

Sistema Operativo:	Herramientas					
	OpenERP	Sales Manager	SAP CRM Sales	Openbravo	Salesforce	AkraGes
Android	X	X	X	X		X
iOS		X	X	X	X	X

**Tabla I. Análisis de herramientas en base al Sistema Operativo del Cliente.**

- Sistema operativo del servidor. La mayoría de las aplicaciones tiene una conexión cliente/servidor, por lo que es indispensable contar con un equipo servidor en donde se almacén las aplicaciones centrales y las bases de datos. Los sistemas operativos analizados fueron android y IOS. Esto considerando el alto número de dispositivos que utilizan estos sistemas operativos. Los elementos considerados son: sistema operativo, versión, autor o fabricante, licencia, requisitos del servidor, sitio web.

Sistema Operativo:	Herramientas					
	OpenERP	Sales Manager	SAP CRM Sales	Openbravo	Salesforce	AkraGes
Windows 2000	X					
Windows XP	X	X	X	X		
Windows Server 2000	X					
Windows server 2003	X					

Windows server 2008	X					
Windows Vista	X	X	X	X		
Windows 7		X	X			
Linux	X	X	X	X		
Unix				X		
Solaris				X		
MacOSX	X	X	X			

**Tabla II. Análisis de herramientas en base al sistema operativo del servidor.**

- Funciones administrativas esenciales o básicas. Las funciones administrativas que debe contener toda aplicación orientada al control o manejo de ventas.

Función administrativa	Herramientas:					
	OpenERP	Sales Manager	SAP CRM Sales	Openbravo	Salesforce	AkraGes
Administración de ventas	X	X	X	X	X	X
Toma de pedidos	X	X		X		
Administración de almacén	X	X		X		X
Registro de Clientes	X		X	X	X	X
Administración de finanzas	X	X		X		
Facturación		X				X
Actividades colaborativas			X		X	

**Tabla III. Análisis de las aplicaciones en base a sus funciones administrativas.**

Este trabajo dio como resultado la obtención de la herramienta OpenERP que es una aplicación de código abierto y de licencia libre, que puede realizar las funciones de venta y planificación de recursos empresariales, a través de los dispositivos móviles, esta herramienta es de utilidad para

una pequeña y mediana empresa porque, al ser de código abierto se puede adaptar a las necesidades de la empresa para mejorar sus ventas.

## **5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.**

El propósito de este trabajo, fue el realizar un catalogo de las diversas aplicaciones que existen para el apoyo en los procesos de las ventas de las pequeñas y medianas empresas, el análisis de las herramientas orientadas a ventas, dieron como resultado, que el uso de las tecnologías móviles en la actualidad están siendo utilizadas por diferentes negocios extranjeros para mejorar sus ventas, y que existen en la actualidad herramientas que le dan soporte a las pequeñas empresas para administrar los recursos empresariales y que están disponibles para los diversos dispositivos móviles, estos sistemas dividen las funciones administrativas en varios módulos, por lo que una empresa puede mejorar sus finanzas y procesos de venta al implementarlas, varias de estas tecnologías también usan el servicio en la nube, que no requiere de que la empresa instale un servidor, pero estos servicios no son gratuitos y cobran una tarifa para su uso, por lo que los sistemas de administración de recursos empresariales y de código abierto serian una alternativa para implementar en una empresa.

También, se investigo herramientas de ventas para las pymes en dispositivos móviles, y con ello se muestra que la tecnología móvil tiene un gran crecimiento en el mercado, y existen varias aplicaciones de código abierto que pueden ser empleadas para la optimización de los recursos de las empresas.

## **6. REFERENCIAS.**

1. Padilla S, Economía y Sociedad, **XIV**, 22, 11-22, (2008).
2. PROMEXICO, [en línea]  
<[http://www.promexico.gob.mx/es\\_mx/promexico/Retos\\_de\\_las\\_PYMEs\\_dentro\\_del\\_Comercio\\_Internacional](http://www.promexico.gob.mx/es_mx/promexico/Retos_de_las_PYMEs_dentro_del_Comercio_Internacional)> [consulta: 12 enero 2014].
3. Góngora Biachi, G, Investigación y Ciencia, **Vol 18**, 41, 21-30, (2010).
4. Martínez Carla, [en línea]  
<<http://www.mediatelecom.com.mx/index.php/telecomunicaciones/telefonía-movil/item/21980-dan-mipymes-uso-de-oficina-al-m%C3%B3vil>> [consulta: 12 enero 2014].
5. Galeano J, Scientia Et Technica, **XVII**, 46, 216-221, (2010).
6. Correa V, Horizontes Educativos, **1**, 10, 85-93, (2005).
7. Polanco K, Negotium, **7**,19, 79-96, (2011).

## **4.9 DESARROLLO DE APLICACIONES DE SOFTWARE MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DEL PROCESO DE DESARROLLO ÁGIL SCRUM Y EL PROCESO DE DESARROLLO TRADICIONAL RUP.**

<sup>1</sup>Martín Antonio Santos Romero, <sup>2</sup>Alicia Guadalupe Robertos Pinto.

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Chetumal, <sup>2</sup>Universidad de Quintana Roo.

<sup>1</sup>martin.santos@utchetumal.edu.mx, <sup>2</sup>alirober@uqroo.mx.

### **RESUMEN.**

El presente artículo expone la manera de cómo se pueden integrar las ventajas de un proceso de desarrollo ágil como SCRUM y un proceso de desarrollo tradicional como RUP (Rational Unified Process) para obtener un proceso combinado donde el objetivo principal sea garantizar que los sistemas cumplan con los requisitos y funcionalidades para las que serán diseñados, con entregas parciales que representen versiones del software funcionando, que puedan ser retroalimentadas y adaptables a los cambios, y además cuenten con una base de documentación sólida en cada entrega que permita en un momento dado conocer lo que se hizo y cómo se hizo, de manera que los cambios solicitados en la retroalimentación sean más fáciles de retomar, y al finalizar el proyecto se puede tener, a la par del producto final, un conjunto de entregables adicionales que puedan servir para mantenimientos y actualizaciones futuras del software.

Palabras clave: proceso, software, SCRUM, RUP, integración, fases.

### **ABSTRACT.**

This paper presents the way of how to integrate the advantages of an agile development process such as SCRUM and traditional development process such as RUP (Rational Unified Process) for obtain a combined process where the main objective is to ensure that systems meet requirements and functionality for which they are designed, with partial deliveries that representing versions of software running, which can be feedback and adaptable to changes, and also have a base of solid documentation for each delivery that allows at any given time knowing what was done and how it was made, so that the requested changes in the feedback are easier to resume, and when the project finish, jointly at the final product, an additional set of deliverables that can be used for maintenance and future updates of the software.

Keywords: process, software, SCRUM, RUP, integration, phases.

### **1. INTRODUCCIÓN.**

El desarrollo de software implica llevar a cabo numerosas tareas que se agrupan en fases o etapas, al conjunto de estas etapas se le llama proceso o ciclo de vida del desarrollo de software [2]. Estos procesos se dividen regularmente en procesos ágiles y tradicionales. Los procesos ágiles se emplean en entornos complejos donde se necesita obtener resultados pronto, los requisitos son cambiantes, la entrega del producto final se hace en piezas pequeñas funcionales, se da más énfasis a las comunicaciones cara a cara en vez de a la documentación, como lo es el proceso conocido como SCRUM. Caso contrario a los procesos tradicionales, como lo es RUP. Sin embargo, cada uno tiene sus ventajas y desventajas.

Los procesos SCRUM y RUP son iterativos. SCRUM es marco de trabajo para la gestión de un proyecto de desarrollo de software. Un proyecto en SCRUM se ejecuta en iteraciones temporales cortas y fijas (de dos a cuatro semanas) llamadas Sprint; cada sprint es un ciclo de desarrollo completo cuya fin es la entrega de un resultado que represente un incremento del producto final. Por otra parte, RUP es un proceso que implica un solo ciclo completo dividido en cuatro fases: iniciación, elaboración, construcción y transición [3]. Estas fases se enfocan al inicio a determinar y documentar todos los requerimientos, diseño, construcción, pruebas e implementación del sistema a través del uso de diferentes artefactos como casos de uso, diagramas de clases, de estado, de despliegue, etc., el cual una vez terminado completamente se presenta al cliente. Una característica de RUP es el uso de sus artefactos puede ser de acuerdo a las necesidades del desarrollo y solo se deben usar los necesarios. Se puede observar entonces que cada sprint de SCRUM representa un pequeño subproyecto del proyecto principal y por consiguiente un sprint puede llevarse a cabo empleando el proceso RUP para su desarrollo y generar un complemento al entregable del sprint.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Cuando se desarrolla software se debe seguir un proceso o ciclo de vida de desarrollo, el cual se lleva a cabo a través de fases o etapas donde se deben realizar un conjunto de tareas. Actualmente los procesos se dividen en procesos ágiles y tradicionales. Los procesos ágiles, como su nombre lo indica, se emplean en cuando se necesita obtener resultados pronto, los requisitos son cambiantes de un momento a otro, se requiere entregar avances del producto final, se prefiere estar en contacto directo y cara a cara con el equipo de trabajo y con el cliente, y no se hace énfasis en tanta documentación del proceso. Caso contrario a los procesos tradicionales, donde todo es un ciclo completo, todas las fases se hacen generando documentación de la misma y el producto final se entrega al cliente hasta el final de ciclo. Un proyecto generado con un proceso ágil como SCRUM, entrega resultados rápidos, pero presenta la problemática que una vez terminado el desarrollo no se genera la información necesaria para poder ser adaptables a los cambios y además no cuentan con una base de documentación sólida en cada entrega que permita en un momento dado conocer lo que se hizo y cómo se hizo, de manera que los cambios solicitados en la retroalimentación sean más fáciles de retomar, y al finalizar el proyecto se puede tener, a la par del producto final, un conjunto de entregables adicionales que puedan servir para mantenimientos y actualizaciones futuras del software. Esto se puede lograr integrando en cada iteración del SCRUM algunas fases y artefactos de un proceso tradicional como lo es el RUP.

### **2.1. Objetivos.**

El objetivo general fue integrar el proceso ágil de desarrollo de software SCRUM con el proceso tradicional de desarrollo de software RUP para obtener un proceso híbrido que permita desarrollar de manera ágil software documentado combinando las ventajas de cada proceso.

Para lo cual, se fijaron los siguientes objetivos específicos:

- Comparar las fases o etapas del proceso de desarrollo de software ágil SCRUM y el proceso de desarrollo tradicional RUP.
- Identificar las fases o etapas donde se pueden integrar ambos procesos.
- Definir los artefactos de documentación básicos necesarios para integrar al proceso ágil.
- Crear un proceso de desarrollo de desarrollo de software híbrido.



### 3. DESARROLLO.

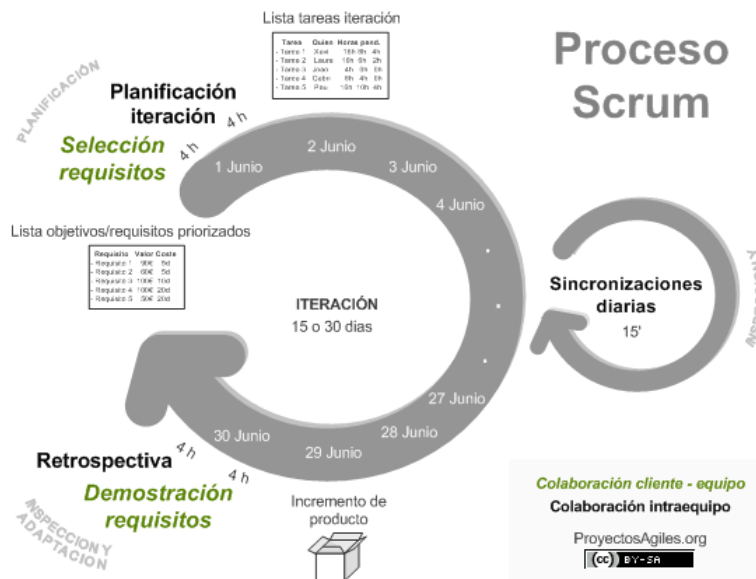
Un proceso de desarrollo de software, ya sea ágil o tradicional, implica ejecutar iteraciones ya sean cortas en tiempo o no y que permiten obtener un incremento o avance en el desarrollo del producto final. Ambos procesos pueden presentar sus ventajas y desventajas a la hora de emplearlos en un proyecto de desarrollo de software.

#### 3.1 Comparativa Scrum vs RUP.

Se procede a realizar una comparativa entre ambos procesos de desarrollo, analizando cada una de sus etapas o fases.

##### **Scrum.**

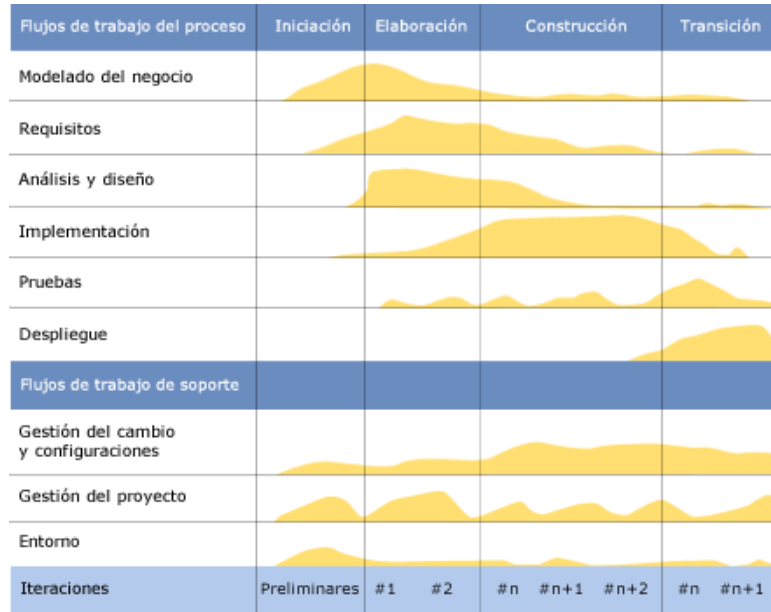
Un proyecto en SCRUM se ejecuta en iteraciones temporales cortas y fijas (de dos a cuatro semanas) llamadas *Sprint*; cada sprint es un ciclo de desarrollo completo cuya fin es la entrega de un resultado que represente un incremento del producto final. El proceso se inicia con una lista de priorizada de requerimientos conocida como *product backlog* y definida por el cliente o *product owner* como historias de usuario. En el primer día de cada sprint se realiza una reunión de planificación del sprint o *sprint planning* donde se hace una selección de los requisitos más prioritarios a cubrir en esta iteración y se crea una lista de tareas necesarias para desarrollar los requisitos o *sprint backlog*. Durante el periodo de cada sprint se realiza una reunión rápida diaria o *daily scrum* para conocer los avances del entregable y poder hacer las adaptaciones necesarias para cumplir con el compromiso, liderados por el *scrum master*. El último día de la iteración se realiza la reunión de revisión y retrospectiva del sprint o *sprint review and retrospective* donde se presenta al cliente los requisitos completados y se acuerdan las adaptaciones necesarias de manera objetiva, replanificando el proyecto; de igual manera se analiza la forma de trabajo para eliminar obstáculos identificados [1]. Para iniciar el siguiente sprint, nuevamente se comienza con la planificación del mismo (ver Figura 1).



**Figura 1. Proceso SCRUM**

**RUP.**

RUP es un proceso tradicional que implica un solo ciclo completo dividido en cuatro fases: *iniciación, elaboración, construcción y transición* [7]. Estas fases se enfocan al inicio a determinar y documentar todos los requerimientos, diseño, construcción, pruebas e implementación del sistema a través del uso de diferentes artefactos como casos de uso, diagramas de clases, de estado, de despliegue, etc., el cual una vez terminado completamente se presenta al cliente (ver Figura 2).



**Figura 2. Proceso RUP [8]**

**Scrum vs RUP.**

Las características principales de ambos procesos se pueden comparar y resumir en la siguiente tabla comparativa:

	<b>SCRUM</b>	<b>RUP</b>
<b>Enfoque</b>	Iterativo	Iterativo
<b>Ciclos</b>	Cada Sprint es un ciclo completo	Un solo ciclo formal definido en cuatro fases, las cuales pueden ser concurrentes
<b>Planeación</b>	No hay un plan de proyecto de principio a fin. Cada plan de la siguiente iteración se determina al final de la iteración actual. El Product Owner determina cuando el proyecto se terminó.	Se utiliza un plan de proyecto formal, asociado con múltiples iteraciones. El plan define una fecha final y tiene hitos intermedios.
<b>Alcance</b>	Scrum utiliza el Project backlog, el cual es evaluado al final de cada iteración (Sprint).	El alcance es predefinido antes del inicio del proyecto y documentado en el artefacto del Alcance del Proyecto. El

		alcance puede revisarse durante el proyecto, como se van aclarando los requerimientos. Pero estas revisiones están sujetas a un procedimiento estrictamente controlado.
<b>Artefactos</b>	El único artefacto formal es el software operacional entregado al finalizar cada Sprint y el proyecto completo.	Documento de Visión/Alcance, requerimientos funcionales y no funcionales, documento de arquitectura del sistema, plan de desarrollo, plan de pruebas, scripts de pruebas, etc.
<b>Tipo de proyecto/producto</b>	Recomendado para proyectos rápidos y organizaciones que no dependen de una fecha límite.	Recomendado para proyectos a nivel empresarial, grandes, a largo plazo y de complejidad media a alta.

**Tabla I. Comparativa Scrum vs. RUP**

De lo anterior se definieron las etapas o fases que contendrá el proceso combinado de ambos procesos de desarrollo de software.

### 3.2 Product Backlog.

El cliente o Product Owner define el Product Backlog o lista de requerimientos del producto ya priorizada, el cual se puede decir que es el inicio de un proyecto SCRUM (ver Tabla II).

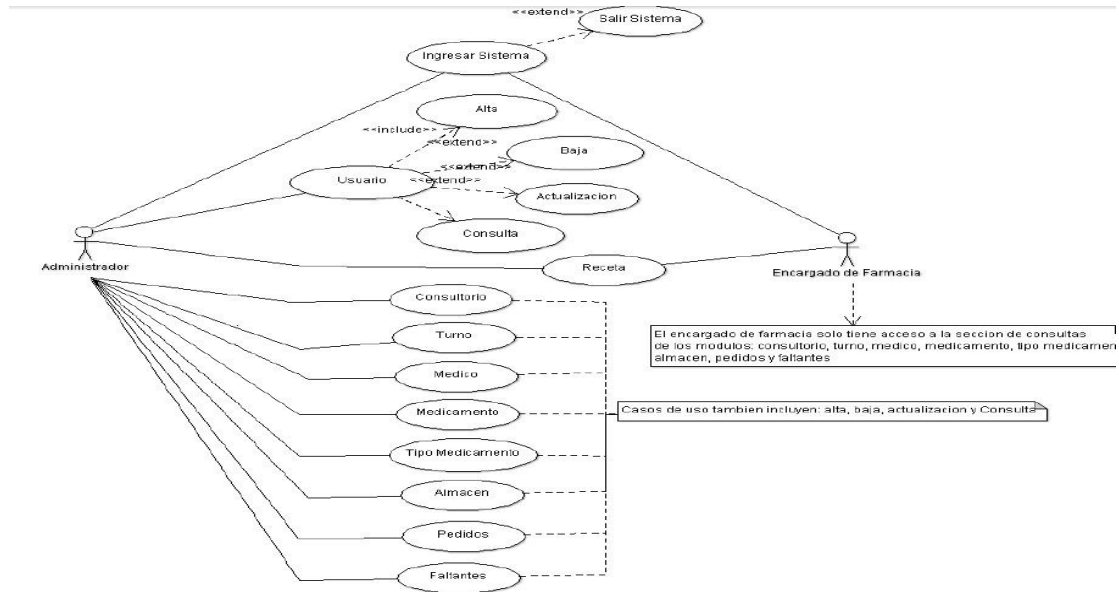
Proyecto:					
Smart Medical Stocktaking					
ID	Nombre	Usuario	Descripción	Sprint	Notas
1	Ingresar al sistema por medio de un logeo.	Administrador/Encargado Farmacia	Se inicia sesión mediante un usuario y contraseña.	7	Se con prueba
2	Crear registro de usuario	Administrador	Se realizará la inserción de un nuevo registro con la información del usuario: nombre, apellido paterno, apellido materno, usuario y contraseña, asignándole una clave de identificación a cada	7	
3	Modificar registro de usuario	Administrador	Se podrá realizar modificación en registros previamente creados en la sección.	7	
4	Eliminar registro de usuario	Administrador	Se podrá eliminar un registro existente de la sección.	7	
5	Generar reporte de usuarios	Administrador	Desplegará un listado con todos los datos de los usuarios registrados para el unos del sistema.	7	
6	Crear registro del medico	Administrador	Se realizará la inserción de un nuevo registro con la información del medico: nombre, apellido paterno, apellido materno y cedula, asignándole una clave de identificación a cada registro nuevo	8	
7	Modificar registro del medico	Administrador	Se podrá realizar modificación en registros previamente creados en la sección.	8	
8	Eliminar registro del medico	Administrador	Se podrá eliminar un registro existente de la sección.	8	
9	Generar reporte de medicos	Administrador	Desplegará un listado con todos los datos de los medicos registrados en el sistema.	8	
10	Crear registro del turno	Administrador	Se realizará la inserción de un nuevo registro con la información del turno: clave y descripción, el primer elemento mencionado corresponde a una clave de identificación a cada registro nuevo creado.	9	
11	Modificar registro del turno	Administrador	Se podrá realizar modificación en registros previamente creados en la sección.	9	
12	Eliminar registro del turno	Administrador	Se podrá eliminar un registro existente de la sección.	9	
13	Generar reporte de turnos	Administrador	Desplegará un listado con todos los datos de los turnos registrados en el sistema.	9	
14	Crear registro de consultorio	Administrador	Se realizará la inserción de un nuevo registro con la información del consultorio: identificador del turno y del medico, asignándole una clave de identificación a cada registro nuevo creado.	10	
15	Modificar registro de consultorio	Administrador	Se podrá realizar modificación en registros previamente creados en la sección.	10	
16	Eliminar registro de consultorio	Administrador	Se podrá eliminar un registro existente de la sección.	10	
17	Generar reporte de consultorios	Administrador	Desplegará un listado con todos los datos de los consultorios registrados en el sistema.	10	
18	Crear registro de los tipos de medicamentos	Administrador	Se realizará la inserción de un nuevo registro con la información del tipo de medicamento: clave y descripción, el primer elemento mencionado corresponde a una clave de identificación a cada registro	11	
19	Modificar registro de los tipos de medicamentos	Administrador	Se podrá realizar modificación en registros previamente creados en la sección.	11	

**Tabla II. Ejemplo product backlog.**

Adicionalmente a que el cliente es el encargado de definir el product backlog, en esta etapa se debe reforzar esta lista usando un artefacto de RUP el cual es el *Documento de Requerimientos Funcionales y No Funcionales*. Esto debido a que no siempre los clientes tienen la habilidad para

expresar sus requerimientos en forma de *historias de usuarios*, aunado a que no siempre el cliente tiene bien claro lo que quiere y se le puede orientar a definir bien sus procesos.

De igual manera, se puede generar *casos de uso* generales que representen el Modelado del Negocio, para entender de manera completa el proceso o procesos principales que el cliente quiere automatiza (ver Figura 3).



**Figura 3. Ejemplo modelado del negocio.**

### 3.3 Iteración o Sprint.

Una vez que se hace definido junto con el cliente el *product backlog* se hace una selección de los requisitos más prioritarios a cubrir en cada iteración y se crea una lista de tareas necesarias para desarrollar los requisitos o *sprint backlog*.

Cada Sprint representa un ciclo, en la cual se debe generar un entregable funcional como incremento al producto final.

Debido a lo anterior, se puede considerar que esta etapa es la principal del Scrum donde se debe hacer uso de las etapas del RUP y sus artefactos.

### Integración de las etapas RUP al Sprint Scrum.

Las etapas del RUP que se integran al Sprint de Scrum son:

#### **Fase de Iniciación.**

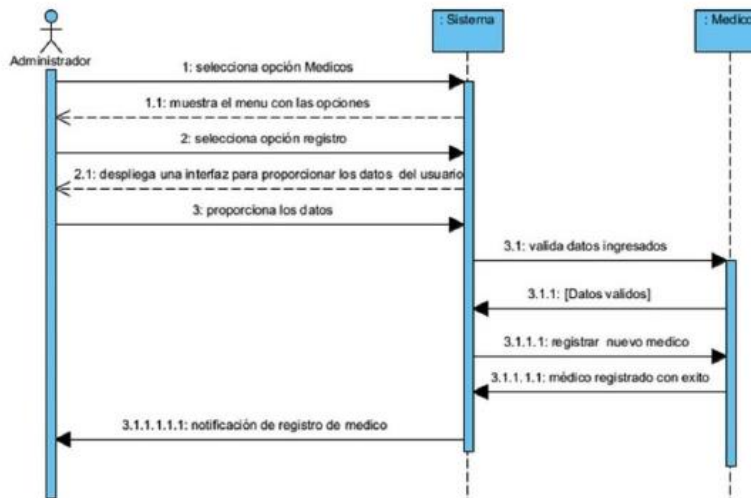
Se comienza definiendo el sprint backlog que representará el Documento de Modelado del Negocio para un determinado módulo entregable, de igual manera se puede generar un diagrama de caso de uso general que represente al módulo. Considerándolo como si fuera un único proyecto independiente de desarrollo de software.

SPRINT 8: Diseño de entorno "Médicos"							
SPRINT	INICIO	DURACIÓN					
8	10-jul-13	19					
			Inicio	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
				10-jul	11-jul	12-jul	13-jul
			Cantidad de Tareas Pendientes	X 19	18		16
			Horas de Trabajos Pendientes	Y 76	72	68	64
PILA DEL SPRINT							
Product Backlog ID	Tarea/Actividades	Tipo	Estado	Responsable			
H8.1	Submodulo alta de médicos						
H8.1.1	Crear formulario de registro de médicos	Diseño	Terminado	Antonio Alberto de Jesus Cervera Pereira	4		
H8.1.2	Validar el formulario de registro de médicos	Diseño	En Curso	Antonio Alberto de Jesus Cervera Pereira		2	
H8.1.3	Capturista da de alta a médicos	Diseño	No Iniciado	Antonio Alberto de Jesus Cervera Pereira			
H8.1.4	Crear formulario de respuesta a registro	Diseño	Terminado	Antonio Alberto de Jesus Cervera Pereira			
H8.1.5	Query para insertar el registro del nuevo	Diseño	No Iniciado	Antonio Alberto de Jesus Cervera Pereira			
H8.1.6	Crear pruebas para testeo	Diseño	No Iniciado	Antonio Alberto de Jesus Cervera Pereira			
H8.2	Submodulo baja de médicos						
H8.2.1	Crear formulario de eliminación de médicos	Diseño	Terminado	Antonio Alberto de Jesus Cervera Pereira			
H8.2.2	Validar formulario de eliminación de médicos	Diseño	En Curso	Antonio Alberto de Jesus Cervera Pereira			
H8.2.3	Query para eliminar el registro del médico	Diseño	No Iniciado	Antonio Alberto de Jesus Cervera Pereira			
H8.2.4	Crear pruebas para testeo	Diseño	No Iniciado	Antonio Alberto de Jesus Cervera Pereira			
H8.3	Submodulo de modificación de datos de médicos						
H8.3.1	Crear formulario de búsqueda de médicos	Diseño	Terminado	Antonio Alberto de Jesus Cervera Pereira			
H8.3.2	Validar formulario de búsqueda de médicos	Diseño	En Curso	Antonio Alberto de Jesus Cervera Pereira			
H8.3.3	Crear formulario de datos de médicos encontrado con opción de selección	Diseño	Terminado	Antonio Alberto de Jesus Cervera Pereira			
H8.3.4	Validar formulario de datos de médicos encontrado con opción de selección	Diseño	En Curso	Antonio Alberto de Jesus Cervera Pereira			
	Crear formulario de datos de médicos abierto a						

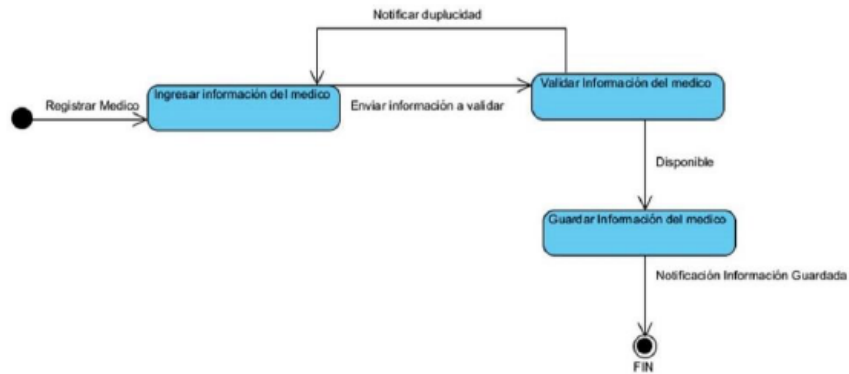
**Tabla III. Ejemplo sprint backlog.**

### FASE DE ELABORACIÓN.

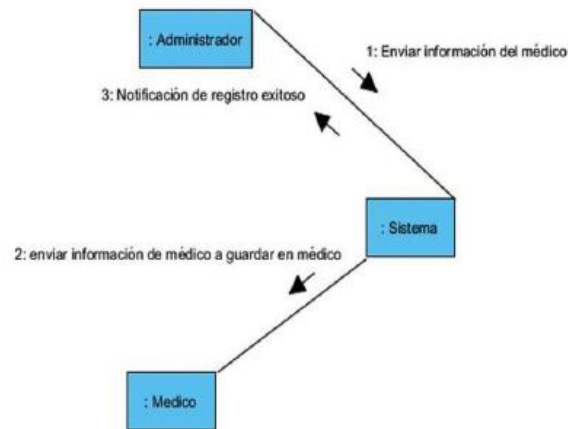
Basados en el sprint backlog del entregable se documenta, generando los diagramas de secuencia, de estado y de colaboración. Lo que representa el análisis de requerimientos.



**Figura 4. Ejemplo diagrama de secuencia.**

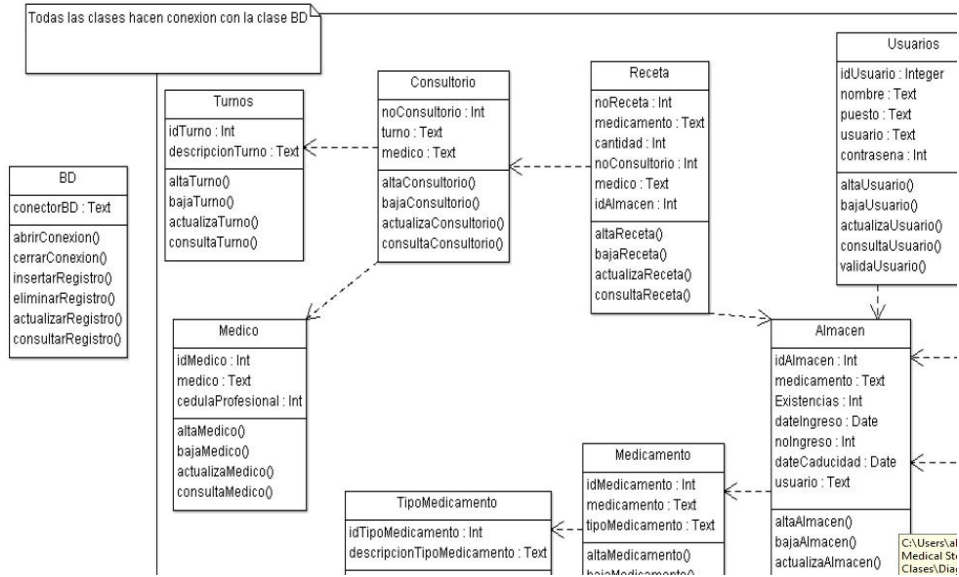


**Figura 5. Ejemplo diagrama de estado.**

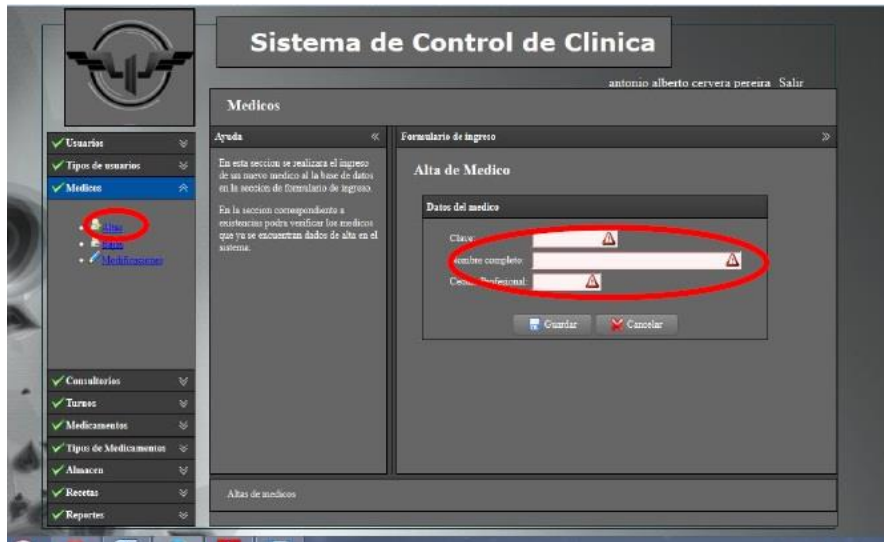


**Figura 6. Ejemplo diagrama de colaboración.**

De igual manera, se hace el diseño del módulo, documentándolo con el diagrama de clases, diagrama entidad-relación y el diseño de las interfaces del usuario.



**Figura 7. Diseño del diagrama de clases.**



**Figura 8. Diseño de una interfaz de usuario.**

**FASE DE CONSTRUCCIÓN.**

En esta fase se procede ya a la codificación de cada módulo o entregable, realizando la documentación del código, en el cual se pueden seguir estándares de calidad. Así como, un plan de pruebas del software desarrollado, de tal manera que cuando llegue el día de la *reunión de revisión y retrospectiva*, el módulo esté libre de errores técnicos y probablemente libre de errores funcionales. Se puede documentar usando los diagramas de componentes y con los casos de prueba.

---

### **FASE DE TRANSICIÓN.**

Finalmente, antes de proceder al despliegue, se realiza y documenta En esta fase se realiza la documentación a través de diagramas de despliegue.

### **INTEGRACIÓN.**

Al finalizar todo el proyecto, se integra cada entregable funcional y toda la documentación generada para tener un entregable adicional para el cliente y el equipo de desarrollo.

### **4. RESULTADOS.**

Se mantuvo la base del Scrum, y se consideró cada Sprint como un proyecto independiente, de manera que cada Sprint se convierte en único ciclo donde se pudo integrar el proceso RUP para reforzar el Sprint con un proceso más organizado y documentado. En cada Sprint se agregaron las fases básicas del RUP, quedando el proceso híbrido de la siguiente manera:

- Product backlog
- Sprint
  - Inicio
  - Elaboración
  - Construcción
  - Transición
- Integración

De esta manera al finalizar un proyecto de desarrollo de software ágil, se obtiene además del producto final, la documentación necesaria para sus futuros mantenimientos y actualizaciones.

### **5. CONCLUSIONES.**

Integrar el proceso ágil de desarrollo de software SCRUM con el proceso tradicional de desarrollo de software RUP permitió obtener un proceso híbrido para desarrollar de manera ágil software documentado combinando las ventajas de cada proceso. Se mantuvo la base del Scrum, y se consideró cada Sprint como un proyecto independiente, de manera que cada Sprint se convierte en único ciclo donde se pudo integrar el proceso RUP para reforzar el Sprint con un proceso más organizado y documentado. Esto es para generar la información necesaria para poder ser adaptables a los cambios y además cuenten con una base de documentación sólida en cada entrega que permita en un momento dado conocer lo que se hizo y cómo se hizo, de manera que los cambios solicitados en la retroalimentación son más fáciles de retomar, y al finalizar cada proyecto se tiene un conjunto de entregables adicionales que puedan servir para mantenimientos y actualizaciones futuras del software.



## 6. REFERENCIAS.

- [1] Guía oficial SCRUM, recuperado el 18 Marzo de 2014. Disponible en: <https://www.scrum.org/Portals/0/Documents/Scrum%20Guides/2013/Scrum-Guide-ES.pdf#zoom=100>
- [2] Pressman, Roger S. Ingeniería de Software. Un enfoque práctico. Mc-Graw Hill, Sexta edición. (2006).
- [3] Sommerville, Ian. Ingeniería del software. Pearson Addison Wesley, Séptima edición. (2005).
- [4] Kendall, Kenneth y E.Kendall, Julie. Análisis y Diseño de Sistemas, Sexta edición. Editorial Pearson. (2005).
- [5] Craig Larman. UML y Patrones. Prentice Hall, Segunda edición. (1999).
- [6] James Rumbauch, Ivar Jacobson y Grady Booch (2000). El lenguaje unificado de modelado, Manual de referencia. Primera edición en español. Extraído el 17 de Julio de 2013.
- [7] Metodología RUP - desarrollo de software de calidad, recuperado el 02 de Febrero de 2014. Disponible en: <http://www.uhu.es/sevirtual/ocw/politecnico/ingenieria-software/material/001.pdf>
- [8] Ciclo de vida de RUP, recuperado el 02 de Febrero de 2014. Disponible en: [http://software-kelly.blogspot.mx/2012/10/que-es-rup-y-su-ciclo-de-vida\\_15.html](http://software-kelly.blogspot.mx/2012/10/que-es-rup-y-su-ciclo-de-vida_15.html)

#### **4.10 SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE AULAS Y DISTRIBUCIÓN DE HORARIOS.**

Oscar Iván Martínez Arce, Benjamín López González, Bany Sabel Hernández Cardona, Roberto Cano Rojas, Mauro Sánchez Sánchez, Citlalih Yollihtli Alejandra Gutiérrez Estrada. Instituto Tecnológico de Toluca.

oima\_91@hotmail.com, benklg80@hotmail.com,  
banyshc@yahoo.com, bob\_cano25@hotmail.com, mss\_ms2@hotmail.com ,  
citlalihg@ittoluca.edu.mx

#### **RESUMEN.**

Las instituciones educativas de cualquier nivel, se enfrentan cada ciclo escolar a un problema con la asignación de horarios y grupos, principalmente aquellas con gran matrícula.

Aún en la actualidad, existen instituciones que delegan esta función a una persona o grupo de personas, quienes lo hacen de manera manual, invirtiendo gran cantidad de tiempo y con inexactitud, generando con ello conflictos administrativos e insatisfacción en docentes y estudiantes, es por ello que un sistema computacional que realice cálculos exactos puede ser la solución.

Si el trabajo es dividido y además es validado por un sistema, las tareas tienden a volverse más sencillas y eficientes en cuanto a recursos materiales y de tiempo, porque esto, además de ser una herramienta electrónica, está ayudando de forma indirecta a ahorrar papel y así se protegerá al medio ambiente.

El sistema de administración de aulas es un software con una plataforma web que atiende estas dificultades anteriormente presentadas, por lo que se convierte en una herramienta indispensable para las instituciones en esta era digital.

#### **ABSTRACT.**

Educational institutions from any level afford the problem of schedules and groups assignment, mainly those which have more demand. There are many institutes which delegate this function to one person or perhaps a group of people who do these tasks manually, thus they spend a lot of time and it could be an inaccurate work that produces administrative conflicts and disappointed teachers and students.

Therefore, a Computational System which makes operations more precisely could be the solution. If the work is divided and it is validated with a Computational System, all the tasks become easier and more efficient because they can be done in less time. On the other hand, if this is an electronic tool, it saves material resources like paper, so that becomes in a tool which protects the environment indirectly.

The system 'Administración de Aulas y Distribución de Horarios' is a web platform software which is able to solve many or almost all the difficulties already presented, that is what becomes this software in an essential tool for institutions on this digital era.

### 1. INTRODUCCIÓN AL SISTEMA.

El sistema de administración de aulas y distribución de horarios es una solución compuesta por variedad de herramientas que ayudan a los coordinadores de las carreras o instituciones a la elaboración de sus horarios. El administrador del sistema puede asignar a uno o varios coordinadores para que se encarguen de cierta área de la institución para así dividir y reducir la carga de trabajo sobre ellos, además cada uno de éstos puede controlar y modificar de forma individual cada materia, programa de estudios, profesor asignado, los distintos grupos, las aulas correspondientes, entre otras cosas.

El sistema está desarrollado principalmente para los institutos tecnológicos que se rigen bajo las normas de la DGEST, por lo que puede ser implementado al 100% por cualquiera de los estos institutos. Todas las fases del ciclo de vida del software se han llevado a cabo dentro del Instituto Tecnológico de Toluca y se ha ofrecido como la solución a los problemas previamente mencionados.

### 2. LOS ROLES DEL SISTEMA Y SUS FUNCIONES.

El sistema de Administración de Aulas funciona con 2 tipos de usuarios únicamente con privilegios distintos, es decir que se encargan de gestionar distintas áreas del sistema. El primer tipo de usuario, al cual llamaremos 'coordinador' se encarga únicamente de un área específica de la institución, puede ser una carrera, especialidad, departamento, etcétera. El segundo tipo de usuario llamado 'administrador', se encarga de supervisar las operaciones realizadas por los coordinadores. Esto se vuelve más sencillo al momento de administrar horarios de múltiples áreas independientes.

El sistema permite monitorear de forma remota cualquier tipo de movimiento realizado por alguno de los usuarios.



**Figura 1. Interfaz de monitoreo de las operaciones realizadas.**

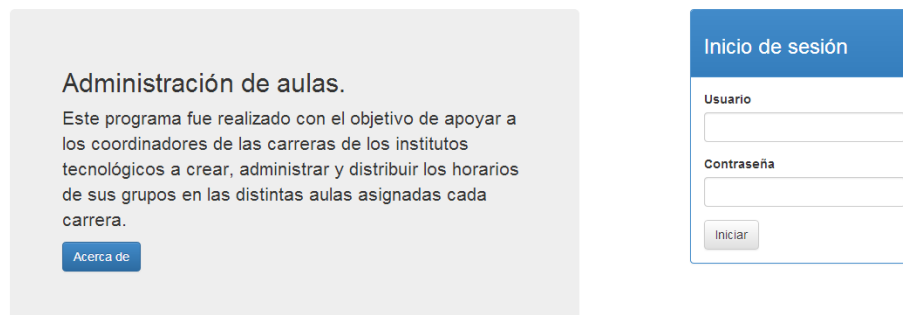
Este proceso de monitoreo es llevado a cabo por ambos usuarios con la diferencia de que mientras un administrador puede ver todas las operaciones realizadas por todos los usuarios, incluyendo a otros administradores, el coordinador puede solo ver las operaciones realizadas en su departamento.

A continuación se enlistan algunas de las actividades más importantes que realiza un coordinador al momento de la creación de horarios y asignación de aulas, anteriormente de manera manual y que ahora son automatizadas por este sistema.

- Dar de alta los profesores que van a impartir clase en su carrera.
- Dar de alta las materias de su retícula.
- Dar de alta las especialidades que corresponden a la carrera.
- Crear grupos con los datos anteriores y modificarlos a su antojo.
- Consultar y editar en cualquier momento los datos ingresados por el coordinador.
- Imprimir reportes de las aulas asignadas por el administrador.
- Crear horarios en las aulas asignadas y con los grupos propiamente ingresados por el usuario.
- Consultar estadísticas sobre el movimiento de los grupos, profesores y materias.
- Ver cada horario de forma independiente en cada aula.
- Modificar su perfil y cambiar contraseña y nombre de usuario.

### 3. CONOCIENDO LA INTERFAZ.

La seguridad del software forma parte de la calidad de éste, es por ello que se ha implementado un módulo de inicio de sesión que identifique a cada usuario y que no le permita acceder a módulos que no le han sido autorizados por un administrador.



**Figura 2. Pantalla que muestra el inicio de sesión del usuario.**

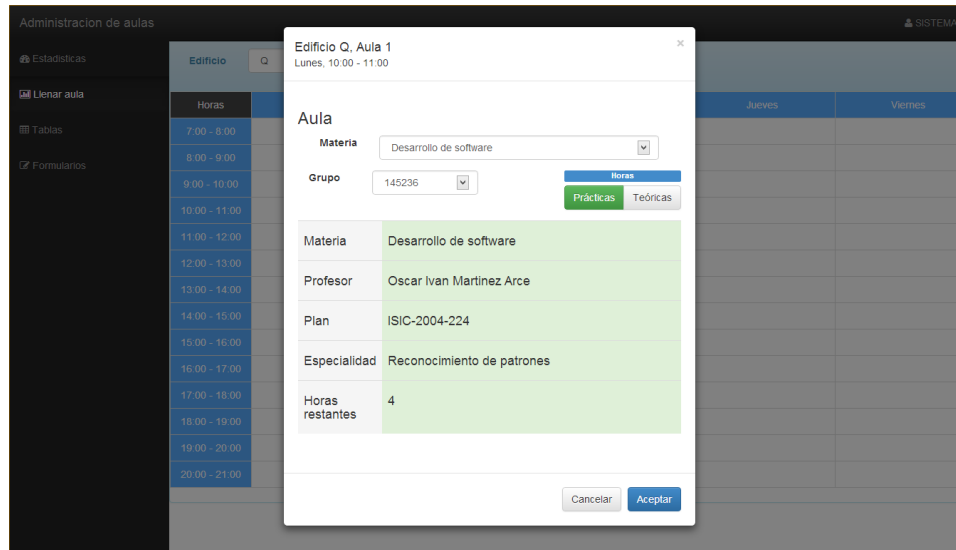
Una vez dentro del sistema, el coordinador podrá elegir alguna de las aulas, laboratorios o cubículos que les hayan sido proporcionados. Cada aula se muestra en una matriz en base al tiempo, siendo las filas las horas y las columnas los días.

Edificio		Aula						
Q		1						
Horas	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes			
7:00 - 8:00								
8:00 - 9:00								
9:00 - 10:00								
10:00 - 11:00								
11:00 - 12:00								
12:00 - 13:00								
13:00 - 14:00								
14:00 - 15:00								
15:00 - 16:00								
16:00 - 17:00								
17:00 - 18:00								
18:00 - 19:00								
19:00 - 20:00								
20:00 - 21:00								

**Figura 3. Esta es la matriz que muestra el aula en base al tiempo.**

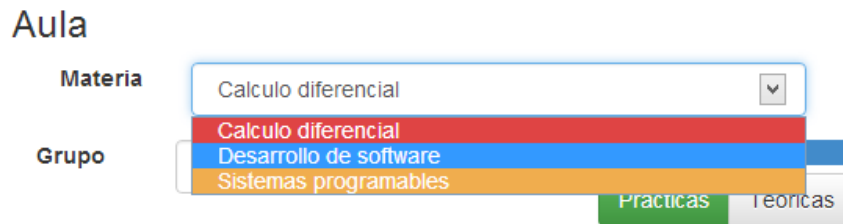
El módulo de asignación de aulas es el que se convierte en el más importante de este proyecto puesto que aquí se administra toda la información obtenida de una base de datos, ya sea de forma local o de aquella proporcionada por el Instituto Tecnológico en el que se implemente la aplicación.

En la figura 4. Se muestra cómo podemos ir viendo cada grupo ofertado en la institución y distintos parámetros relevantes para el coordinador como lo son: el nombre de la materia, el código del grupo, el nombre del profesor, etcétera. También se puede saber si ese grupo es teórico o práctico para ser colocado en un laboratorio o un aula simple. Se observa que al final aparece un parámetro que dice horas restantes y estas indican la cantidad de horas que faltan por acomodar.



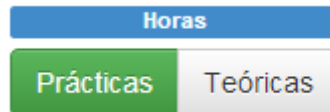
**Figura 4. Captura de ejemplo al seleccionar un horario en un aula.**

En la lista de la que seleccionas las materias, se notará que mientras se acomodan los grupos, algunas materias se van tornando a rojo, y eso se debe a que ya agotaste los grupos de esas materias. Si aún existen grupos, el color deberá ser amarillo.



**Figura 5. Código de colores del sistema.**

Los botones mostrados en la figura 6 sirven para ubicar las horas que se están acomodando, puesto que en la retícula, existen materias con horas prácticas y horas teóricas.



**Figura 6.**

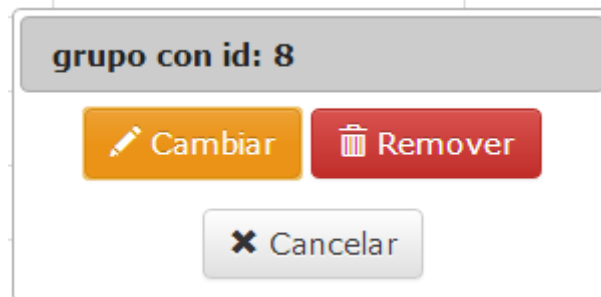
Una vez seleccionado un grupo y una materia, se inserta en la base de datos y aparece como el la siguiente figura.

Horas	Lunes
7:00 - 8:00	741258/Calculo diferencial
8:00 - 9:00	
9:00 - 10:00	
10:00 - 11:00	

**Figura 7. Un grupo correctamente acomodado**

El grupo será insertado inmediatamente en el día y la hora que hayas seleccionado.

Si se da click sobre un grupo ya acomodado aparecerá la siguiente pantalla emergente.



**Figura 8. Pantalla emergente.**

Se tienen 2 opciones, cambiar o quitar ese grupo de esa hora. Si se hace click en remover, el grupo será eliminado inmediatamente, y si se da click en cambiar, nuevamente aparecerá la pantalla de elegir grupo, para que selecciones el nuevo y lo sustituyas por el que había anteriormente.

#### **4. REFERENCIAS PARA EL DESARROLLO DE LA APLICACIÓN**

Para el desarrollo de la aplicación fue necesario el uso de frameworks de programación que faciliten el ciclo de vida del software. A continuación se muestra la lista de los lenguajes de programación y los frameworks utilizados.

HTML, CSS, JS (<http://www.w3schools.com/> )

Las herramientas básicas de toda web. Toda la parte de vista está programada con estas tres tecnologías.

Bootstrap framework (<http://getbootstrap.com/> )

Está claro que el tener una interfaz agradable al usuario ayuda mucho para el entendimiento del mismo, es por eso que me apoyé en este framework de diseño basado en Twitter Bootstrap para mejorar cada página de esta web.

JQuery framework (<http://jquery.com/>)

Y cómo olvidarnos de la facilidad que nos provee JQuery para la ejecución de scripts en nuestras webs, este framework fue utilizado para casi todas las páginas, para dar un efecto animado y más atractivo al usuario.

Spring Framework (<http://spring.io/>)

En estos días necesitamos llevar el desarrollo de software a un nivel más alto, pero para esto no vamos a empezar todo desde cero, debemos reutilizar las tecnologías existentes. Spring es un framework que provee todas las herramientas necesarias o al menos las más utilizadas para llevar una metodología de desarrollo ágil con nuestras aplicaciones web.

JSPDF

Muchas veces no nos basta con conocer los datos y tenerlos en electrónico. A veces queremos o necesitamos imprimirlos en papel para digerir mejor la información o bien para buscar otro medio de publicación de la información.

Hibernate Framework (<http://hibernate.org/>)

El manejo de las bases de datos puede ser muy complicado, sobre todo cuando la aplicación tiende a crecer, para eso he acudido al framework de hibernate, con el que podemos cambiar la manera de ver y manipular nuestros datos.



#### 4. 11 AUDITORÍA DE SEGURIDAD INFORMÁTICA UTILIZANDO UN SMARTPHONE.

MIT. Vladimir Veniamin Cabañas Victoria, MSI. Laura Yésica Dávalos Castilla, MTI.  
Melissa Blanqueto Estrada y MSI. Rubén Enrique González Elixavide.  
Universidad de Quintana Roo.

Blvd. Bahía Esq. Ignacio Comonfort S/N Col. Del Bosque. C.P. 77019 Chetumal, Quintana  
Roo Tel (983) 8350300.  
{vdrakul, laurad, Melissa, rglz}@uqroo.mx.

#### RESUMEN.

*Pentesting* (*Penetration test* o *Pent Test* en inglés) es el proceso que se puede utilizar para realizar diagnósticos que revelen la manera, el procedimiento y/o las técnicas en las que un intruso (persona no autorizada) logra acceso a un sistema informático, ya sean dispositivos de red, de impresión, archivos, aplicaciones, bases de datos, etc. En otras palabras, en el *pentesting* se simula un ataque como lo haría un intruso.

Los teléfonos inteligentes (Smartphones) son dispositivos que pueden ser utilizados para realizar pruebas rápidas de *pentesting*; pueden ser configurados con el propósito de realizar pruebas de seguridad in situ e identificar las áreas prioritarias que requieren pruebas de penetración más robustas

Con las herramientas adecuadas un *smartphone* puede brindar una primera y posiblemente una muy buena impresión de la configuración y el estado de los sistemas informáticos con el objetivo de identificar problemas, amenazas, configuraciones no adecuadas, y que necesariamente este primer análisis daría paso para realizar otro análisis con mayor profundidad utilizando un equipo más especializado.

#### ABSTRACT.

A Pent Test (Penetration test) is a process that can be used in order to carry out assessments to show the way, procedure and/or the techniques used by an intruder (unauthorized person) to access any type of computer system, for instance: network device, printing device, files, applications, databases, etc. In other words, a Pent Test is a simulation of an intruder's attack.

Smartphones are devices that can be used to perform quick Pent Tests since they can be configured with the aim of carrying out security tests in situ and therefore identifying the most important areas that require more severe infiltration tests.

Using the adequate tools, a Smartphone can provide a first impression and possibly a very good idea of the configuration and current status of computer systems, allowing us to identify problems, threats, inadequate configurations, etc. This first analysis would necessarily lead to another deeper analysis using more specialized equipment.

## 1. INTRODUCCIÓN.

La seguridad informática es un área que ha estado cobrando mayor importancia dentro de las organizaciones que usan las tecnologías para realizar sus actividades (comerciales, financieras, sociales, médicas, etc.) y la preocupación por este tema va en aumento ya que hay miles de maneras para sabotear una red informática, dispositivos de comunicación, aplicaciones, bases de datos, redes sociales, etc. Los propósitos pueden ser muy variados: desde: robo de información, sabotaje, espionaje, por diversión, para probar nuevas técnicas y casi cualquier motivo que una persona pudiera tener. Por ejemplo ¿qué pasaría si una persona decidiera hoy atacar sus sistemas?, esta es una de las preguntas que organizaciones y compañías se plantean para aumentar su seguridad informática, pero ellos ¿cómo pueden saber si sus medidas de seguridad son realmente robustas y suficientes? Para esto pueden usar una prueba de penetración o (Penetration Test o Pentest en inglés) que es una herramienta de diagnóstico que revela de qué manera un intruso podría lograr el acceso no autorizado a los sistemas de información. En otras palabras se simula un ataque tal como lo haría un hacker.

### Objetivo.

Realizar una prueba de *pentesting* utilizando un Smartphone con un sistema operativo basado en unix y configurado con una suite de herramientas soportadas por el dispositivo.

### Pentest.

*Pentest* es la práctica de una empresa de terceros de confianza de intentar poner en peligro la red informática de una organización con el propósito de evaluar su seguridad. Mediante la simulación de un ataque directo, los gerentes pueden presenciar el potencial de un malicioso atacante que puede obtener o causar daños a los activos de datos de esa empresa. (1)

PenTest es como comúnmente se denomina a los "Test de penetración" y son en conjunto la forma de denominar a una serie de técnicas utilizadas para evaluar la seguridad de redes, sistemas de computación y aplicaciones involucradas en los mismos. (2)

### Tipos de Pruebas.

**Black-box test:** En esta prueba de penetración el *tester* no tiene conocimiento previo de la empresa. Por ejemplo, si se trata de una prueba de caja negra, al *tester* se le podría dar una dirección del sitio web o la dirección IP para intentar comprometer el sitio web como si fuera un hacker malicioso del exterior.

**White-Box test:** El *tester* tiene conocimiento completo de la red interna, cuenta con diagramas de red y/o una lista de los sistemas operativos y las aplicaciones antes de realizar las pruebas. Aunque no es el más representativo de los ataques externos, esto es el más preciso, ya que presenta un escenario del peor caso, donde el atacante tiene conocimiento completo de la red.

**Gray-box o cristal-box test:** El *tester* simula ser un empleado, se le da una cuenta en la red interna y el acceso estándar a ella. Esta prueba evalúa las amenazas internas dentro de la empresa.

### Herramientas.

Las herramientas disponibles para efectuar estas pruebas de penetración pasan por varios grados de complejidad, y el manejo de algunas de ellas puede ser todo un reto a la inteligencia y sagacidad del atacante o "*pen-tester*". Entre ellas se incluyen desde *scanners* de puertos, complejos algoritmos para descifrar claves, sistemas de intrusión por fuerza bruta, herramientas de *sniffing* de redes y penetración de *firewalls*, así como también herramientas de escaneo de

vulnerabilidades de aplicaciones web y mucho más. Todo un mundo de aplicaciones en su mayoría desarrolladas para entorno Linux (el entorno preferido para este tipo de trabajo) con las cuales el proceso de intento de penetración se hace mucho más "simple". Estas herramientas suelen estar agrupadas en lo que se conoce como "Toolkits" o juegos de herramientas (2)

Entre estos *toolkits* podemos encontrar el famoso *backtrack* uno muy bueno para este tipo de pruebas y su sucesor es el *Kali Linux* el cual será el utilizado en este proyecto (3).

#### **Acciones e intenciones del pentest.**

Los Auditores de Seguridad (*Pentesters*) deben poner a disposición del cliente la información detallada asociada a las acciones que se tomarán como parte de la Prueba de Seguridad.

Si se descubre la presencia de atacantes (*hackers*) en el sistema de un cliente durante la prueba de Seguridad, los Auditores deben informar al cliente tan pronto como sea posible.

Cualquier tercera entidad a la que pudiera afectar la prueba de Seguridad debería ser informada de la naturaleza de la misma.

Puede ser un requisito legal en algunos países el entregar notificaciones de intenciones y acciones referidas a la Prueba de Seguridad. En el Reino Unido, los auditores son responsables por una variedad de razones si no proveen dichas notificaciones. Esto supone una violación de los acuerdos contractuales, un acto de negligencia o una infracción a la legislación vigente, como el Acta de Uso Inapropiado de Ordenadores de 1990. (4)

#### **Beneficios del pentest.**

Los *PenTest* permiten priorizar riesgos y proponer acciones, con acento en las áreas alrededor de las amenazas principales. Las buenas pruebas ayudan a entender por qué los problemas pueden ser críticos, mientras dan sentido y dirección a los cambios sugeridos. El plan de acción que derive de las pruebas debe considerar el impacto desde el punto de vista de la probabilidad de ataques, vulnerabilidad y valor de los activos, así como el esfuerzo a realizar en materia de planeación, implementación y administración.

En todo caso, las pruebas de penetración más eficaces permiten correlacionar el impacto de los riesgos y su probabilidad, encontrando el punto óptimo para cada empresa.

Las pruebas de penetración sirven también para: motivar el cambio hacia el incremento de controles, enfocar los esfuerzos técnicos, generar conciencia y sentido de urgencia. Pero, si de verdad se quiere lograr esto es necesario organizar una demostración final de los ejercicios de irrupción,

Y para cerrar el círculo conviene también organizar una reunión técnica con el fin de valorar a detalle los hallazgos, definir la forma de presentarlos a la alta dirección y trazar la estrategia a seguir. Entre las prohibiciones a fijar entre quienes ejecutarán las pruebas están: no instalar jamás puertas traseras (*back doors*), ni ocultar aplicaciones de acceso remoto (*bots*, troyanos, *rootkits* y demás); no borrar, alterar o inhabilitar registros y, desde luego, no apagar o modificar el comportamiento de las herramientas de detección establecidas.

Entre los puntos que debe contener el informe posterior a las pruebas de penetración están: un resumen para la alta administración; un análisis de los riesgos principales; recomendaciones

agrupadas por tipo de dispositivo, sistema operativo, bases de datos o servidores de dominio y las acciones concretas a seguir.

## **2. METODOLOGÍA.**

Un *PenTest* comprende múltiples etapas con diferentes tipos de actividades en distintos ámbitos y entornos. La profundidad con que se lleven a cabo las actividades dependerá de ciertos factores, entre los que se destaca el riesgo que puede generar hacia el cliente alguno de los métodos que se apliquen durante la evaluación.

Se establece un previo acuerdo con el cliente para llevar a cabo las diferentes fases del análisis, que se describen a continuación:

**Fase de reconocimiento:** Posiblemente, esta sea una de las etapas que más tiempo demande; se definen objetivos y se recopila toda la información posible que luego será utilizada en las siguientes fases. La información que se busca abarca desde nombres y direcciones de correo de los empleados de la organización, hasta la topología de la red, direcciones IP, entre otros. Cabe destacar que el tipo de información o la profundidad de la pesquisa dependerán de los objetivos que se hayan fijado en la auditoría.

**Fase de escaneo:** Utilizando la información obtenida previamente se buscan posibles vectores de ataque. Esta etapa involucra el escaneo de puertos y servicios. Posteriormente se realiza el escaneo de vulnerabilidades que permitirá definir los vectores de ataque.

**Fase de enumeración:** El objetivo de esta etapa es la obtención de los datos referente a los usuarios, nombres de equipos, servicios de red, entre otros. A esta altura de la auditoría, se realizan conexiones activas con el sistema y se ejecutan consultas dentro del mismo.

**Fase de acceso:** En esta etapa finalmente se realiza el acceso al sistema. Esta tarea se logra a partir de la explotación de aquellas vulnerabilidades detectadas que fueron aprovechadas por el auditor para comprometer el sistema.

**Fase de mantenimiento de acceso:** Luego de haberse obtenido el acceso al sistema, se busca la manera de preservar el sistema comprometido a disposición de quien lo ha atacado. El objetivo es mantener el acceso al mencionado sistema perdurable en el tiempo. (5)

## **3. MARCO CONCEPTUAL.**

### **3.1 Kali Linux.**

Kali Linux es una distribución de GNU/Linux avanzada para pruebas de penetración y auditorías de seguridad, Kali es una completa reconstrucción de Backtrack Linux y se adhiere completamente a los estándares de desarrollo de Debian. (6)

Kali contiene un conjunto de más de 300 herramientas que pueden ser utilizadas para realizar pruebas de penetración, es de distribución libre y gratuita, entre las novedades mas importantes con respecto a otros sistemas es que se ha puesto especial énfasis en el soporte a dispositivos inalámbricos y soporte ARMEL y ARMHF que son sistemas basados en ARM. (6)

### 3.2 Android.

Android es un sistema operativo basado en el kernel de Linux, diseñado principalmente para dispositivos móviles con pantalla táctil, como teléfonos inteligentes o tabletas, inicialmente desarrollado por Android Inc, fué *Google* quien respaldó el desarrollo de éste y finalmente en 2005 la adquirió.

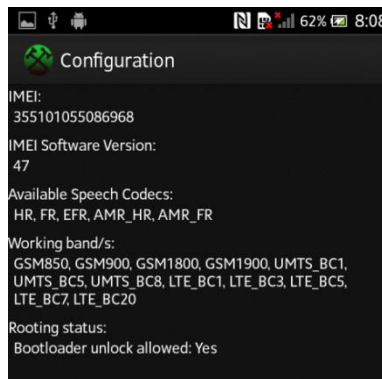
En los sistemas Android, una ROM o Firmware es un archivo que contiene todo el sistema operativo listo para ser copiado en la memoria flash (ROM) del dispositivo. En este se encuentran todos los archivos necesarios para su ejecución. Un APK (*Android Application Package*) es el equivalente a la extensión exe en sistemas basados en Microsoft Windows, que permite instalar aplicaciones en el sistema operativo; es un empaquetado derivado de un archivo tipo JAR que contiene archivos necesarios para su ejecución.

ROOT es probablemente el término mas familiar para los usuarios de sistemas basados en GNU/Linux, donde *root* es el superusuario, que puede modificar el sistema, cambiar configuraciones, borrar archivos protegidos, etc. *Bootloader* es el gestor de arranque en Android, este se carga de inicializar el *kernel* y todos los procesos necesarios para iniciar el sistema operativo, al ser Android un sistema operativo de código fuente abierto, el *bootloeadar* suele variar entre los diferentes fabricantes de dispositivos y muchos de ellos no permiten desbloquear el *bootloader*, para instalar una ROM o *Kernels* modificados es necesario realizar un desbloqueo del *bootloeadar*.(7)

## 4. DESARROLLO.

### 4.1 Root en Android.

Existe un método para tener un mayor acceso al teléfono el cual es conocido comúnmente como rooteo, cabe hacer mención que el método que se describe a continuación es sólo para el dispositivo Xperia V Lt25i de la compañía Sony. Lo primero que se debe realizar es accesar al menú de servicio utilizando `*##7378423##` para verificar en *Rooting Status* si *Bootloader Unlock allowed* es Yes.



**Figura 1. Rooting Status**

El segundo paso consiste en realizar un desbloqueo del cargador de inicio (*bootloader*), para ello es necesario consultar la página oficial de Sony, la cual después de ingresar datos del dispositivo proporciona una llave que permite concluir el proceso.

El tercer paso consiste en utilizar una versión de *firmware* e instalarla con la herramienta *Flashtool* la cual cambiará el *kernel* y todo el *firmware* del dispositivo móvil.

#### 4.2 Kali Linux en el dispositivo móvil

Una vez realizado el proceso de “rooteo” es posible a través de 3 aplicaciones (*Linux Deploy*, VNC y *BuzyBox*) realizar la instalación del sistema operativo Kali Linux



Figura 2. Propiedades para configuración

La Figura 2 muestra las opciones de configuración que permiten instalar el sistema operativo Kali Linux, permite especificar la distribución, la arquitectura en la cual se implementara (en este caso ARMEL), el tipo de instalación, componentes, ambiente de escritorio, servicios que arrancan al inicio, propiedades de gráficos, scripts y unidades de montaje. Una vez realizada la instalación, es necesario “conectarse” al nuevo sistema, por lo cual se utiliza VNC para llevar a cabo la conexión como se muestra en la Figura 3.

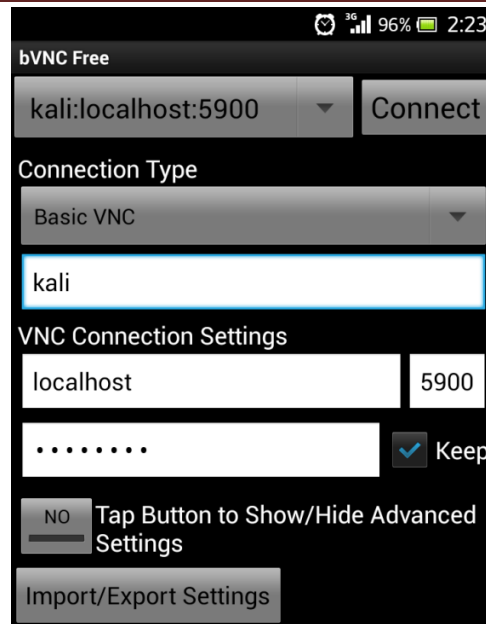


Figura 3. Conexión a Kali Linux a través de VNC.

Al realizar la conexión a través de VNC, se tiene acceso al sistema Kali Linux como en cualquier otra terminal, la Figura 4 muestra la pantalla principal del sistema operativo instalado en el dispositivo móvil.

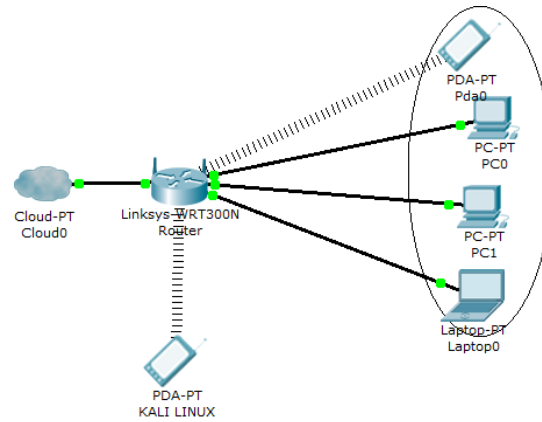


Figura 4. Sistema Operativo Kali Linux corriendo en el dispositivo móvil.

Una vez ejecutado el sistema por primera vez, es necesario instalar y/o configurar algunas de las herramientas básicas para realizar actividades de auditoría en seguridad informática o de pentest; para las fases de escaneo y reconocimiento.

### 4.3 Prueba inicial.

El esquema de conexión del dispositivo móvil se puede apreciar en la Figura 5, donde el teléfono se ha conectado a un punto de acceso en la red objetivo.



**Figura 5. El dispositivo móvil conectado a una red objetivo.**

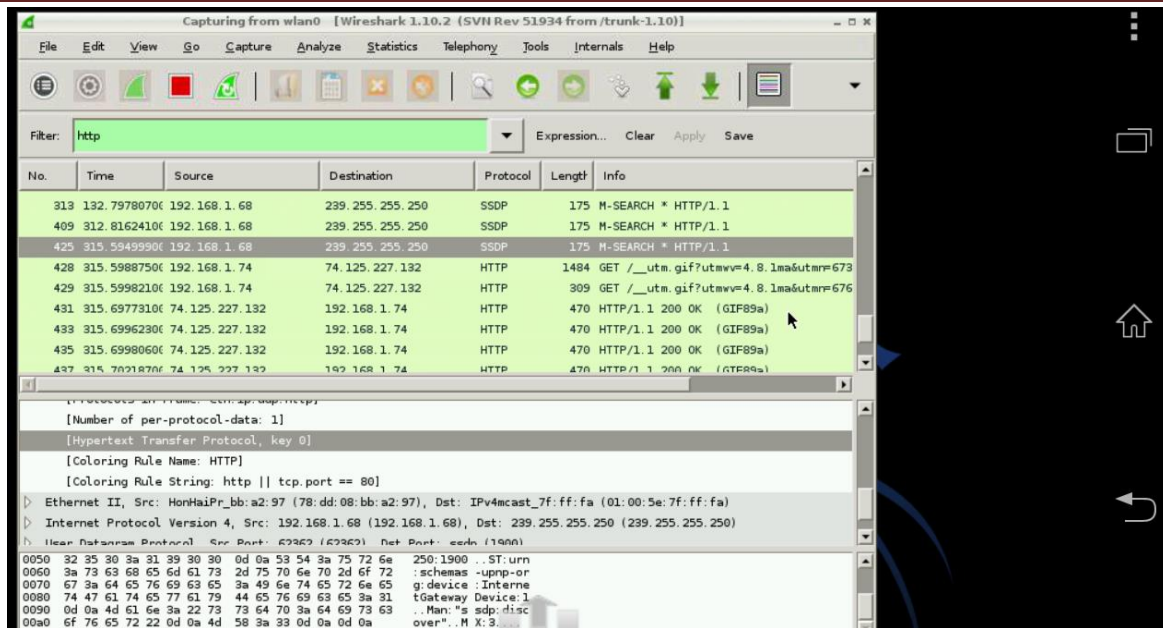
Una vez conectado a la red, una prueba de *pentest* requiere las fases descritas en la metodología, específicamente para este proyecto se utilizar *nmap* y *wireshark*. La Figura 6 muestra el resultado de ejecutar *nmap* con la opción `-Pn` la cual reduce el tiempo de respuesta del escaneo y la figura 7 muestra el resultado de ejecutar *wireshark* para “escuchar” el tráfico de la red objetivo.

```

File Edit Tabs Help
Starting Nmap 6.40 ( http://nmap.org ) at 2013-12-02 21:13 CST
Nmap scan report for 192.168.1.64
Host is up (0.13s latency).
All 1000 scanned ports on 192.168.1.64 are filtered
Nmap done: 1 IP address (1 host up) scanned in 15.17 seconds
android@localhost:~$ nmap -Pn 192.168.1.74
Starting Nmap 6.40 ( http://nmap.org ) at 2013-12-02 21:14 CST
Nmap scan report for LuisZetina.lan (192.168.1.74)
Host is up (0.010s latency).
Not shown: 992 filtered ports
PORT      STATE SERVICE
135/tcp   open  msrpc
139/tcp   open  netbios-ssn
445/tcp   open  microsoft-ds
554/tcp   open  rtsp
2869/tcp  open  iclslap
5357/tcp  open  wsdapi
10243/tcp open  unknown
49155/tcp open  unknown
Nmap done: 1 IP address (1 host up) scanned in 14.02 seconds
android@localhost:~$
  
```

**Figura 6. Resultados de ejecutar *nmap* en el dispositivo móvil.**





**Figura 7. Resultado de ejecutar *wireshark* para escuchar el tráfico en la red objetivo.**

## CONCLUSIONES.

Al llevar a cabo pruebas para las fases de reconocimiento y escaneo en *pentesting* utilizando un dispositivo móvil, nos podemos dar cuenta del estado en materia de seguridad que muchas redes guardan. De una manera rápido y sencilla, el método aquí descrito nos permite obtener información valiosa de la red, como sus rangos de direcciones, los servidores que se encuentran activos, los sistemas operativos que en ellos corren, las versiones de protocolos y aplicaciones en la red, credenciales de usuarios, archivos y toda clase de información que puede llegar a ser muy sensible. Pero eso no es todo, al incorporar mas herramientas y al hacer uso de las ya contenidas en la suite, se puede pasar a las fases de ataque en las que la manipulación, robo y eliminación de información es altamente perjudicial para las organizaciones que cada vez mas dependen de las tecnologías de información para llevar a cabo sus actividades cotidianas.

## REFERENCIAS.

- [1] Newman A. W. (2005). Penetration Testing and Network Defense. Indianapolis. Cisco Press.
- [2] Maulini, M (4 de Diciembre 2010 <http://tecnologíasweb.blogspot.mx>. Recuperado el 01 de Febrero de 2014 de [htt@tecnologíasweb.blogspot.mx/2010/12/que-es-pen-test-herramientas-de-pen.htm](http://tecnologíasweb.blogspot.mx/2010/12/que-es-pen-test-herramientas-de-pen.htm)
- [3] Offensive Security,. (2013). Kali.org recuperado el 10 de Enero de 2014 de <http://es.docs.kali.org/introduction-es/que-es-kali-linux>
- [4] Herzog, P. Manual de la metodología abierta de testo de Seguridad OSSTMM. (2003).
- [5] Catoira.F: (2012) Hackersenlared. Recuperado el 02 de Febrero de 2014 de <https://hackersenlared.wordpress.com/category/capacitacion/que-es-un-pentest/>
- [6] Kali Org. Kali Linux Documentation. Recuperado el 07 de Febrero de 2014 de <http://es.docs.kali.org/introduction-es/que-es-kali-linux>
- [7] Bootloader. Sony Mobile. Recuperado el 07 de Febrero de 2014 de <http://unlockbootloader.sonymobile.com/>

## **4.12 ESQUEMA DE SEGURIDAD CONTRA ATAQUES DOS Y DDOS.**

Área técnica: Computación.

Laura Dávalos Castilla, Vladimir Cabañas Victoria, Melissa Blanqueto Estrada.

Universidad de Quintana Roo.

Blvd. Bahía Esq. Ignacio Comonfort S/N Col. Del Bosque. C.P. 77019  
Chetumal, Quintana Roo.

Tel (983) 8350300 ext 276.

[lauradavalos@gmail.com](mailto:lauradavalos@gmail.com) , [vdrakul@uqroo.mx](mailto:vdrakul@uqroo.mx), [vdrakul@gmail.com](mailto:vdrakul@gmail.com) [melissa@uqroo.mx](mailto:melissa@uqroo.mx)

### **RESUMEN.**

Actualmente es común escuchar de ataques dirigidos principalmente a los servidores Web, que hacen que el sitio no esté disponible por algún tiempo, a este tipo de ataques se les denomina denegación de servicios DoS y denegación de servicios distribuido DDoS. El servidor web del Diario de Quintana Roo ha sido objeto de ataques Distribuidos de Denegación de servicio, al recibir de forma masiva peticiones legítimas mismas que lograron colapsar el servicio proporcionado por la aplicación de noticias.

Al utilizar el módulo apache *mod\_evasive* se consigue redirigir el tráfico de dichas peticiones a un error y el apache *mod\_security* sirve de WAF (Web application Firewall, o Firewall para la aplicación web), mitigando no sólo ataques DDoS sino también otros tantos, aplicando reglas de filtrado que se diseñan como políticas. Primero se realizaron ataques controlados a dicho servidor para verificar las vulnerabilidades existentes, se implementaron las medidas de seguridad instalando y configurando el *mod\_evasive* y el *mod\_security* en el servidor aplicando las políticas diseñadas para tal fin, por último se volvieron a realizar los ataques controlados y se midió la efectividad de la implementación del esquema de seguridad.

### **1. INTRODUCCIÓN.**

El crecimiento de usuarios conectados es proporcionalmente directo al crecimiento de las medidas de seguridad en los nuevos procedimientos para compartir información. Si bien es cierto que las vulnerabilidades en las aplicaciones Web, generalmente se encuentran en la capa de aplicación del modelo OSI, pues son el resultado de escritura defectuosa del código; independientemente de los métodos de codificación que el programador utilice para proteger sus aplicaciones, el punto más crítico hoy en día son los servidores Web.

Un ataque de denegación de servicio es cualquier acción, iniciada por una persona o cualquier otra causa, que incapacite al hardware, software, o ambos, de su host y que lleve a que no se pueda llegar a su sistema y después deniegue el servicio de legitimar (o incluso deslegitimar) usuarios. En un ataque DoS o DDoS, el objetivo del atacante es sencillo: sacar a su host(s) de la red" [1]. Para este caso específico, entenderemos como ataques de denegación de servicios al flujo masivo de peticiones al servidor Web a través del protocolo TCP/IP.

El departamento en seguridad en cómputo de la Universidad Autónoma de México/UNAM-CERT junto con la colaboración de Andrés Romero Mier y Terán y Mauricio Andrade, el 10 de marzo de 2009 publicó la tutoría llamada "Aspectos Básicos de la Seguridad en Aplicaciones Web" donde encontramos una breve descripción de los problemas esenciales de seguridad en las aplicaciones Web y algunos consejos sobre cómo solucionarlos. Las sugerencias descritas en esta tutoría

aportan al presente documento la guía necesaria para aplicar algunas técnicas de mitigación de ataques más frecuentes.

### **Modulos de Apache.**

Es muy sencillo ampliar las capacidades del servidor Web Apache. Cualquiera que posea una experiencia decente en la programación de C o Perl puede escribir un módulo para realizar una función determinada. Esto significa que hay una gran cantidad de módulos Apache para su utilización. [2]

*mod\_evasive* es un módulo para Apache que proporciona una acción evasiva en el caso ataques DoS o DDoS HTTP o de fuerza bruta. También está diseñado para ser una herramienta de detección y gestión de la red, y puede ser fácilmente configurado para comunicarse con ipchains, firewalls, routers, etcétera. *Mod\_evasive* también rinde informes de abusos a través de servicios de correo electrónico y syslog. [3]

*mod\_security* es un firewall de aplicaciones web (WAF). Con más de 70% de los ataques ya realizados sobre el nivel de aplicación Web, las organizaciones necesitan toda la ayuda que puede obtener en la toma de sus sistemas de seguridad. WAF se implementan para establecer un nivel mayor de seguridad externa para detectar y / o prevenir los ataques antes de que lleguen a las aplicaciones web. *Mod\_security* proporciona protección contra una serie de ataques contra aplicaciones web y permite el seguimiento del tráfico HTTP y análisis en tiempo real con pocos o ningún cambio a la infraestructura existente. [4]

### **1.1 Planteamiento del problema.**

El sistema de noticias online del Diario de Quintana Roo, se implementó usando las herramientas CMS Joomla, que a su vez está desarrollada con PHP, java, xml, html y css como lenguajes de programación, MySQL como gestor de bases de datos y se ejecutan a través del servidor apache. Este servidor web ha sido objeto de ataques DoS, por lo cual se desea implementar un esquema de seguridad que proteja al servidor de esta vulnerabilidad

### **1.2 Hipótesis.**

La implementación y configuración de los módulos de Apache con sus respectivas políticas de seguridad protegerá el servidor web. El *mod\_evasive* servirá para tener protección específica contra ataques DoS o DDoS, mientras que el *mod\_security* servirá de firewall de aplicaciones Web evitando incluso otro tipo de ataques dirigidos al sistema de noticias online del Diario de Quintana Roo.

## **2. METODOLOGÍA.**

Se divide el trabajo por etapas en las que se realizarán los análisis, instalaciones y/o configuraciones correspondientes para cada caso. Dichas etapas son las siguientes:

**Análisis.** De acuerdo a la experiencia obtenida debido a ataques anteriores, se identificaron los tipos de ataques más frecuentes y de igual modo se detectaron algunas vulnerabilidades del servidor web, comprometiéndolo ante situaciones de ataques del tipo DoS o DDoS reales y monitorizados, lo anterior permite definir las medidas de protección, una vez hecho esto también se obtienen las bases para establecer políticas de monitoreo de los sistemas críticos.

**Implementación.** Una vez detectadas las vulnerabilidades, se procede a implementar el software y su configuración correspondiente para este caso específico, así como las políticas de seguridad que permitirán mitigar algún posible ataque.

**Pruebas.** Mediante el uso de algunas herramientas se simulan algunos ataques controlados para probar la resistencia del servidor. Para determinar un mejor nivel de seguridad apropiado para el servidor, se deben realizar pruebas continuamente hasta lograr un resultado satisfactorio, se considera un éxito, el que las herramientas efectúan las tareas de evasión de ataques del tipo DoS o DDoS.

**Monitoreo.** Se debe utilizar el software instalado para monitoreo del sistema, cabe señalar que el administrador de servidores ya ha utilizado y probado el uso de herramientas como netstat y Nagios.

Todas las implementaciones y configuraciones de software para mitigación de ataques Dos se realizan sobre el servidor web del Diario de Quintana Roo, a menos que se indique lo contrario y debido a que el sistema de noticias alojado en dicho servidor en el que se harán las pruebas debe verse afectado lo menos posible, todo experimento se efectúa en un ambiente controlado, en una hora en la que no haya tantos usuarios del sitio. Por eso dichas pruebas se realizaron al terminar con la edición del día, aproximadamente a las dos de la mañana.

### **3. DESARROLLO.**

#### **3.1 Análisis de la vulnerabilidad.**

Se realizaron pruebas que demostraron la vulnerabilidad del sitio. Dichos ensayos se realizaron en un ambiente controlado, es decir, con un miembro del departamento de cómputo y telemática del Diario de Quintana Roo observando el proceso, monitorizando el tráfico hacia al servidor web con la herramienta netstat, esto nos permitió constatar la vulnerabilidad del apache. Un 'atacante' externo efectuó el envío masivo de peticiones por el puerto 80 del protocolo TCP/IP con la herramienta Http Attack, durante el ataque, se ejecutó la herramienta netstat en el servidor web para monitorear el tráfico generado por el 'atacante' y la herramienta nagios para observar el status de los servicios.

Mediante el netstat se pudo ver que todas las solicitudes hechas al servidor fueron atendidas lo que ocasionó que este colapsara incluso antes de terminar con el envío de las 4000 peticiones configuradas en la herramienta Http Attack y el servidor apache fue derribado al cabo de aproximadamente minuto y medio después de haber empezado el ataque, con la consecuente inhabilitación del sistema de noticias online del Diario de Quintana Roo, lo que fue constatado mediante su propio servidor web y a través de nagios.

#### **3.2 Implementación del *mod evasive*.**

*Mod\_evasive* Es un módulo que integra estrategias evasivas en el servidor apache, es decir, en caso de un ataque DoS o DDos proporciona una acción evasiva al redirigir el tráfico de peticiones ilegítimas del puerto 80 del protocolo TCP/IP hacia un error 403 (prohibido).

La detección se realiza mediante la creación de una tabla hash interna dinámica de direcciones IP y URIs, negando cualquier dirección IP que realice cualquiera de las siguientes acciones:

- Hacer más de dos peticiones a la misma página por segundo.
- Hacer más de 50 solicitudes simultáneas en el mismo child process por segundo.
- Seguir realizando solicitudes después de haber sido registrado en una lista de bloqueo.

Debido al diseño de peticiones per-child, las peticiones legítimas no se ven comprometidas (incluso las que vienen de servidores Proxy o de direccionamiento NAT), sólo bloquea los ataques de secuencias de comandos. [3]

Para realizar la instalación, recurrimos al método apt-get, donde se extrae e instala el apache *mod\_evasive* desde la dirección oficial garantizada del paquete, debemos crear el directorio donde se almacenarán los logs, asignar los derechos de administrar el fichero de los logs al usuario del sistema que corresponde al servidor apache, Se crea el archivo de configuración del apache *mod\_evasive.conf*, en el directorio */etc/apache2/conf.d/* en éste archivo de configuración se agregan los siguientes parámetros:

**DOSHashTableSize.** Establece el número de nodos a almacenar para cada proceso de peticiones de la tabla hash. Cuanto más grande sea el tamaño de la tabla de Hash, más memoria requerirá, pero el rastreo de direcciones IP será más rápido. Para el caso del servidor del Diario de Quintana Roo, no es necesario aumentar el valor por defecto, pues el número de peticiones no es tan grande.

**DOSPageCount.** Indica el valor del umbral para el número de peticiones de una misma página (o URI) dentro del intervalo definido en *DOSPageInterval*. Cuando el valor del parámetro es excedido, la IP del cliente se añade a la lista de bloqueos. En este caso pondremos que el valor máximo de solicitudes es de 2.

**DOSSiteCount.** Cuenta cuántas peticiones de cualquier tipo puede hacer un cliente dentro del intervalo definido en *DOSSiteInterval*. Si se excede dicho valor, el cliente queda añadido a la lista de bloqueos. El número máximo de peticiones es de 50.

**DOSPageInterval.** El intervalo, en segundos, para el máximo de peticiones de páginas.

**DOSSiteInterval.** El intervalo, en segundos, para el umbral de petición de objetos de cualquier tipo.

**DOSBlockingPeriod.** Establece el tiempo, en segundos, que un atacante queda bloqueado una vez que ha sido añadido a la lista de bloqueos. Como ya se indicó unas líneas atrás, todo cliente bloqueado recibirá una respuesta del tipo 403 (Forbidden) a cualquier petición que realice durante este periodo. Si el atacante lo sigue intentando, este contador se reseteará automáticamente, haciendo que siga más tiempo bloqueada la IP.

**DOSLogDir.** Establece una ruta para el directorio donde se almacenarán los Logs.

**DOSEmailNotify.** Dirección de correo electrónico que recibirá información sobre los ataques.

**DosWhitelist.** Podemos especificar una IP o rango que será excluido del rastreo por *mod\_evasive*. Para este caso solamente excluderemos al mismo servidor apache.

Seguidamente se realiza la activación del módulo y se verifica su funcionamiento con un script Perl llamado *test.pl*, así queda confirmado que el servidor está listo para recibir un ataque.

### **3.3 Probar el *mod\_evasive*.**

El ataque para probar la efectividad del *mod\_evasive* se llevó a cabo en la misma forma que se describió en el análisis de la vulnerabilidad con los siguientes resultados:

Las solicitudes del atacante fueron retrasadas después de las 50 peticiones simultáneas y finalmente la dirección IP fue bloqueada.

Con esto, se comprueba el correcto funcionamiento del apache *mod\_evasive* ante un ataque real, monitoreado, del tipo DoS.

### 3.4 Implementación del *mod security*.

El apache mod security es un WAF (Web Application Firewall) que “podría definirse como un dispositivo, plugin del servidor o un conjunto de reglas que filtran y analizan el tráfico web (entre tu servidor web y tu red externa), es decir, los datos que recibimos por parte del usuario y la respuesta que nuestro servidor web arrojará al usuario. Prácticamente se encuentra de intermediario entre la aplicación y el servidor web que la tiene alojada”. [5] Siendo un software del tipo firewall especializado en aplicaciones web, sirve como una herramienta para administrar las conexiones al servidor a través del puerto 80 del protocolo TCP/IP, proporcionando así cierta protección de una serie de ataques contra dichas aplicaciones web.

Para este caso específico se implementará este software y se aplicarán sus reglas de filtrado, para proteger al servidor web del Diario de Quintana Roo contra ataques DoS o DDoS.

El primer paso es la instalación del módulo Apache *mod\_security* para luego realizar un script que contenga las reglas para su posterior ejecución.

Para esto se crea un directorio en `/etc/apache2/conf.d` con el nombre de *modsecurity*, también se debe crear y enlazar un directorio donde se guardarán los logs del apache *mod security*.

Hecho lo anterior se procede a la creación de las reglas de filtrado del archivo que nos permitirá evadir los ataques DoS o DDoS.

Las directivas que se deben usar para la realización del script son las siguientes:

**SecRuleEngine:** Directiva que controla si se procesan las reglas de filtrado. Se debe poner en `On` si la versión del mod instalada no lo hiciera ya por defecto.

**SecAuditLogType:** configura el tipo de mecanismo de la auditoria de logs que va a ser usado.

**SecAuditLog:** Define la ruta principal del archivo de registro de los logs.

**SecDataDir:** Define el directorio en los que se guardarán datos de los logs.

**SecRule:** es la directiva principal del apache *Mod\_Security*. Sirve para analizar datos y realizar acciones basadas en los resultados. [6]

Luego de haber realizado la instalación, ahora toca indicarle a Apache que lea las reglas y las ejecute. Para esto entramos al archivo `/etc/apache2/apache2.conf` con el editor de textos y agregamos la siguiente línea:

```
Include /etc/apache2/modsecurity/*.conf
```

Con lo cual, se le indica al Apache que debe leer todos los archivos `.conf` del directorio `/etc/apache2/conf.d/modsecurity` que es donde se deben guardar las reglas de filtrado. Ahora bien, se agrega el un Script que realiza el bloqueo automático de las direcciones ip atacantes. A continuación se muestra el contenido del archivo donde se ejecuta el listado de reglas que bloquean ataques del tipo DoS o DDoS que han sido guardadas en el directorio `/etc/apache2/conf.d/modsecurity/` con el nombre de `“mod_security_Dos.conf”`.

```

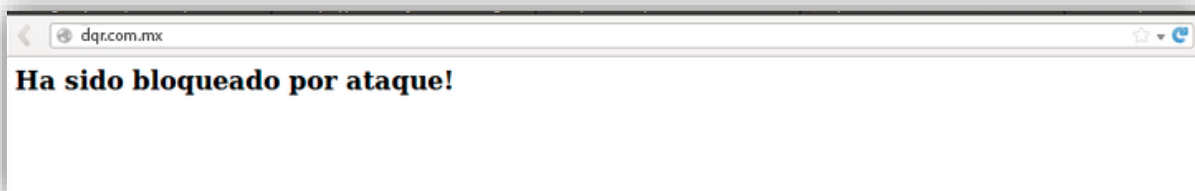
SecRuleEngine On
SecAuditEngine RelevantOnly
SecAuditLogType Serial
SecAuditLog logs/mod_security.log
# Directorio donde mod_security almacenará los logs
SecDataDir /var/log/apache2/modsecurity_data
# ignora las peticiones provenientes de localhost o tra IP
SecRule REMOTE_ADDR "!127\.\.0\.\.1" "phase:1,nolog,allow"
# para todas las peticiones a urls por IP/seg
# (incremento de las solicitudes var por cada uno, expira en 1
segundo)
SecRule REQUEST_BASENAME \
"!(\.svg$|\.bmp$|\.css$|\.doc$|\.flv$|\.gif$|\
\.\.htm$|\.\.html$|\.\.ico$|\.\.jpg$|\.\.js$|\.\.mp3$|\
\.\.mpeg$|\.\.pdf$|\.\.png$|\.\.pps$|\.\.ppt$|\.\.swf$|\
\.\.txt$|\.\.wav$|\.\.xls$|\.\.xml$|\.\.zip$)" \
"phase:1,nolog,pass,initcol:ip=%{REMOTE_ADDR},setvar:ip.requests=
+1,expirevar:ip.requests=1"
# si hay más de 5 solicitudes por segundo por IP# bloqueo de
solicitudes var (expira en 5 segundos) y el aumento de
solicitudes var por IP (expira en una hora)
SecRule ip:requests "@gt 5"
"phase:1,pass,nolog,setvar:ip.block=1,expirevar:ip.block=5,setvar
:ip.blocks+=1,expirevar:ip.blocks=3"
600"
# si el usuario es bloqueado más de 5 veces (var blocks>5), se
genera un log y se envía la petición a http:403
SecRule ip:blocks "@gt 5" "phase:1,deny,log,logdata:'req/sec:
%{ip.requests}, blocks: %{ip.blocks}',status:403"
# si el usuario es bloqueado (var block=1), se genera un log y se
envía la petición a http:403
SecRule ip:block "@eq 1" "phase:1,deny,log,logdata:'req/sec:
%{ip.requests}, blocks: %{ip.blocks}',status:403"
# 403 con mensaje de error
ErrorDocument 403 "¡<center><h2>Ha sido bloqueado por ataque!"

```

**Figura 1 Listado de reglas que bloquean ataques del tipo DoS o DDoS.**

Luego de lo anterior, se procede a la realización del ataque tal como se indicó anteriormente con la herramienta Http Attack.

El resultado es que el servidor apache bloquea por completo a la dirección ip atacante.



**Figura 2 Resultado del bloqueo**

#### 4 CONCLUSIONES.

Luego de implementar las herramientas de mitigación de ataques DDoS se confirmó que el Apache *mod evasive* bloquea los ataques al puerto 80 y redirige al error 403, este esquema de seguridad resulta apropiado para este caso dado que aunque la aplicación web de noticias del Diario de Quintana Roo recibe un promedio de 10580 visitantes distintos al día, estos no se conectan al mismo tiempo y los ataques del tipo DDoS recibidos hasta el momento no han sido muy complejos. Sin embargo, aunque esta herramienta logra mitigar ataques hasta cierto grado intensos, no será posible lograr defenderse ante un ataque más sofisticado de DDoS, por ejemplo utilizando BotNets, para lograr eso es necesario tener el respaldo de un gran ancho de banda y un entorno de servidores balanceados y distribuidos que logren recibir y soportar las peticiones en masa y simultáneas de quizá cientos o miles de usuarios.

Por otro lado el Apache *mod security* puede bloquear distintos ataques hacia las aplicaciones web alojadas en el servidor, filtra no solo el puerto 80, también el 443. Es importante agregar que “Provee protección contra las principales amenazas del Top 10 de **OWASP** (Open Web Application Security) mediante su conjunto de reglas especializadas en detección y bloqueo de ataques. Es un proyecto con madurez de desarrollo y cuenta con una creciente comunidad de usuarios que lo han implementado”. [7] Lo que abre paso a la posibilidad de realizar en el futuro nuevos estudios sobre el rendimiento de distintas reglas de mitigación de otros tipos de ataques con la ayuda de este WAF.

La implementación de una Política de monitoreo para utilizar la herramienta netstat diariamente de 9am-12 pm es muy necesaria, pues el administrador de red deberá analizar el tráfico para determinar si alguna dirección es un atacante, a fin de agregar a la lista negra del firewall las direcciones IP que resulten muy sospechosas. Este análisis debe ser realizado por el administrador de la red, quien puede determinar que direcciones IP generan un tráfico legítimo y quienes resultan ser atacantes.

Tras la implementación del esquema de seguridad, los ataques posteriormente registrados en el servidor no surtieron efecto. Al parecer las medidas de mitigación cumplieron con el objetivo, sin embargo, en caso de que el o los atacantes se organizaran para realizar un ataque DDoS más complejo, todavía existe una gran posibilidad de que el servidor web deje de estar disponible para los usuarios genuinos. Tras dicha posibilidad, se puede acudir a empresas especializadas que proporcionan servicio de soporte de seguridad ante ataques masivos del tipo DDoS, pues es lo que más le convendría a la empresa del Diario de Quintana Roo ante la falta de recursos económicos para hacerse de la infraestructura necesaria para garantizar la completa eliminación de esta vulnerabilidad, aunque definitivamente cuenta con mayor seguridad y estabilidad que antes de la implementación de las herramientas de mitigación de ataques DDoS descritas en este trabajo, con la consecuente mejora económica, pues los clientes confían más en la disponibilidad del servicio publicitario que han adquirido en la aplicación web del Diario de Quintana Roo, lo que los hace estar dispuestos a volver a adquirirlos en futuras ocasiones y hasta recomendarlos a familiares o amigos.

##### 4.1 Trabajo Futuro.

Es recomendable que se tomen medidas para prevenir otro tipo de ataques como el de password sniffing, todos los derivados del Cross-site scripting etc. Utilizando la herramienta WAF Apache *mod security*. Actualmente el servidor se encuentra trabajando de forma estable, utilizando las herramientas descritas anteriormente y ya se ha contactado con una empresa prestadora de servicios de seguridad anti DDoS.



---

**REFERENCIAS.**

- [1] Anónimo, *Linux Máxima Seguridad*, California: Prentice Hall.
- [2] M. J. Kabir, *La biblia de Servidor Apache*, (Ediciones Anaya Multimedia, Grupo Anaya, S.A., Madrid), (2003).
- [3] J. Zdziarski, «zdziarski.com,» 14 marzo 2010. [En línea]. Available: [http://www.zdziarski.com/blog/?page\\_id=442](http://www.zdziarski.com/blog/?page_id=442). [Último acceso: 10 abril 2011].
- [4] Trustwave, «modsecurity Open Source Web Application Firewall,» [En línea]. Available: <http://www.modsecurity.org/>. [Último acceso: 18 abril 2011].
- [5] S. S. D. Méndez, «Seguridad Cultura de Prevención Para TI,» 05 marzo 2013. [En línea]. Available: <http://revista.seguridad.unam.mx/numero-16/firewall-de-aplicaci%C3%B3n-web-parte-i>. [Último acceso: 18 agosto 2013].
- [6] ModSecurityProject, «modsecurity,» Trustwave, junio 2009. [En línea]. Available: <http://www.modsecurity.org/documentation/modsecurity-apache/2.1.2/modsecurity2-apache-reference.html#N10311>. [Último acceso: 31 agosto 2011].
- [7] D. O. R. L. Sayonara Sarahí Díaz Méndez, «Seguridad Cultura de Prevención para las TI,» Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación de la UNAM, 2 mayo 2013. [En línea]. Available: <http://revista.seguridad.unam.mx/numero-17/firewall-de-aplicaci%C3%B3n-web-parte-ii>. [Último acceso: 25 agosto 2013].
- [8] J. P. Sarubbi, *Seguridad informatica Tecnicas de defensa comunes bajo variantes del sistema operativo Unix*, (Luján, Buenos Aires, República Argentina), (2008).
- [9] R. Shreves, *Joomla! Bible*, B. Taylor, Ed.,(Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana), (2010).
- [10] F. J. Egea, *Servidores para Internet con Apache HttpServer*, (Grupo EIDOS Consultoría y Documentación Informática, S.L., Madrid), 2000, (2008).
- [11] D. d. C. y. T. d. D. d. Q. Roo, Interviewee, [Entrevista]. 16 agosto 2010.
- [12] Netstat Systems, «Netstat Systems,» [En línea]. Available: <http://www.netstat.net/>. [Último acceso: 28 diciembre 2010].
- [13] Notimex, «excelsior,» Periódico Excélsior, S.A. de C.V, 09 diciembre 2010. [En línea]. Available: [http://www.excelsior.com.mx/index.php?m=nota&id\\_nota=695316](http://www.excelsior.com.mx/index.php?m=nota&id_nota=695316). [Último acceso: 27 abril 2011].
- [14] The Nagios Team, «Nagios,» Nagios Enterprises, LLC, 2009. [En línea]. Available: <http://www.nagios.org>. [Último acceso: 27 abril 2011].

---

### **4.13 INVESTIGANDO ACERCA DE LA COMPUTACIÓN EN LA NUBE: LECCIONES APRENDIDAS DESDE UNA PERSPECTIVA TECNOLÓGICA Y EMPRESARIAL.**

Ramón Ventura Roque Hernández, Salvador Mota Martínez, Adán López Mendoza, Juan Manuel Salinas Escandón.

Universidad Autónoma de Tamaulipas. Facultad de Comercio, Administración y Ciencias Sociales.

{ rvHernandez, mota, alopez, jmsalinas } @uat.edu.mx.

#### **RESUMEN.**

El artículo presenta desde una perspectiva tecnológica y empresarial, las lecciones aprendidas en una investigación que se realizó sobre la computación en la nube. La investigación fue exploratoria y se llevó a cabo en la ciudad de Nuevo Laredo, Tamaulipas, México con el objetivo de recopilar evidencias sobre la percepción que tienen las empresas acerca de las tecnologías de la nube. En el artículo se presenta una visión actual de la nube, así como los resultados más relevantes del estudio realizado; también se exponen las experiencias obtenidas durante su desarrollo y se discute la importancia del equilibrio tecnológico-empresarial en las decisiones para incorporar la nube en cualquier infraestructura de negocio.

**Palabras clave.** Computación en la nube, Tecnología, Negocios.

#### **ABSTRACT.**

This paper presents, from technological and business perspectives, the lessons learned in an exploratory research about cloud computing conducted in Nuevo Laredo, Tamaulipas, Mexico. Its main objective was to collect evidences about business perception on cloud technologies. In this paper, a current vision of the cloud, and the most relevant results of this research are presented. The experiences gained during its development, and the importance of the technical-business balance in the decisions to incorporate cloud in business infrastructure is discussed.

**Key Words.** Cloud Computing, Technology, Business.

#### **1. INTRODUCCIÓN.**

La computación en la nube es un tema de actualidad en las áreas tecnológicas y de investigación; por otra parte, desde una perspectiva de negocios, la nube es un recurso que resulta atractivo por los beneficios que ofrece a las empresas; principalmente, puede ser efectivo para incrementar su competitividad y mejorar su operación.

En el procedimiento de la incorporación de la nube a las soluciones empresariales existe una dualidad de perspectivas: la técnica y la de negocios. Ambas deben combinarse equilibradamente para brindar a las empresas los mejores recursos para la toma de decisiones.

En este artículo se presentan las lecciones aprendidas en una investigación que se condujo con diez empresas de la ciudad de Nuevo Laredo, Tamaulipas, con el objetivo de conocer el proceso de adopción de las tecnologías en la nube así como las creencias empresariales que pudieran afectar o beneficiar esta adopción. Aunque éste fue un proyecto de investigación aplicada que incorporó el uso de técnicas estadísticas, el presente artículo no pretende retomar resultados

cuantitativos presentados con anterioridad [1], [2], [3]. Su objetivo primordial es relatar desde un enfoque holístico las lecciones aprendidas en el proyecto de investigación realizado.

El artículo está estructurado de la siguiente manera: primero se presentan los antecedentes técnicos y empresariales de la nube, luego se expone la descripción del estudio realizado; después, se presentan las lecciones aprendidas. Finalmente se exponen las conclusiones y los trabajos futuros.

## **2. ANTECEDENTES.**

La computación en la nube es un modelo que ha cambiado la manera de utilizar y comercializar el software y ha dado paso a una nueva perspectiva en la que el acceso a los recursos es conveniente y sobre demanda. Los recursos son configurados con facilidad y pueden estar disponibles con un mínimo esfuerzo de administración o de intervención por parte del proveedor de servicios. Esto proporciona una serie de ventajas a las empresas que adoptan a la nube como solución tecnológica para sus aplicaciones. Las principales ventajas derivadas de la adopción de la nube son la reducción de costos y el aumento de la competitividad.

### **2.1 Antecedentes técnicos de la nube.**

#### **2.1.1 Tipos de nubes.**

De acuerdo al esquema de delegación de servicios, se puede hablar de tres diferentes tipos de nubes: las públicas, las privadas y las híbridas.

Las nubes públicas son aquellas que son administradas por un proveedor de servicio. Su principal ventaja radica en que no requieren de una inversión inicial para comenzar a utilizarlas y no suponen gastos asociados al mantenimiento para el cliente que tiene sus aplicaciones en ellas. Estas nubes son compartidas con otros clientes dentro de los centros de datos del proveedor.

Por el contrario, las nubes privadas, son administradas directamente por el cliente para lograr un mayor control en sus operaciones. Debido a esto, se requiere una inversión inicial en la infraestructura ya que ésta estará ubicada en las instalaciones del cliente. Su principal ventaja radica en que el cliente administra una nube que es de su propiedad y él es el único que reside en ella; en este esquema, los gastos de mantenimiento corren a cuenta del propietario de la instalación.

También existen nubes híbridas, las cuales representan un punto intermedio entre las públicas y las privadas. En una nube híbrida, el cliente puede mantener el control de aquellas aplicaciones que considere principales y puede delegar a un proveedor de servicios la administración de aquellas que considere secundarias.

#### **2.1.2 Tipos de servicios.**

En función de la necesidad que se desee cubrir, existen distintos tipos de servicios dentro de la modalidad de la computación en la nube: la infraestructura como servicio (IAAS), la plataforma como servicio (PAAS) y el Software como servicio (SAAS).

La infraestructura como servicio (IAAS) es un tipo de servicio que ofrece la infraestructura necesaria para poder colocar en la nube un entorno particular y ejecutar software sobre él. Los dos pilares fundamentales son la computación y el almacenamiento como servicio. En ocasiones se refieren a IaaS como HaaS (Hardware as a Service).

La plataforma como servicio (PAAS) ofrece un entorno donde es posible desplegar directamente las aplicaciones. Un ejemplo de PAAS es la plataforma Windows Azure desarrollada por Microsoft.

El Software como servicio (SAAS) es tal vez el más conocido en el mercado. Se refiere a aquellos servicios transformados en aplicaciones finales proporcionadas por el proveedor, listas para ser usadas por los clientes. En SaaS se asegura el mantenimiento, el soporte y la disponibilidad del software.

## **2.2 Antecedentes empresariales de la nube.**

La computación en la nube como recurso tecnológico puede acelerar la competitividad de las empresas, al proveer alternativas ágiles y eficientes que permitan mejorar sus operaciones.

De acuerdo con [4] y [5], una empresa puede ahorrar hasta el 50% de gastos en tecnología, ya que las aplicaciones de la nube pueden brindar a las empresas nueva funcionalidad sin tener que adquirir nueva infraestructura, por lo que la inversión en equipo se reduce. También el personal del departamento de sistemas puede disminuirse al delegar al proveedor de servicios varias tareas de operación, configuración y mantenimiento.

Las aplicaciones empresariales fuera de la nube tienen costos asociados a los recursos que se requieren para su operación, tales como aquellos relacionados con el esfuerzo de desarrollo e implementación, por ejemplo, medios de almacenamiento, redes, ancho de banda y personal adecuado para la instalación, configuración y mantenimiento.

Con la aparición de la computación en la nube, las empresas pueden hacer uso de ella para implementar y mantener sus aplicaciones, siendo el proveedor de servicios el encargado de las principales tareas de configuración y aseguramiento de la continuidad del servicio. El proveedor de servicios define un esquema de pago, al cual se adhiere la empresa. Este esquema de pagos generalmente es muy accesible y directamente proporcional al uso que se le dé a los servicios contratados.

Una de las características de la nube que resulta particularmente atractiva para las aplicaciones de negocios es que permiten el acceso concurrente de múltiples usuarios sin la necesidad de que cada uno tenga instalada esa aplicación en su equipo de cómputo. Otra característica que es importante poner en relieve es que la ejecución de las aplicaciones no consumirá los recursos computacionales de la empresa sino los que el proveedor de servicios renta a la empresa. Esto resulta en una ventaja de negocios, ya que la capacidad de cómputo resulta fácilmente configurable para ser aumentada o disminuida con un mínimo esfuerzo.

## **3. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO REALIZADO.**

Primero se condujo una búsqueda bibliográfica con el objetivo de ubicar en la literatura los antecedentes de la computación en la nube para conformar un estado del arte y configurar un instrumento de recolección de datos (cuestionario) para que las empresas lo contestaran [6].

El cuestionario una vez completado, se entregó a 10 empresas ubicadas en la ciudad de Nuevo Laredo, Tamaulipas, México. En él se proponían afirmaciones relacionadas con la percepción empresarial de la computación en la nube y su proceso de adopción y se pedía indicar el grado de acuerdo o desacuerdo con cada una de ellas. Para las respuestas, se utilizó la escala de Likert y a cada posible opción se le asignó una puntuación numérica que aumentaba con el nivel de acuerdo de esa afirmación.

Para seleccionar a los encuestados, se usó un muestreo por conveniencia en el que se eligió aleatoriamente a 10 empresas con presencia física en Nuevo Laredo, Tamaulipas que hubieran

considerado incorporar las tecnologías de la computación en la nube en algún momento desde su creación. De las empresas participantes, 4 tenían 40 empleados o menos y 6 tenían entre 201 y más de 1000. De acuerdo a sus actividades de negocios, había 3 agencias aduanales, 3 maquiladoras, 1 dedicada a servir a la administración pública y 3 en otras categorías. Todas las empresas tenían por lo menos 5 años de antigüedad. 5 empresas tenían sucursales internacionales. De las empresas, 7 tenían un departamento de sistemas computacionales propio y a las otras 3, les proveían servicios externos.

Aunque el cuestionario se distribuyó a 40 empresas, solamente 10 accedieron a contestarlo. El resto, se mostró desconfiado con las preguntas realizadas y se negó abiertamente a participar en la investigación, o bien, simplemente no permitió ningún contacto posterior.

#### **4. RESULTADOS Y LECCIONES APRENDIDAS.**

##### **4.1 Visión Global.**

Con la investigación realizada, se observó que cuando las empresas aún no cuentan con recursos en la nube, se enfrentan a la evaluación de diferentes criterios para poder tomar las mejores decisiones sobre su adopción. Es entonces cuando la información de la nube se aborda desde dos perspectivas: una tecnológica y otra de negocios. Esta dualidad debería guardar un sano equilibrio en aras del beneficio empresarial. Por una parte, un punto de vista tecnológico persigue contar con los servicios y aplicaciones más poderosas, mientras que una perspectiva de negocios cuida aspectos económicos y analíticos que pudieran derivar en la adopción o rechazo de la nube.

En las entrevistas y cuestionarios realizados, las empresas encuestadas manifestaron estar dispuestas a enfrentar retos tecnológicos e invertir en ellos. Durante estos encuentros, los conceptos recurrentes en el lenguaje de negocios fueron: reducción de costos, aumento de productividad y de competitividad. En cuanto al lenguaje técnico, los conceptos frecuentes fueron: infraestructura, servicios, disponibilidad. La totalidad de las empresas participantes en este estudio destacaron su preocupación por brindar un buen servicio que sea competitivo y por garantizar la seguridad de su información.

Para las empresas encuestadas, las nubes públicas con Plataforma como Servicio (PAAS) o Software como Servicio (SAAS) fueron las opciones más atractivas para trabajar con la nube, por el bajo costo y las enormes posibilidades que les brindan.

##### **4.2 Perspectivas tecnológica y empresarial.**

De acuerdo a los resultados obtenidos, las empresas perciben que la posibilidad de competir con otras empresas con más recursos, así como la disminución en costos de hardware y la rapidez de implementación de las aplicaciones son las ventajas más importantes que la nube les puede ofrecer. Las empresas tienen una idea clara de que la computación en la nube les da una ventaja competitiva que disminuye costos y facilita el proceso de contar con nuevas aplicaciones.

Por otra parte, los encuestados saben que la seguridad en la nube es un tema que merece especial atención y por este motivo, ocupó el último lugar de la lista de ventajas percibidas por este modelo de cómputo. El estudio también reveló que las empresas saben que los costos de soporte y seguridad informática pueden ocupar la mayor parte de su presupuesto. También las empresas conocen que la continuidad de la operación de las aplicaciones puede verse afectada debido a situaciones de seguridad o a fallos en la conexión de internet.

En cuanto a las desventajas y retos que las empresas perciben acerca de la nube, se destacan: la preocupación por la privacidad de la información, la resistencia al cambio a las nuevas tecnologías por parte de la empresa y usuarios, y la disponibilidad ininterrumpida de las aplicaciones hacia los usuarios. Por otra parte, las desventajas que resultaron menos importantes para las empresas fueron la falta de estándares tecnológicos, las cláusulas de los contratos con los proveedores de servicios, así como también la posibilidad de salir de la nube para retornar a la tecnología anterior.

Las empresas consideraron que las principales razones para la adopción de la computación en la nube son: el aumento de la capacidad de recuperación de desastres, el aumento del rendimiento de sus aplicaciones, la optimización de su infraestructura tecnológica y la gran portabilidad que brinda a las aplicaciones el acceso a los servicios desde cualquier dispositivo conectado a internet. Las razones que resultaron menos importantes en el proceso de adopción fueron: la continuidad de las operaciones del negocio, la redundancia de recursos y la evaluación de nuevos servicios. Las tarifas de pago por uso, si bien aparecen en la lista, no representan la razón de mayor peso.

## **5. CONCLUSIONES.**

En este artículo se presentaron las lecciones aprendidas en una investigación exploratoria que se llevó a cabo en la ciudad de Nuevo Laredo, Tamaulipas, México para conocer la percepción que tienen las empresas acerca de las tecnologías de la nube. Se abordó la nube desde una perspectiva tecnológico-empresarial y se presentaron los resultados más relevantes del estudio realizado.

En este trabajo también se destacó que la computación en la nube es un modelo popular que ha cambiado la manera en la que las empresas utilizan el software y el hardware y que ha dado paso a un nuevo esquema en el que el acceso a los recursos es conveniente y sobre demanda. La computación en la nube como recurso tecnológico puede incrementar la competitividad de las empresas, pues proporciona alternativas ágiles y eficientes que permiten mejorar sus operaciones; sin embargo, las empresas deberían conocer y evaluar las ventajas y desventajas de las implementaciones particulares de la nube que desean incorporar para que su perfil de negocios se beneficie.

Para las empresas encuestadas, la posibilidad de competir con empresas más grandes y con mayores recursos fue la principal característica que percibieron en la nube. Sin embargo, reconocieron que la seguridad y la disponibilidad de las aplicaciones es un reto que actualmente enfrenta este modelo de cómputo. Por otra parte, la flexibilidad y portabilidad de las aplicaciones en la nube fue una de las características más importantes en el análisis de la adopción de la nube.

## **6. TRABAJO FUTURO.**

Los resultados presentados corresponden a un estudio piloto realizado con 10 empresas y con un muestreo por conveniencia. En las etapas futuras de esta investigación se ampliará el tamaño de la muestra, la cual será completamente aleatoria. Los resultados obtenidos se incorporarán a un estudio de mayor alcance en el que se buscará describir la dinámica entre las empresas y las tecnologías de la computación en la nube en la Ciudad de Nuevo Laredo, Tamaulipas, México.

## **REFERENCIAS.**

- [1] R. Roque, A. López y J. Salinas, *Primer Congreso Internacional en Competitividad, Negocios, Logística, Tecnologías, Desarrollo Económico y Sustentabilidad*, “Percepción empresarial de las ventajas de la computación en la nube”, (Nuevo Laredo, Tamaulipas), (2013).
- [2] R. Roque, S. Mota y R. González, *Primer Congreso Internacional en Competitividad, Negocios, Logística, Tecnologías, Desarrollo Económico y Sustentabilidad*, “Características de los proveedores de servicios de cloud computing y su importancia para las empresas”, (Nuevo Laredo, Tamaulipas), (2013).
- [3] R. Roque, S. Ochoa, S. Mota y R. González, *Expo Ciencia UAT 2012*, “Uso y adopción de tecnologías de cloud computing en las empresas de Nuevo Laredo, Tamaulipas, México”, (Ciudad Victoria, Tamaulipas), (2012).
- [4] A. Urueña, A. Ferrari, D. Blanco y E. Valdecasa, “Cloud Computing, retos y oportunidades,” (2012).
- [5] Deloitte, “What Cloud Computing means for business, and how to capitalize on it”, (2010).
- [6] P. RealCloud, Análisis de la oferta y la demanda de los servicios Cloud Computing, (2012).

## 5. USO EFICIENTE DE ENERGÍA

### 5.1 “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR DE BAJO COSTO EMPLEANDO TUBOS CAPILARES.

Ing. José Ma. Díaz<sup>1</sup>, Ing. Rafael Giogana<sup>2</sup>, Ing. Luis Mendoza<sup>3</sup>, Dr. Raúl Chiu<sup>4</sup>

<sup>1</sup>LARC INDUSTRIES, S.A. de C.V., Mérida, Yuc.

<sup>2</sup>BIOENERTEC, A.C., Mérida, Yuc.

<sup>3</sup>Universidad Tecnológica Metropolitana, Mérida, Yuc.

<sup>4</sup>Universidad Modelo, Mérida, Yuc.

#### RESUMEN.

Se presenta el diseño y construcción de un calentador solar empleando tubos capilares y desarrollado con materiales de bajo costo para usarse en viviendas de interés social como un aporte para los programas de “Vivienda Verde”. El prototipo desarrollado emplea adicionalmente una unidad auxiliar que permite agregar el diferencial de calor que el agua caliente pudiera necesitar en los periodos de baja radiación solar.

**Palabras clave:** Calentador Solar, Vivienda Verde

#### 1. INTRODUCCIÓN.

El agua caliente en una casa-habitación para uso en el baño y en la cocina, es una necesidad que tiene gran parte de la población. Tradicionalmente el agua caliente para uso doméstico se consigue a través de calentadores de gas o eléctricos. Sin embargo, poco esfuerzo se ha hecho para integrar en el diseño y construcción de una casa-habitación la energía del sol como energía alternativa y gratuita para el calentamiento del agua en la vivienda.

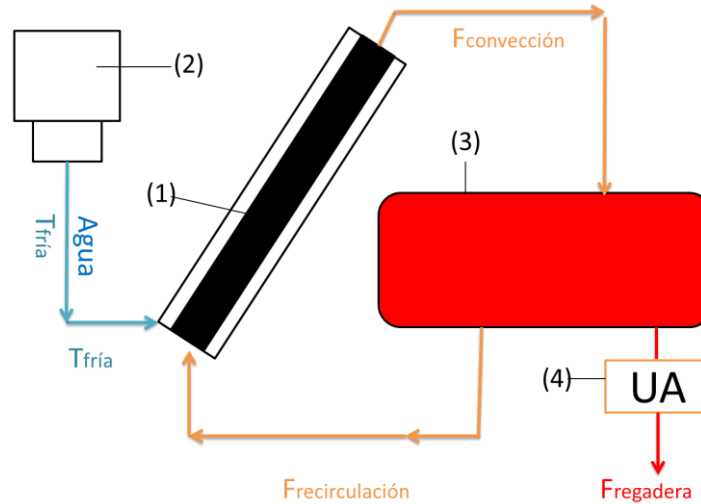
Este proyecto se desarrolló mediante la vinculación academia-empresa buscando con ello hacer accesible este tipo de tecnología a la población de clase media y colaborar con el medio ambiente al reducirse la demanda de combustibles fósiles que cada día son más escasos y costosos.

El calentador solar está basado en un colector solar plano que capta y acumula la radiación solar, la cual convierte en energía calorífica que es pasada al agua a través un sistema de tubos capilares que conducen el agua en un esquema de bajo flujo, permitiéndole con esto tener un tiempo de residencia más alto en el colector por lo que la intercambio térmico entre el colector y el agua es más eficiente. El agua calentada es almacenada en un tanque termoformado, el cual está aislado térmicamente para reducir la pérdida de calor. Adicionalmente, el prototipo cuenta con una unidad auxiliar de calentamiento que mediante una unidad electrotérmica provee al sistema de un medio para alcanzar el gradiente de calor deseado, en los casos en que la radiación solar recibida no sea suficiente para alcanzar la temperatura de confort programada en la unidad.



**2. DESARROLLO.**

El sistema de calentador solar de lazo cerrado o flujo continuo, se muestra en la figura 1.



1- Colector; 2- Suministro de agua fría; 3- Tanque de almacenamiento; 4- Unidad auxiliar

**Fig. 1 Esquema general del calentador solar.**

Se compone de un colector solar, un tanque de almacenamiento de agua, una unidad auxiliar de energía térmica auxiliar y diferentes accesorios, conectores y válvulas para su conexión a la red de agua donde se va a instalar. El proceso de operación es el siguiente: el agua fría, que viene de la red de agua o del tinaco, entra en el colector solar por la parte inferior de este a través de una válvula antiretorno (válvula “check”), la cual impide que el agua que entró en el colector regrese a la red de agua fría.

El colector se llena y por la parte superior le deja fluir el agua al termotanque, el que a su vez la deja fluir por su parte inferior a la parte inferior del colector y a la unidad auxiliar de calentamiento la cual deja pasar dicha agua a la red de agua caliente hasta que el colector, la red de agua caliente, la unidad auxiliar de calentamiento y el tanque de almacenamiento se llenan de agua y se logra un equilibrio hidráulico temporal, quedando momentáneamente estancada el agua, recoge y acumula la energía solar y la convierte en energía calorífica, misma que transfiere al agua circulante por un proceso de intercambio térmico, esta agua calentada, fluye hacia la parte superior del colector y es trasvasada al tanque de almacenamiento, el cual a su vez la hace circular por la parte inferior de este hacia la parte inferior del colector para que el proceso de calentamiento se repita indefinidamente.

Cada vez que el agua entra del colector al termotanque, esta se mezcla y se produce un balance térmico en el agua almacenada en el mismo. Cuando existe demanda de agua caliente en la red de agua caliente, el tanque de almacenamiento Un calentador mediante resistencia eléctrica se utiliza para auxiliar de calentamiento cuando la temperatura del agua en el tanque de almacenamiento es inferior a 65 ° C.

### 2.1. Colector Solar

El colector solar es el elemento que permite la transferencia de la energía solar a energía térmica en el sistema calentador. La figura 2 muestra una imagen del mismo.



**Fig. 2. Colector solar.**

Está constituido por una placa de polipropileno de tubos capilares

### 2.2. Tanque de almacenamiento.

El tanque de almacenamiento es termoformado de polietileno, cuyas dimensiones son 120 x 50 cm y 5 mm de espesor. Está recubierto de polipropileno como aislante para reducir la pérdida por radiación. Cuenta con una cubierta metálica cubierta de pintura para el acabado final.

La figura 3 muestra el tanque de almacenamiento termoformado seccionado.

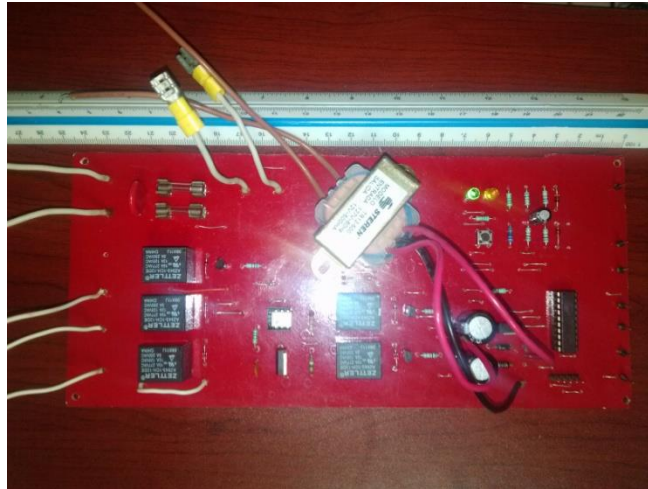


**Fig. 3. Tanque de almacenamiento rotoformado.**

### 2.3. Unidad Auxiliar

La unidad auxiliar es un sistema de control que monitorea la temperatura del agua caliente cuando el usuario hace uso de la regadera. Si la temperatura es menor a 65°C, entonces se activará una

resistencia calefactora de 2.5kW, consumo máximo calculado de 20 A que permitirá incrementar la diferencial de calor necesaria para alcanzar la temperatura óptima



**Fig. 4. Vista superior de la tarjeta controladora de la unidad auxiliar.**

**2. RESULTADOS.**

Las pruebas realizadas al sistema de calentador solar se realizaron entre los días 18-19 de diciembre del 2013. Se emplearon como sensores de temperatura termistores NTC y como equipo de adquisición de datos el equipo U12-006 DE Honest Computer Corp.

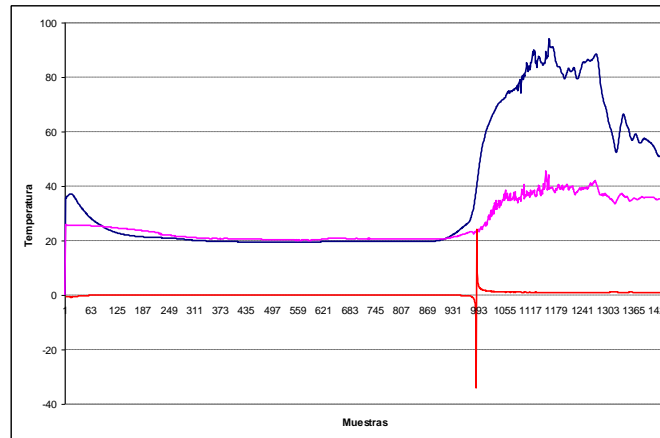
Durante ese periodo de tiempo, se tuvieron las siguientes condiciones promedio (Cinvestav,2013) :

- Temperatura ambiente: 23.7°C
- Velocidad promedio del aire: 9.5 km/h
- Dirección predominante: NE
- Radiación solar: 790 W/m<sup>2</sup>
- Radiación UV : 4.75

Se realizaron un total de 1440 muestras cada minuto en un periodo comprendido de 15:41 hrs del día 18/dic a las 15:40 hrs del 19/dic. La figura 5 muestra los resultados de la temperatura del agua de entrada al colector solar, temperatura de salida del colector y la eficiencia térmica, definida por (Silió, D., Renedo, C., Castanera, V.,2004):

$$P=(T_o-T_i)/(T_o-T_t) \quad (1)$$

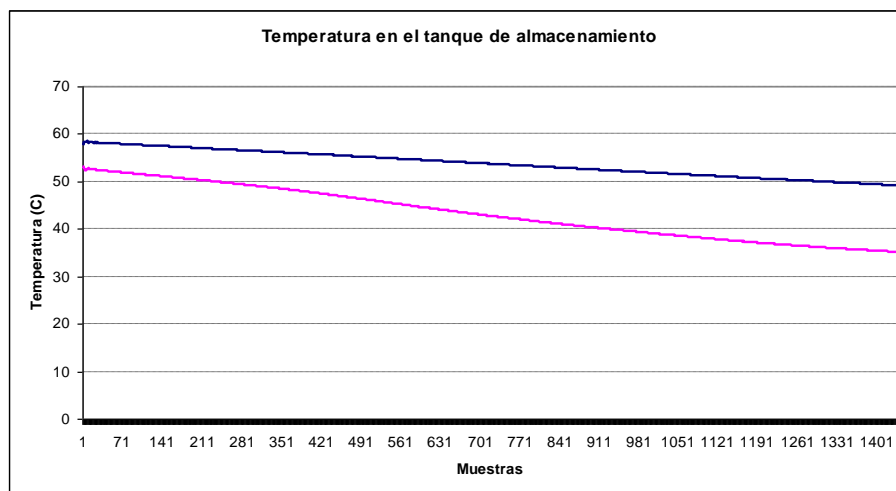
Donde P es la eficiencia térmica, To es la temperatura de salida del colector, Ti, la temperatura de entrada del colector y Tt es la temperatura dentro del tanque.



**Fig. 5. Pruebas realizadas al sistema de calefactor solar. Azul- To, Rosa- Ti, Rojo – P.**

En el periodo correspondiente a las 19 hr del día 18 a las 7 hr del día 19, la temperatura se mantiene a 20° C, iniciando su ascenso para alcanzar su valor máximo a las 11 hrs. La eficiencia muestra un comportamiento de conmutación al pasar de una eficiencia promedio de 0.18 a 0.98. La temperatura de salida máxima registrada es de 83.39° C.

Por otra parte, el tanque de almacenamiento se realizó pruebas con y sin aislamiento térmico, cuyos resultados se muestran en la figura 6, el periodo de tiempo mostrado corresponde a 24 hrs a partir de las 11:06 del 17 de diciembre.



**Fig. 6 Temperatura en el tanque de almacenamiento.  
Azul – Con aislamiento térmico, Rosa – Sin aislamiento térmico.**

El aislamiento térmico permite tener una caída de temperatura de 10° C, y sin aislamiento la caída es de 17° C. Así, bajo las condiciones de las pruebas, la Unidad Auxiliar no requeriría aportar energía al sistema, ya que se programa para operarse si la temperatura del agua en el tanque de almacenamiento es menor a 45° C.

Simulando en Matlab y empleando un método de ajuste por mínimos cuadrado, la pérdida de calor en el tanque de acuerdo a Silió, D., Renedo, C., Castanera, V., (2004) se aproxima a

$$Q_p = -0.0104(T_t - T_a) + 33.3161 \quad (2)$$

Por su parte, en el caso del tanque sin aislante, la pérdida de calor se define como

$$Q_p = -0.0182(T_t - T_a) + 25.6910 \quad (3)$$

### 3. CONCLUSIONES.

El calentador solar empleando tubos capilares demostró ser un sistema de altas prestaciones, la temperatura de salida del colector alcanza valores superiores a los esperados y la pérdida de calor en el tanque de almacenamiento termoformado tiene una pérdida de calor muy pequeña en un periodo de tiempo grande.

Existe un área de oportunidad en construir el colector solar como una sola unidad para lo cual se requiere la manufactura específica del mismo, continuando con el uso de materiales de tipo polipropileno, el cual deberá caracterizarse y verificar su eficacia.

#### **Agradecimientos.**

El prototipo fue desarrollado con el apoyo del Programa de Estímulos a la Investigación 2013 de CONACYT, con clave de proyecto 199409, la colaboración de personal de LARC INDUSTRIES y BIOENERTEC; así mismo se agradece la colaboración del personal y estudiantes de la Universidad Tecnológica Metropolitana y de la Universidad Modelo.

#### **REFERENCIAS.**

Cinvestav (2013), Estación Cinvestav-Mérida, <<http://www.mda.cinvestav.mx/weather>>, [consulta: diciembre de 2013]

D. Silió, C. Renedo, V. Castanera, (2004). *Simulation of a Solar Domestic Water Heating System, with Different Collector Efficiencies and Different Volumen Storage Tanks*, International Conference on Renewable Energies And Power Quality (ICREPQ'04). Paper 226, Barcelona Spain. 31 Marzo-3 Abril 2004

## 6. ELÉCTRICA

### 6.1 COMPORTAMIENTO DEL GENERADOR EÓLICO DE INDUCCIÓN TIPO JAULA DE ARDILLA ANTE FALLAS EN LA RED.

M.C. Javier David López Balam  
jdlb\_99@hotmail.com.

Instituto Tecnológico de Mérida.  
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.  
Av. Tecnológico km. 4.5 C.P. 97118, Mérida Yucatán.

#### RESUMEN.

En este artículo se realiza la simulación de un aerogenerador de inducción tipo jaula de ardilla conectado a bus infinito por medio de una línea, con el objetivo de estudiar el comportamiento de las variables eléctricas y mecánica de la misma ante contingencias, específicamente, disminuciones de voltaje, los cuales pueden ser provocados por fallas balanceadas y desbalanceadas, estrechamente relacionadas con la topología del sistema. El aerogenerador de inducción, para realizar este estudio, se supondrá en estado de operación cuasi-estática, despreciando la naturaleza errática del viento y considerando un par de operación constante previo a las fallas simuladas. Se emplea el modelo dinámico completo de máquina asíncrona y se someterá a distintas disminuciones de voltaje en el bus infinito, con ello se ha de obtener el comportamiento de las variables anteriormente mencionadas. El desarrollo de esta simulación se realizó en SIMULINK, el cual es un entorno de programación visual que funciona en el programa MATLAB.

**Palabras clave** – Máquina de inducción, jaula de ardilla, generador eólico, bus infinito.

#### ABSTRACT.

In this paper a simulation of a squirrel cage induction generator for wind turbine is performed connected to infinite bus through a line, in order to study the behavior of the electrical and mechanical variables on the same to contingencies, namely, voltage decreases, which can be caused by balanced and unbalanced faults, closely related to the topology of the system. The wind turbine induction generator, for this study, it is assumed in a state of quasi -static operation, ignoring the erratic nature of wind and considering a constant operation torque prior to simulated failures. Full dynamic model of asynchronous machine is used and subjected to different decreases in the infinite bus voltage; this has to obtain the behavior of the aforementioned variables. The development of this simulation was performed in SIMULINK, which is a visual programming environment that functions in MATLAB.

**Keywords** - Induction machine, squirrel-cage, eolic generator, wind turbines, infinite bus.

#### 1. INTRODUCCIÓN.

Con respecto a opciones de diseño de aerogeneradores y conexión a la red, la parte eléctrica se puede implementar tanto con generadores síncronos como asíncronos o también llamados, de inducción, y con varias formas de conexión del generador, ya sea directa o indirecta a la red. La conexión directa a red significa que el estator del generador está conectado directamente a la línea de corriente alterna, mientras que en la conexión indirecta se realiza empleando un convertidor estático de potencia conectado entre estator del generador y la línea de corriente alterna [1].

Los generadores de inducción se pueden clasificar en dos tipos distintos: los doblemente alimentados ya que poseen un rotor devanado y las máquinas tipo jaula de ardilla que consisten en

un rotor cilíndrico conformado por barras de aluminio inmersas en la masa rotórica. Los generadores de inducción tipo jaula de ardilla ofrecen muchas ventajas debido a su construcción sencilla, mantenimiento mínimo, autoprotección en condiciones de falla y libre de problemas de operación por muchos años. Sin embargo, la demanda de potencia reactiva y una pobre regulación de voltaje y frecuencia cuando la velocidad o la carga varían son las principales desventajas de este tipo de equipos [2].

Resulta interesante el análisis de las variables eléctricas y mecánica de la maquina rotatoria asíncrona, ya que dos de las fallas más representativas que pueden presentarse en un sistema eléctrico son fallas de línea a tierra y falla trifásica, siendo la primera la de mayor ocurrencia con porcentajes superiores al 70% y tiene la característica de ser desbalanceada puesto que solo una fase presenta disminución en su magnitud [3]. La falla trifásica aunque de muy poca ocurrencia, es considerada como un punto de partida para determinar las corrientes que pueden presentarse en un sistema eléctrico y dicha situación se considera balanceada.

Las características de funcionamiento de un generador de inducción de jaula de ardilla hacen que este sistema se perfile como una alternativa muy interesante para su utilización en aerogeneradores pequeños, ya que la generación de energía basada en el viento está desarrollándose rápidamente en el mundo. De esta manera, se contribuye al análisis de la maquina asíncrona como generador cuando se presentan estas situaciones indeseables en el sistema eléctrico.

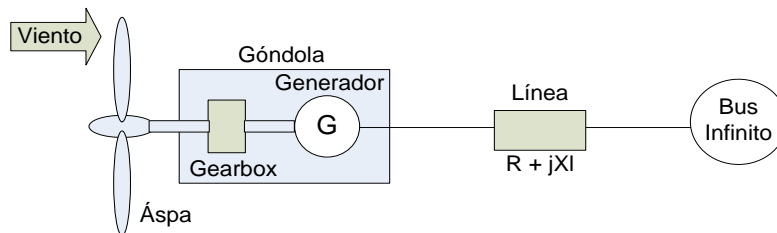
## 2. MODELO DE LA TURBINA EÓLICA.

Las turbinas eólicas producen electricidad mediante la energía del viento para mover un generador eléctrico. El viento pasa por encima de las aspas generando empuje hacia arriba y ejerciendo una fuerza de giro en las mismas. Las aspas rotativas proporcionan un giro al eje que se encuentra dentro de la góndola que entra en una caja de cambios (gearbox). Esta caja de cambios aumenta la velocidad de rotación a la adecuada para el generador y así poder interactuar con la red eléctrica, figura 1. La potencia en el flujo de aire está dada por la siguiente ecuación [4]:

$$P_{viento} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \tag{1}$$

Donde:

- $A$  = Área barrida del rotor ( $m^2$ ).
- $\rho$  = Densidad del aire (aproximadamente  $1.225 \text{ kg} \cdot m^{-3}$ ).
- $v$  = Velocidad del viento libre (m/s).



**Figura 1.- Generador conectado a bus infinito por una línea eléctrica.**

Aunque la ecuación (1) da la potencia disponible en el viento, la potencia transferida al rotor del aerogenerador es reducido por el coeficiente de potencia  $C_p(\lambda, \beta)$ :

$$C_p(\lambda, \beta) = \frac{P_{turbina\ de\ viento}}{P_{viento}} \tag{2}$$

$$P_{Turbina\ de\ viento} = C_p(\lambda, \beta)P_{viento} = \frac{1}{2}\rho Av^3 C_p(\lambda, \beta) \quad (3)$$

El coeficiente de potencia varía con el ángulo de paso de las aspas ( $\beta$ ), puesto que se puede modificar así el área de barrido y la relación de velocidad periférica ( $\lambda$ ), que también se le suele llamar velocidad específica. La velocidad específica indica que la periferia de las aspas circula a una velocidad  $n$  veces mayor que la velocidad del viento  $v$  y es la relación entre la velocidad periférica de las aspas ( $u = R * \omega$ ), la del punto más exterior sobre la misma a partir del eje de rotación, y la velocidad del viento  $v$ , en la forma:

$$\lambda = \frac{R * \omega}{v} \quad (4)$$

### 3. MODELO DEL GENERADOR DE INDUCCIÓN EN ESTADO ESTABLE, MODELO FASORIAL.

Algunas de las inductancias del generador están en función de la velocidad del rotor, por lo cual los coeficientes de las ecuaciones diferenciales de voltaje que describen el comportamiento de estas máquinas son variantes en el tiempo, excepto cuando el rotor está bloqueado. Un cambio de variables es a menudo usado para reducir la complejidad de estas ecuaciones diferenciales, aunque existen también otros cambios de variables que igualmente son empleados, [5], [6]. Para cálculos de estabilidad o diseño de sistemas de ecuaciones de control, el modelo en coordenadas de fase ha sido reemplazado por el ahora ampliamente aceptado modelo fasorial (vectorial o en variables  $q-d$ ) obtenido a través de la transformación compleja de Park [5]:

$$\bar{V}_s = \frac{2}{3}(V_{as} + a * V_{bs} + a^2 * V_{cs}) \quad (5)$$

$$\bar{V}_r = \frac{2}{3}(V_{ar} + a * V_{br} + a^2 * V_{cr}) \quad (6)$$

Donde  $a = 1 \angle 120^\circ$ .

En las ecuaciones anteriores, las variables del estator y rotor aún están dadas en coordenadas de sus respectivos marcos de referencia, por lo que se deben referir las cantidades del rotor al estator. Haciendo uso de una rotación de variables complejas en función del ángulo de marco de referencia  $\theta_e$  en el estator, y  $\theta_e - \theta_r$  en el rotor, donde el subíndice  $r$  denota una cantidad de rotor, se tiene:

$$\bar{V}_s = V_{ds} + jV_{qs} = \frac{2}{3}(V_{as} + a * V_{bs} + a^2 * V_{cs})e^{-j\theta_e} \quad (7)$$

$$\bar{V}_r = V_{dr} + jV_{qr} = \frac{2}{3}(V_{ar} + a * V_{br} + a^2 * V_{cr})e^{-j(\theta_e - \theta_r)} \quad (8)$$

La misma transformación en coordenadas ortogonales, rotando a la velocidad eléctrica general (o del marco de referencia) es también válida para corrientes y enlaces de flujo. Aplicando las transformaciones de fasores en el espacio, después de la reducción a variables del estator, simplemente se obtienen las relaciones de enlaces de flujo para el modelo siguiente:

$$\bar{V}_s = R_s \bar{I}_s + j \frac{\omega_e}{\omega_b} \bar{\psi}_s + \frac{1}{\omega_b} \frac{d}{dt} \bar{\psi}_s \quad (9)$$

$$\bar{V}_r = R_r \bar{I}_r + j \frac{(\omega_e - \omega_r)}{\omega_b} \bar{\psi}_r + \frac{1}{\omega_b} \frac{d}{dt} \bar{\psi}_r \quad (10)$$

Los enlaces de flujo son representados por:

$$\bar{\psi}_s = X_{ss} \bar{I}_s + X_m \bar{I}_r \quad (11)$$

$$\bar{\psi}_r = X_{rr} \bar{I}_r + X_m \bar{I}_s \quad (12)$$

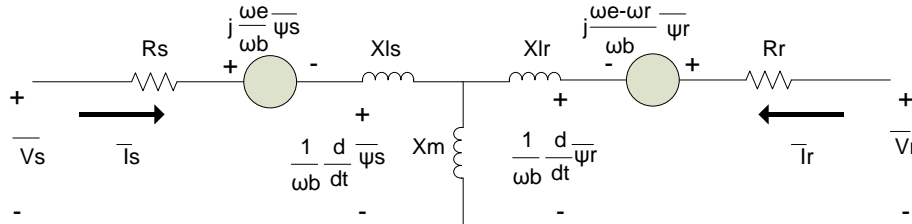
Dónde:

$$X_{ss} = X_{ls} + X_m \qquad X_{rr} = X_{lr} + X_m$$



La reactancia con subíndice  $m$  es la correspondiente al campo de magnetización mutuo;  $\omega_b$  es la frecuencia base del sistema y  $\omega_e$  es la del marco de referencia. Al ser de rotor tipo jaula de ardilla, el voltaje en rotor  $V_r$  es cero.

En la figura 2 se visualiza el circuito equivalente que se obtiene para el análisis del generador de inducción de forma fasorial.



**Figura 2.- Circuito equivalente de la transformación de variables.**

El torque electromagnético debido a los enlaces de flujo de estator y las corrientes en el mismo, es calculado de la siguiente forma:

$$T_e = \left(\frac{3}{2}\right) \left(\frac{P}{2}\right) \left(\frac{1}{\omega_b}\right) \text{Real}(j * \bar{\psi}_s * \bar{I}_s^*) \quad (13)$$

En esta ecuación  $P$  representa el número de polos en el estator. La dinámica del generador de inducción se representa por la ecuación mecánica con respecto a la inercia total de la máquina:

$$T_e - \epsilon T_L = \frac{2H}{\omega_b} \frac{d}{dt} \omega_r \Rightarrow \omega_r = \frac{\omega_b}{2H} \int (T_e - \epsilon T_L) dt \quad (14)$$

Se desprecia el coeficiente de viscosidad provocado por la fricción del rotor, además se tiene en cuenta que  $\epsilon$  es igual a (-1) en régimen generador. En la ecuación anterior, se tiene que:

$$H = \frac{J\omega_b}{P} \quad (15)$$

La letra  $J$  representa la inercia de la máquina, cuyas unidades son  $kg*m^2$ . La potencia eléctrica, tanto activa como reactiva se puede calcular en estos términos por medio de las siguientes relaciones:

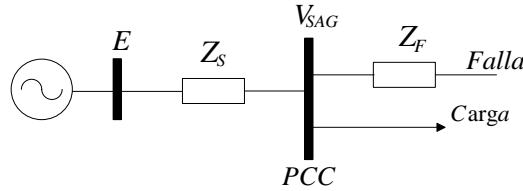
$$P_e = \frac{3}{2} \text{Real}(\bar{V}_s \bar{I}_s^*) \quad , \quad Q_e = \frac{3}{2} \text{Imag}(\bar{V}_s \bar{I}_s^*) \quad , \quad \text{Cos } \theta = \frac{P_e}{S_e} \quad (16)$$

La potencia eléctrica aparente  $S_e$ , resulta de la raíz cuadrada de la sumatoria de los cuadrados de las potencias anteriores.

#### 4. CÁLCULO TEÓRICO DE FALLAS.

El término SAG ha sido utilizado en calidad de la energía eléctrica para describir un disturbio en la misma, como un decremento de voltaje; la definición para este fenómeno en el IEC (International Electrotechnical Commission) es DIP, los dos términos se consideran intercambiables con SAG siendo preferido en los Estados Unidos de Norteamérica [7]. Un SAG es una reducción de voltaje de corta duración (típicamente de 0.5 a 30 ciclos), que es causa de fallas en el sistema y por el inicio de cargas muy grandes, tales como motores de gran capacidad.

Para cuantificar la magnitud del SAG en sistemas radiales, el modelo de divisor de voltaje mostrado en la figura 3 puede ser usado. Este puede parecer un modelo más simplificado, especialmente para sistemas de transmisión, pero es un modelo práctico para predecir algunas de las propiedades de los SAGs.



**Figura 3.- Modelo de divisor de voltaje para voltaje SAG**

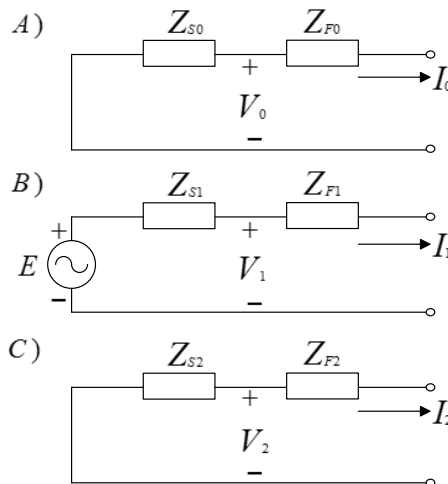
Donde:

- $Z_S$  = Impedancia de la fuente en el punto de acoplamiento común (PCC, por sus siglas en inglés).
- $Z_F$  = Impedancia entre el punto de acoplamiento común y la falla.

El PCC es el punto desde el cual tanto la falla como la carga son alimentadas. En el modelo de divisor de voltaje, las corrientes de carga antes y durante la falla son ignoradas, por lo tanto no hay caída de tensión entre la carga y el PCC. El voltaje en el punto de acoplamiento común y por lo tanto el voltaje en terminales del equipo se puede calcular como:

$$V_{SAG} = \frac{Z_F}{Z_S + Z_F} E \Rightarrow V_{SAG} = \frac{Z_F}{Z_S + Z_F} \quad (17)$$

Se asumirá que el voltaje previo al evento es exactamente 1 pu, por lo tanto  $E = 1$ . Se puede ver en la expresión anterior que el voltaje SAG llega a ser más intenso para fallas eléctricamente más cercanas al usuario (cuando  $Z_F$  llega a ser más pequeño) y para sistemas con un nivel de falla menor (cuando  $Z_S$  llega a ser más grande). Hasta ahora se puede notar que un modelo monofásico ha sido usado aquí, aunque en realidad el sistema es trifásico, donde el modelo de divisor de voltaje de la figura 3 usa valores de impedancia de secuencia positiva, por lo tanto se necesita tomar en cuenta las tres fases o usar la teoría de componentes simétricas. Una buena y detallada descripción del uso de la teoría de componentes simétricas para el análisis de fallas asimétricas es dada en la referencia [8] y en varios otros libros de análisis de sistemas de potencia. Se hará uso de solamente los resultados de la teoría para calcular los voltajes en las tres fases debido a cortocircuitos no simétricos.



**Figura 4.- Redes de secuencia para el modelo de divisor de voltaje de la figura 3: A) Secuencia cero, B) Secuencia positiva, C) Secuencia negativas**

Para fallas no simétricas el modelo de divisor de voltaje de la figura 3 puede aún ser usado pero tiene que ser dividido en sus tres componentes, una red de secuencia positiva, una de secuencia

negativa y una de secuencia cero. Las tres redes de secuencia son mostradas en la figura 4 donde  $V_1$ ,  $V_2$  y  $V_0$  representan los voltajes de secuencia positiva, negativa y cero, respectivamente en el punto de acoplamiento común (PCC);  $Z_{S0}$ ,  $Z_{S1}$  y  $Z_{S2}$  son los valores de impedancia de la fuente, y los valores de impedancia del alimentador son  $Z_{F0}$ ,  $Z_{F1}$  y  $Z_{F2}$  en componentes trifásicas.

Se debe realizar las siguientes consideraciones para el cálculo de SAGs:

- Las impedancias de secuencia positiva y negativa son idénticas.
- La componente de secuencia cero no se propaga hacia las terminales del equipo, por lo que se pueden considerar voltajes de fase a neutro, para usuarios de media tensión; para sistemas de potencia también se considerarán.
- Las corrientes de carga antes, durante y después de una falla, se pueden ignorar.

Estas consideraciones se verán que resultan útiles en el análisis de los voltajes SAG y posteriormente en base a ellos elaborar una clasificación de los mismos con el afán de tener una perspectiva general de los mismos.

### 5. FALLAS TRIFÁSICAS.

Para el cálculo de fallas se realizará la interconexión de los circuitos de secuencia mostrados en la figura 4; para fallas trifásicas y de línea a tierra los equivalentes son los mostrados en la figura 5. Cuando se presenta una falla trifásica en el sistema, solamente se considera la red de secuencia positiva para el análisis de la misma, como en la figura 5-B) se puede observar. De esta figura se tiene que la corriente en el circuito de secuencia es la siguiente:

$$I_1 = \frac{E}{Z_{S1} + Z_{F1}} \quad (18)$$

Por lo que el voltaje de secuencia es:

$$V_1 = E - Z_{S1}I_1 = E - \frac{Z_{S1}E}{Z_{S1} + Z_{F1}} \quad (19)$$

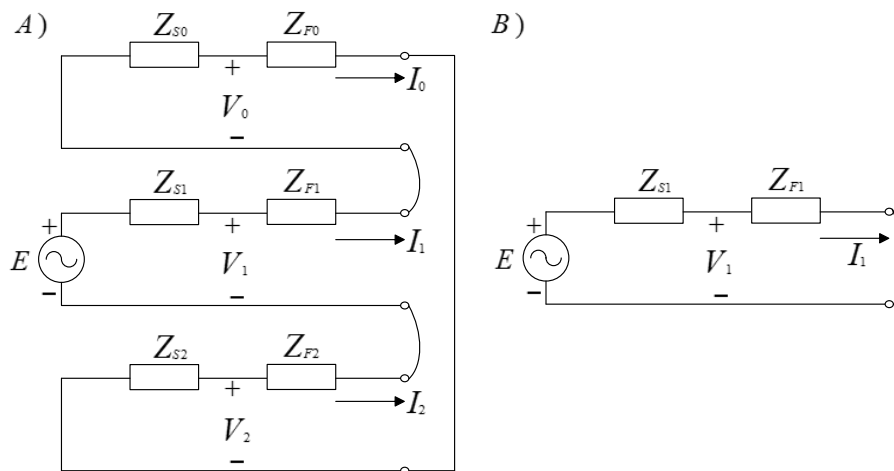


Figura 5.- Conexiones equivalentes: A) Falla de línea a tierra, B) Falla trifásica

Se tiene pues, que los voltajes de fase se pueden hallar por medio del cambio de variables de secuencia por el uso de la matriz de transformación [8]:

$$\begin{bmatrix} V_{as} \\ V_{bs} \\ V_{cs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \quad (20)$$

Donde  $a = 1 \angle 120^\circ$ .

Realizando la transformación para obtener los valores de fase:

$$\begin{aligned} V_{as} &= V_1 = E - \frac{Z_{S1}}{Z_{S1} + Z_{F1}} \\ V_{bs} &= a^2 V_1 = a^2 \left( E - \frac{Z_{S1}}{Z_{S1} + Z_{F1}} \right) \\ V_{cs} &= a V_1 = a \left( E - \frac{Z_{S1}}{Z_{S1} + Z_{F1}} \right) \end{aligned} \quad (21)$$

Puesto que la disminución de voltaje en el punto de acoplamiento común es:

$$V_{SAG} = E - \frac{Z_{S1}}{Z_{S1} + Z_{F1}} \quad (22)$$

El conjunto de ecuaciones (21) se reduce a:

$$\begin{aligned} V_{as} &= V_{SAG} \\ V_{bs} &= -\frac{1}{2} V_{SAG} - j \frac{\sqrt{3}}{2} V_{SAG} \\ V_{cs} &= -\frac{1}{2} V_{SAG} + j \frac{\sqrt{3}}{2} V_{SAG} \end{aligned} \quad (23)$$

La representación fasorial ante este tipo de falla se presenta en la figura 6-B), donde la disminución de voltaje se presenta de forma equitativa en las tres fases, y sin ningún cambio en el desfaseamiento de las mismas.

## 6. FALLA DE LÍNEA A TIERRA.

Para una falla de línea a tierra las tres redes de secuencia mostradas en la figura 4 pueden ser conectadas en serie y el circuito resultante es mostrado en la figura 5-A), la cual representa una falla de fase a tierra en la fase  $a$ . Si hacemos nuevamente  $E = 1 pu$  como en el modelo de divisor de voltaje, las siguientes expresiones son obtenidas para los voltajes de componentes en el punto de acoplamiento común. Las corrientes en el circuito son iguales:

$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{E}{(Z_{S0} + Z_{S1} + Z_{S2}) + (Z_{F0} + Z_{F1} + Z_{F2})} \quad (24)$$

Los voltajes de secuencia son por lo tanto:

$$\begin{aligned} V_0 &= -Z_{S0} I_0 = -\frac{Z_{S0}}{(Z_{S0} + Z_{S1} + Z_{S2}) + (Z_{F0} + Z_{F1} + Z_{F2})} \\ V_1 &= E - Z_{S1} I_1 = E - \frac{Z_{S1}}{(Z_{S0} + Z_{S1} + Z_{S2}) + (Z_{F0} + Z_{F1} + Z_{F2})} \\ V_2 &= -Z_{S2} I_2 = -\frac{Z_{S2}}{(Z_{S0} + Z_{S1} + Z_{S2}) + (Z_{F0} + Z_{F1} + Z_{F2})} \end{aligned} \quad (25)$$

Utilizando la transformación a variables de fase dada en (20):

$$\begin{aligned} V_{as} &= V_0 + V_1 + V_2 = E - \frac{Z_{S0} + Z_{S1} + Z_{S2}}{(Z_{S0} + Z_{S1} + Z_{S2}) + (Z_{F0} + Z_{F1} + Z_{F2})} \\ V_{bs} &= V_0 + a^2 V_1 + a V_2 = a^2 - \frac{Z_{S0} + a^2 Z_{S1} + a Z_{S2}}{(Z_{S0} + Z_{S1} + Z_{S2}) + (Z_{F0} + Z_{F1} + Z_{F2})} \end{aligned} \quad (26)$$

$$V_{cs} = V_0 + aV_1 + a^2V_2 = a - \frac{Z_{S0} + aZ_{S1} + a^2Z_{S2}}{(Z_{S0} + Z_{S1} + Z_{S2}) + (Z_{F0} + Z_{F1} + Z_{F2})}$$

Para  $V_{as}$ , el término referente a la caída de voltaje ha sido reescrito para obtenerlo de forma separada; si se considera el sistema sólidamente aterrizado, se tiene que las impedancias de la fuente en componentes de secuencia, son a menudo casi iguales, por lo que las fases no falladas no son afectadas. Tomando en cuenta las consideraciones descritas previamente, así como el hecho de que los valores de secuencia de la impedancia de falla son tan pequeños que se pueden despreciar, estos voltajes de fase llegan a ser:

$$\begin{aligned} V_{as} &= V_{SAG} \\ V_{bs} &= a^2 - \frac{1 + a^2 + a}{3} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \\ V_{cs} &= a - \frac{1 + a + a^2}{3} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \end{aligned} \quad (27)$$

Estos son los voltajes resultantes si la carga es conectada en estrella en terminales del equipo, el diagrama fasorial se ilustra en la figura 6-A); para la obtención de las expresiones en la fases no falladas, se consideró que las componentes de secuencia de la impedancia son iguales y con valor igual a 1 pu.

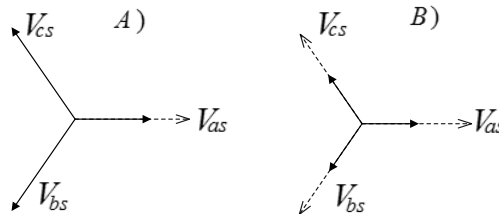


Figura 6.- SAGs por fallas: A) Falla de línea a tierra, B) Falla trifásica

### 7. MODELO DE RED CON GENERADOR DE INDUCCIÓN JAULA DE ARDILLA.

El generador de inducción se encuentra conectado por medio de una línea de transmisión a un bus infinito. La línea eléctrica que se utiliza en este análisis está basado como se muestra en [5], donde se modela de la siguiente forma, figura 7:

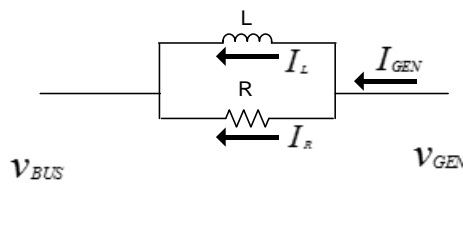


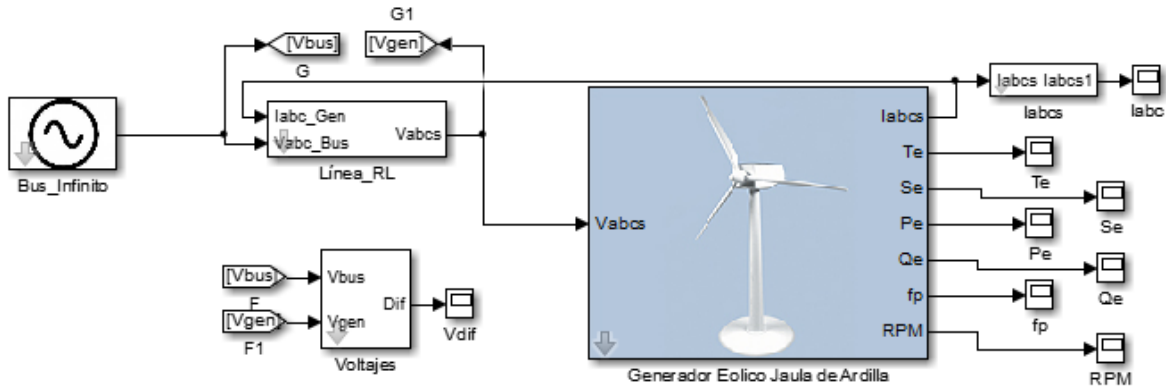
Figura 7.- Modelo de línea eléctrica para la simulación

$$\begin{aligned} I_{gen} &= I_R + I_L \quad , \quad V_{linea} = L \frac{dI_L}{dt} = RI_R \\ V_{gen} &= V_{bus} - V_{linea} \end{aligned} \quad (28)$$

En este estudio se tiene que los parámetros de la línea son  $R = 0.466 \Omega$  y  $L = 0.0092 H$ .

**8. ESTUDIO DE CASOS.**

Para implementar la simulación en MATLAB SIMULINK, se utilizan (5) a (16) y (28) para el modelo de la línea eléctrica; se considerará que en el bus infinito ocurren las fallas trifásica y de línea a tierra expresadas por el conjunto de ecuaciones (23) y (27) respectivamente; la figura 8 corresponde al modelo implementado de generador conectado a bus infinito por medio de la línea. Los parámetros tomados para la simulación se muestran en la Tabla I, y que se encuentran en [9].



**Figura 8.- Sistema en SIMULINK para el generador de inducción jaula de ardilla.**

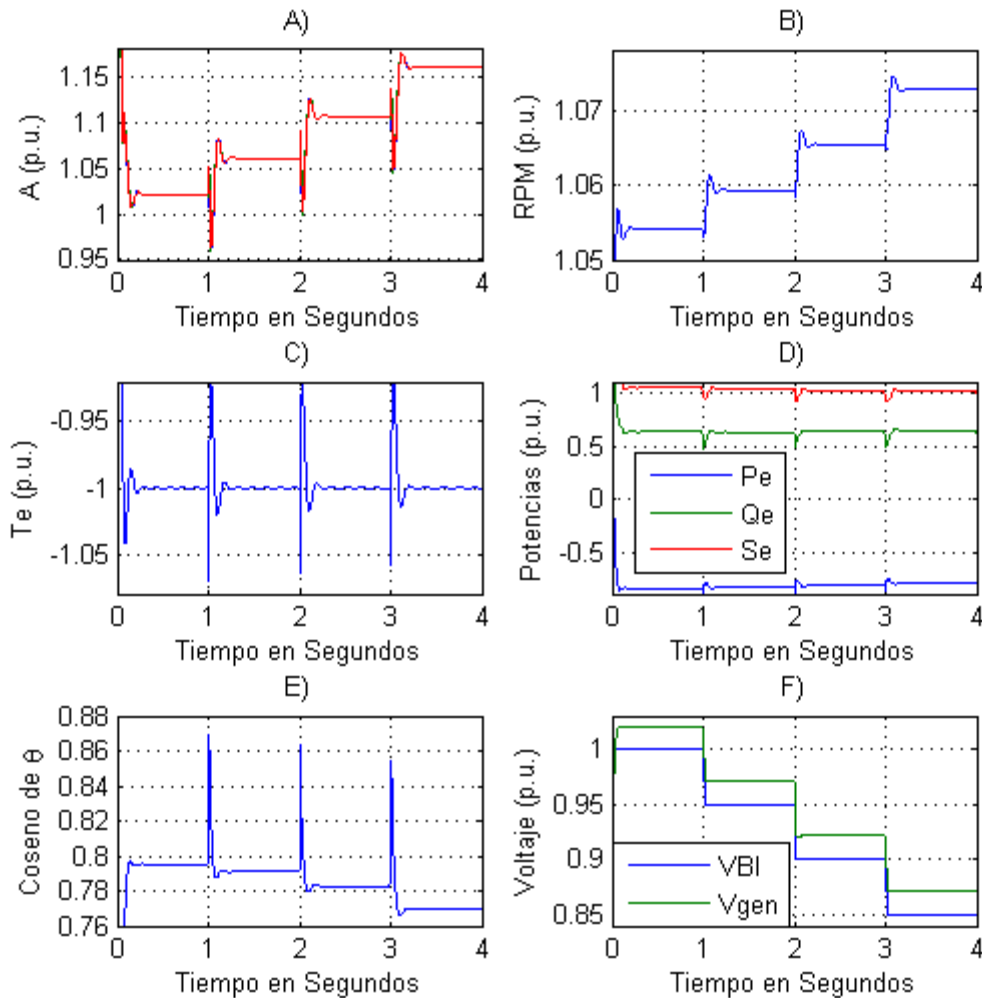
**Tabla I.- Parámetros eléctricos**

Datos de Generador	
$r_s = 2.52195 \Omega$	$r_r = 0.976292 \Omega$
$X_{ls} = 1.95145 \Omega$	$X_{lr} = 2.99451 \Omega$
$X_m = 55.3431 \Omega$	$J = 0.117393 \text{ kg} * \text{m}^2$
$V_{LL} = 340 \text{ V (rms)}$	10 HP
$P = 4 \text{ Polos}$	$f = 50 \text{ Hz}$

Como anteriormente se mencionó, el generador se supondrá en estado de operación cuasi-estática, despreciando la naturaleza errática del viento y considerando un par de operación constante antes de las fallas simuladas; para tal efecto se supondrá una condición de operación de par de carga 100% del nominal. Cabe mencionar que en condiciones de operación normal una máquina generadora puede no ser requerida a su máxima capacidad. Para analizar los efectos de la variación del comportamiento del generador de inducción jaula de ardilla se monitorean las variables de voltaje en terminales *rms*, corriente *rms*, potencias activa, reactiva y aparente, además del par eléctrico y la velocidad mecánica del rotor. Para tener una perspectiva un poco más amplia, se realizaron decrementos en la variable  $V_{SAG}$  en el conjunto de ecuaciones (23) y (27) de 5% cada segundo, con el objetivo de observar el comportamiento del aerogenerador. En la Figura 9 se tienen las variables de interés monitoreadas cuando se presenta una falla trifásica. Recordando que este tipo de falla idealmente es de naturaleza balanceada, se tiene una disminución de voltajes idéntica entre fases, así como la corriente inyectada por el generador hacia el sistema presenta un aumento simétrico. Al ocurrir cada cambio de estado se presenta un transitorio debido a que dicho cambio no se realiza de manera instantánea.

En la figura 9-D) la potencia activa es negativa, puesto que se considera saliente de terminales de la máquina, y al no tener control de la potencia reactiva, en todo momento el generador consume de la red para su funcionamiento. Se puede observar que el factor de potencia disminuye con cada nueva condición de operación, dado por la potencia reactiva que aumenta ante la disminución de la variable  $V_{SAG}$ .

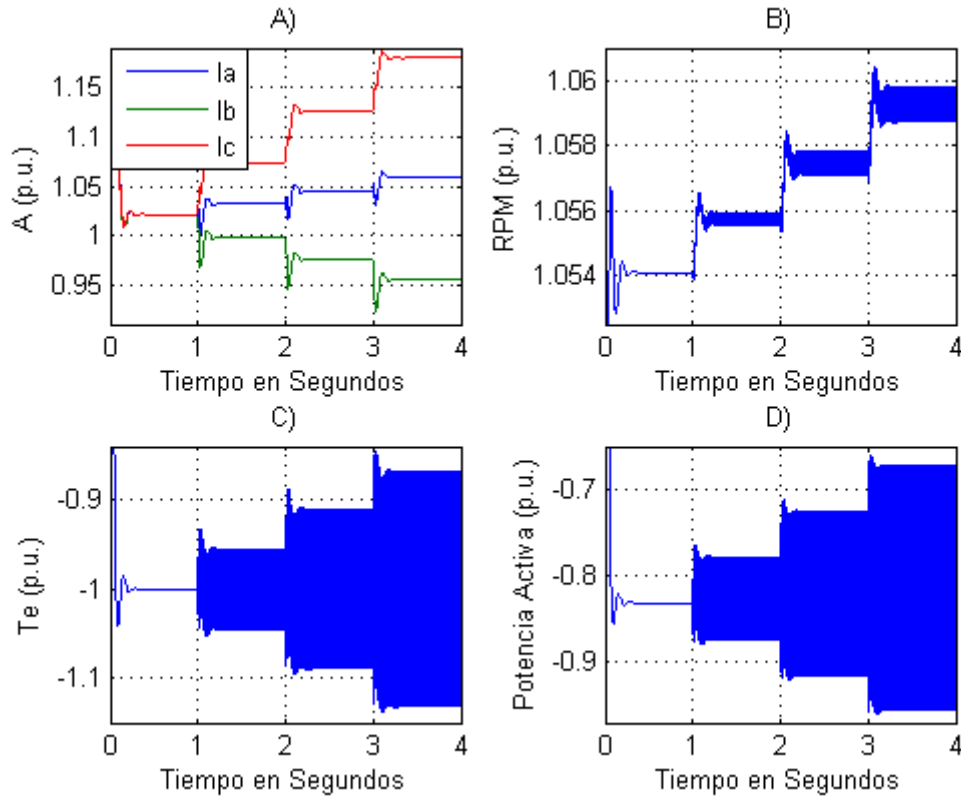
Con respecto al par magnético desarrollado, se tiene un momento de aceleración que obliga a girar el rotor a una velocidad cada vez más elevada durante cada cambio de estado de operación, obteniendo el régimen permanente cuando se igualan pares motor y resistente.



**Figura 9.- Falla Trifásica: A) Corrientes en estator, B) Velocidad de giro de rotor, C) Par eléctrico desarrollado, D) potencias Activa, Reactiva y Aparente, E) factor de potencia y F) Voltaje en terminales del generador (Vgen) y en Bus Infinito (VBI).**

En la figura 10 se presentan las variables de interés cuando se realizan dichas disminuciones en el factor  $V_{SAG}$  ante una falla de línea a tierra; dicha falla en el sistema es desbalanceada, ya que solo una fase tiende a cero cuando se presenta esta condición anormal de operación en el sistema eléctrico. Con esto como antecedente, el campo electromagnético resultante en el interior del aerogenerador presenta un desbalance, que impacta en el par desarrollado oscilando, ya que

cuando se tienen condiciones desbalanceadas en el sistema la componente de secuencia negativa presenta una frecuencia única de oscilación de  $2\omega_s$ , independientemente de la disminución de voltaje que se presente, lo que es una frecuencia del doble del sistema [10]-[11]. Par electromagnético y potencia activa están relacionadas y por esta razón también presenta oscilaciones. Con respecto a la velocidad de rotor, figura 10-B), dicha oscilación puede repercutir en el correcto funcionamiento del generador y eventuales daños a la constitución física de la máquina. La inyección de corrientes al sistema se puede observar, presenta una gran diferencia entre fases.



**Figura 10.- Falla línea a tierra: A) Corrientes en estator, B) Velocidad de giro de rotor, C) Par eléctrico desarrollado, D) Potencia Activa.**

## 9. CONCLUSIONES.

Con las simulaciones realizadas se ha visto que la ocurrencia de fallas en el sistema eléctrico, independientemente del nivel de tensión, presenta condiciones de operación inusuales que afectan el correcto funcionamiento de los equipos eléctricos conectados a la red, en este caso máquina de inducción jaula de ardilla en régimen generador acoplada a una turbina de viento, siendo las que más impactan las fallas desbalanceadas. En este artículo se ha desarrollado la metodología correspondiente al cálculo de magnitud de tensiones durante estos disturbios, para fallas trifásicas y de línea a tierra, pero en la literatura dichas fallas suelen referirse como SAGs y pueden, según la topología del sistema, clasificarse en varios más [12].

Aquí se ha enfocado el estudio en las fallas antes mencionadas debido a la justificación expuesta al inicio, la falla trifásica es el cálculo de referencia que se toma como punto de partida para determinar las corrientes que pueden presentarse en un sistema eléctrico y con respecto a la falla de línea a tierra, porque es la de mayor ocurrencia. Se ha demostrado y comprobado que las fallas desbalanceadas generan oscilaciones en la velocidad de giro del rotor, que eventualmente afectarán la constitución de la máquina. En la operación normal de una máquina eléctrica, se



cuenta con medios de protección cuyo propósito es minimizar el impacto de dichos disturbios en el sistema, por lo que en este documento, una falla con duración de un segundo puede parecer de muy larga duración, por lo que el enfoque aquí manejado es meramente ilustrativo y con ello analizar las variables antes mencionadas.

Con la elaboración de este artículo, se colabora al análisis y entendimiento de la maquina asíncrona tipo jaula de ardilla cuando funciona en régimen generador en sistemas impulsados por viento, debido a que este equipo se está perfilando como una alternativa interesante debido a su bajo costo, de forma relativa en comparación a una máquina de inducción de rotor devanado, y a su simplicidad de mantenimiento.

## 10. REFERENCIAS.

- [1] Ion Boldea, Syed A. Nasar, *"The Induction Machine Handbook"*, CRC Press, Florida, 2002.
- [2] Jesús Fraile Mora, *"Máquinas Eléctricas"*, Mc Graw-Hill, 5ª edición, España, 2003, ISBN: 84-481-3913-5.
- [3] Harper, Enriquez, *"Protección de Instalaciones Eléctricas Industriales y Comerciales"*, 2ª edición, Editorial Limusa, 2003.
- [4] Olimpo Anaya-Lara, et al. *"Wind Energy Generation, Modelling and Control"*, John Wiley & Sons Ltd, United Kingdom, 2009.
- [5] Ion Boldea, *"Variable Speed Generators"*, Taylor & Francis Group, Florida, 2006.
- [6] Chee-Mun Ong, *"Dynamic Simulation of Electric Machinery Using MATLAB/SIMULINK"*, Prentice Hall, New Jersey, 1998.
- [7] IEEE Std. 1159-1995, USA.
- [8] Paul M. Anderson, *"Analysis of Faulted Power Systems"*, IEEE Press, USA, 1995, ISBN: 978-0-78031-145-9.
- [9] Okoro O. I., *"Dynamic Modeling and Simulation of Squirrel- Cage Asynchronous Machine with Non-Linear Effects"*, JAI, Vol. 2, Issue 6, 2005.
- [10] Kalyan K. Sen, Mey Ling Sen, *"Introduction to FACTS Controllers, Theory, Modeling and Applications"*, IEEE Press, New Jersey, 2009, ISBN: 978-0-470-47875-2.
- [11] K. Lima et al, *"Double-Fed Induction Generator Control under Voltage SAGs"*, Energy 2030 Conference, USA 2008.
- [12] Math H. Bollen, *"Understanding Power Quality Problems: Voltages SAGs and Interruptions"*, IEEE Press, USA, 1999, ISBN: 0-7803-4713-7.

## **6.2 AUDITORIA ELÉCTRICA EN ESPACIOS PÚBLICOS DE RECREACIÓN.**

Emmanuel Torres Montalvo, Freddy I. Chan Puc, Víctor M. Sánchez Huerta, Homero Toral Cruz.

Universidad de Quintana Roo, División de Ciencias e Ingeniería.

etorres@uqroo.mx, freddy@uqroo.mx, vsanchez@uqroo.mx, htoral@uqroo.mx

Área Técnica: Eléctrica.

### **RESUMEN.**

Este trabajo presenta una auditoria eléctrica realizada en dos espacios públicos de la ciudad de Chetumal a fin de detectar los riesgos a los que se encuentran expuestas las personas que visitan estos lugares, derivado de contar con instalaciones eléctricas inseguras que no cumplen con la normatividad aplicable. La primera auditoria se lleva a cabo en el parque de La Alameda. Como segundo objeto de estudio se tienen las instalaciones de la EXPOFER en donde se lleva a cabo la Feria de la Frontera Sur. El marco normativo es la NOM-001-SEDE 2005 Instalaciones eléctricas (Utilización). Para llevar a cabo la auditoria eléctrica se realizó una visita al lugar para la inspección visual de las condiciones de la instalación eléctrica. Como segunda parte, una vez detectadas las anomalías estas se relacionan con los artículos de la NOM-001-SEDE-2005 y se realiza un concentrado de las anomalías describiendo los incumplimientos detectados.

### **ABSTRAC.**

This paper presents an electrical audit carried out in two public spaces of the city, Chetumal, Quintana Roo, in order to identify the risks exposure to individuals who visit these places due to having unsafe electrical installations that do not meet the applicable regulations. The first audit was carried out in the La Alameda Park. The installations at EXPOFER, where the Feria de la Frontera Sur takes place, is the second object of investigation. The regulatory framework used is the NOM-001-SEAT 2005 Electrical installations. The electrical audit was carried out by visiting the site for visual inspection of the condition of the electrical installation. Moreover, once the anomalies are detected they are related to the articles of the NOM-001-SEDE-2005. A summarized record of the anomalies is then carried out describing the detected noncompliance.

## **1 INTRODUCCIÓN.**

Las instalaciones eléctricas son el medio por el cual la energía eléctrica se distribuye desde el punto de conexión con la compañía suministradora hacia todas las cargas eléctricas como luminarias, aires acondicionados, ventiladores, motores, etc. La corriente eléctrica puede ser muy destructiva cuando se presenta fallas en el sistema eléctrico o en la instalación eléctrica y si esta corriente no es limitada por algún dispositivo de protección las consecuencias pueden ser fatales. Es de vital importancia entonces contar con instalaciones eléctricas seguras que minimicen el riesgo de accidentes. En México existe la NOM-001-SEDE-2005 que establece las especificaciones técnicas mínimas que deben tener las instalaciones eléctricas para considerarse seguras.

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, instalaciones eléctricas (utilización), fue aprobada en la cuarta sesión ordinaria del comité consultivo nacional de normalización de instalaciones eléctricas, celebrada el 8 de Noviembre de 2005. La estructura de esta Norma Oficial Mexicana, responde a las necesidades técnicas que requiere la utilización de la energía eléctrica en las instalaciones eléctricas en el ámbito nacional; se cuida el uso de vocablos y se respetan los

términos habituales, para evitar confusiones en los conceptos. Asimismo, se han ordenado los textos procurando claridad de expresión y unidad de estilo para una mejor comprensión. Lo que hará más fácil entender sus disposiciones.

El objetivo de esta NOM es establecer las especificaciones y lineamientos de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas a la utilización de la energía eléctrica, a fin de que ofrezcan condiciones adecuadas de seguridad para las personas y sus propiedades, en lo referente a la protección contra: los choques eléctricos, los efectos térmicos, sobrecorrientes, las corrientes de falla y sobretensiones. El cumplimiento de las disposiciones indicadas en esta norma garantiza el uso de la energía eléctrica en forma segura; asimismo esta norma no intenta ser una guía de diseño, ni un manual de instrucciones para personas no calificadas.

## **2 AUDITORIA ELÉCTRICA.**

La auditoría es un proceso a través del cual un sujeto (auditor) lleva a cabo la revisión de un objeto (situación auditada), con el fin de emitir una opinión acerca de su razonabilidad (o fidelidad) sobre la base de un patrón o estándar establecido. La Auditoría puede definirse como «un proceso sistemático para obtener y evaluar de manera objetiva las evidencias relacionadas con informes sobre actividades económicas y otros acontecimientos relacionados, cuyo fin consiste en determinar el grado de correspondencia del contenido informativo con las evidencias que le dieron origen, así como establecer si dichos informes se han elaborado observando los principios establecidos para el caso».

### **2.1 Pasos para llevar a cabo la auditoría eléctrica.**

Una forma de llevar a cabo la auditoría eléctrica es pasarse en el Procedimiento para la Evaluación de la Conformidad (PEC) de la NOM-001-SEDE-2005 el cual se emplea para llevar a cabo la verificación de las instalaciones eléctricas. Es importante señalar que debido a que las auditorías eléctricas no son obligatorias, sino más bien una herramienta para identificar anomalías en las instalaciones eléctricas, la auditoría puede ser llevada a cabo por personas calificadas en el área y no forzosamente por una UVIE.

Básicamente la auditoría eléctrica se puede llevar a cabo tomando en cuenta los siguientes pasos:

- *Revisión de planos eléctricos*; en esta etapa se evalúa el diseño de la instalación eléctrica (diagrama unifilar, cuadro de cargas, etc.) en función de la NOM-001-SEDE-2005.
- *Inspección de las instalaciones eléctricas*; en este paso se verifica que se haya hecho un trabajo profesional y en cumplimiento con la NOM-001-SEDE-2005.
- *Resumen de las anomalías encontradas en las instalaciones eléctricas*; una vez analizado y observado los pasos anteriores, se determina una lista de todos los incumplimientos de la norma, dando a conocer los riesgos en que estas acciones pueden influir al usuario.
- *Propuestas*; concluyendo con el proceso de esta auditoría, se dan a conocer las condiciones en que se debe mejorar el servicio de las instalaciones eléctricas.

### **2.2 Resumen de incumplimientos detectados.**

Una vez finalizado el recorrido y la inspección de las instalaciones eléctricas del inmueble, se realiza un resumen de los incumplimientos detectados durante la auditoría. Se identifica el artículo de la NOM-001-SEDE-2005 que corresponda a cada situación identificada y se da una posible solución al problema detectado.

Por ejemplo, en la Figura 1 puede observarse un tubo color naranja mejor conocido como poliducto el cual se encuentra sobre la superficie del piso y además está roto. También debe notarse que los conductores eléctricos se encuentran expuestos al sol, lluvia, daño mecánico y fácilmente pueden causar un accidente si alguna persona por accidente pisa los conductores. Una vez detectado el incumplimiento el siguiente paso es relacionarlo con los artículos correspondientes de la NOM-001-SEDE-2005.



**Figura 1. Anomalías detectadas en conductores y tuberías.**

Los artículos aplicables son:

**Artículo 300-4** Protección contra daños físicos. En donde los conductores estén expuestos a daños físicos, deben protegerse adecuadamente.

**Observaciones:** emplear una tubería adecuada que proporcione al conductor protección contra daños mecánicos, y de quedar expuesto a las condiciones climatológicas que afectan el aislamiento y reducen su vida útil.

**Artículo 332** - Tubo (conduit) de Polietileno

332-1. Definición. Los tubos (conduit) de polietileno pueden ser de dos tipos: una canalización semirrígida, lisa o una canalización corrugada y flexible, ambos con sección transversal circular, y sus correspondientes accesorios aprobados para la instalación de conductores eléctricos.

**332-4. Usos no permitidos.** No debe usarse el tubo (conduit) de polietileno:

- 1) En áreas peligrosas (clasificadas).
- 2) Como soporte de aparatos y otro equipo.
- 3) Cuando estén sometidas a temperatura ambiente que supere aquella para la que está aprobado el tubo (conduit).
- 4) Para conductores cuya limitación de la temperatura de operación del aislamiento exceda la temperatura a la cual el tubo (conduit) está aprobado.
- 5) Directamente enterradas

**Observaciones:** enterrar la tubería de poliducto a una profundidad no menor de 50cms y debe ir protegida con un recubrimiento de concreto de al menos 5 cms.

Esta es la metodología que seguirá para llevar a cabo la auditoria en los dos espacios públicos mencionados anteriormente, todo con el fin de reducir los riesgos de accidentes y brindar a la población las condiciones de seguridad mínimas requeridas y establecidas en la normatividad.

### 3 PARQUE DE LA ALAMEDA.

#### 3.1 Información general.

El parque La Alameda es un lugar visitado por todo tipo de personas para realizar actividades recreativas, deportivas y culturales. Al realizar una visita a este lugar público, se identificaron diversas anomalías en las instalaciones eléctricas que no cumplen con lo establecido en la NOM-001-SEDE-2005. Siendo el parque un espacio de fácil acceso para las personas y en especial los niños, el hecho de que en las instalaciones eléctricas se encuentre a simple vista cables desnudos y energizados en registros, luminarias, centro de carga, empalmes expuestos, tableros abiertos, etc., pone en riesgo la integridad física de las personas que visitan este espacio público.

El Parque de la Alameda es uno de los parques más antiguos de la ciudad, ubicado en la avenida Álvaro Obregón a un costado del Palacio Municipal. Es un lugar muy tranquilo, arborizado, en su centro se encuentra una plaza en forma de circunferencia y ahí hay un anfiteatro donde las personas realizan actividades deportivas y culturales como: danza folclórica, ensayos de banda de guerra, bailes etc. El Parque cuenta con instalaciones deportivas como canchas de basquetbol y juegos infantiles, donde se pueden llevar a cabo muchas actividades de recreación.

#### 3.2 Incumplimientos detectados.

En esta sección se muestran los incumplimientos más importantes detectados en el recorrido realizado por las instalaciones del parque. Se muestra una fotografía de la anomalía detectada y a continuación los artículos correspondientes de la NOM-001-SEDE-2005 correspondientes.

En la Figura 2 puede observarse conductores expuestos y el uso indebido de poliducto. Esto representa un riesgo para las personas que se encuentran realizando alguna actividad deportiva o recreativa ya que pueden pisar o entrar en contacto con los conductores y sufrir una descarga.



Figura 2. Conductores eléctricos expuestos y uso indebido de poliducto

#### Sección de Referencia de la NOM.

**300-4. Protección contra daños físicos.** En donde los conductores estén expuestos a daños físicos, deben protegerse adecuadamente.

**110-12. Ejecución mecánica de los trabajos.** Los equipos eléctricos se deben instalar de manera limpia y profesional.

**332-4. Usos no permitidos.** (Tubo conduit de polietileno)

No debe usarse el tubo (conduit) de polietileno:

- 1) En áreas peligrosas (clasificadas).
- 2) Como soporte de aparatos y otro equipo.
- 3) Cuando estén sometidas a temperatura ambiente que supere aquélla para la que está aprobado el tubo (conduit).
- 4) Para conductores cuya limitación de la temperatura de operación del aislamiento exceda la temperatura a la cual el tubo (conduit) está aprobado.
- 5) Directamente enterradas.

**Ubicación:** A un costado de cancha deportiva lado este.

**Observaciones:** Cambiar el tipo de canalización por una adecuada y sus accesorios o enterrar el poliducto a una distancia no menor de 50cms recubierto en concreto de al menos 5 cms. de espesor.

En la Figura 3 se muestra un poste para luminaria en el cual los conductores se encuentran expuestos y están colocados sobre el poste metálico lo cual representa un peligro latente para cualquier persona que tenga contacto con esta luminaria.



**Figura 3 Poste para luminaria con los conductores expuestos**

#### **Sección de Referencia de la NOM.**

**300-4. Protección contra daños físicos.** En donde los conductores estén expuestos a daños físicos, deben protegerse adecuadamente.

**230-50. Protección de conductores y de cables sobre superficies expuestos contra daño.** Los conductores de acometida instalados superficialmente, se deben proteger contra daño físico según lo establecido en (a) y (b) siguientes:

b) Otros cables. Los cables y conductores individuales y distintos de los de la entrada de acometida, no se deben instalar a menos de 3 m del nivel del piso o donde estén expuestos a daño físico.

**250-43. Equipo fijo o conectado de forma permanente-específico.** Deben ser puestos a tierra, independientemente de su tensión eléctrica nominal, las partes metálicas expuestas y no conductoras de corriente eléctrica del equipo descrito a continuación ((a) a (j)), y las partes metálicas no destinadas a conducir corriente eléctrica del equipo y de envolventes descritas en (k) y (l):

**Ubicación:** Luminario en las canchas de basquetbol a un costado de las gradas.

**Observaciones:** Emplear una tubería adecuada para la alimentación de las luminarias o realizar la instalación de acuerdo al 230-50. Y conectar a tierra las partes metálicas del luminario.

En la Figura 4 se observa el uso indebido del poliducto para energizar las luminarias. También se muestra que las conexiones eléctricas están expuestas ya que no tiene tapa para evitar el contacto accidental con los conductores eléctricos.



**Figura 4. Uso indebido del poliducto y conexiones expuestas.**

#### **Sección de Referencia de la NOM.**

**110-12. Ejecución mecánica de los trabajos.** Los equipos eléctricos se deben instalar de manera limpia y profesional.

**110-17. Resguardo de partes vivas (de 600 V nominales o menos)**

a) Partes vivas protegidas contra contacto accidental. Excepto si en esta norma se requiere o autoriza otra cosa, las partes vivas del equipo eléctrico que funcionen a 50 V o más deben estar resguardadas contra contactos accidentales por envolventes apropiadas o por cualquiera de los medios siguientes:

**300-4. Protección contra daños físicos.** En donde los conductores estén expuestos a daños físicos, deben protegerse adecuadamente.

**332-4. Usos no permitidos.** (Tubo conduit de polietileno)

**370-25. Tapas sencillas y ornamentales.** En las instalaciones una vez terminadas, todas las cajas deben tener una tapa, una placa de cierre o una tapa ornamental.

**Ubicación:** Plaza central del parque.

**Observaciones:** El uso indebido del poliducto, las cajas de conexión sin tapa, conductores expuestos a daño mecánico incrementan el riesgo de accidente.

La Figura 5 muestra una caja para fusibles la cual se encuentra sujeta a una palmera sin ningún medio que impida el contacto accidental de alguna persona. En lugar de fusibles se tienen pedazos de conductor de cobre y la caja está expuesta a la intemperie y en caso de lluvia el agua pasa libremente ya que los orificios por donde deben pasar las tuberías, se encuentran abiertos.



**Figura 5. Caja para fusibles expuesta e insegura.**

#### **Sección de Referencia de la NOM.**

**110-12. Ejecución mecánica de los trabajos.** Los equipos eléctricos se deben instalar de manera limpia y profesional.

**110-17. Resguardo de partes vivas** (de 600 V nominales o menos)

a) Partes vivas protegidas contra contacto accidental. Excepto si en esta norma se requiere o autoriza otra cosa, las partes vivas del equipo eléctrico que funcionen a 50 V o más deben estar resguardadas contra contactos accidentales por envolventes apropiadas o por cualquiera de los medios siguientes:



**230-21.** Deben considerarse acometida aérea e instalarse como tal, a los conductores aéreos hasta un inmueble o estructura (como un poste) en donde se instala un medidor o un medio de desconexión.

**300-4. Protección contra daños físicos.** En donde los conductores estén expuestos a daños físicos, deben protegerse adecuadamente.

**300-6. Protección contra la corrosión.** Las canalizaciones metálicas, armaduras metálicas de cables, cajas, cubiertas de cables, gabinetes, codos metálicos, uniones y accesorios, soportes y sus herrajes, deben ser de materiales aprobados conforme con 110-2 para el medio ambiente donde se instalen.

#### **310-12. Identificación de los conductores**

**a) Conductores puestos a tierra.** Los conductores aislados, de tamaño nominal de 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG) o más pequeños, diseñados para usarse como conductores puestos a tierra en circuitos, deben tener una identificación exterior de color blanco o gris claro.

**b) Conductores de puesta a tierra.** Se permite instalar conductores de puesta a tierra desnudos, cubiertos o aislados. Los conductores de puesta a tierra, cubiertos o aislados individualmente, deben tener un acabado exterior continuo verde o verde con una o más franjas amarillas.

**c) Conductores de fase.** Los conductores que vayan a utilizarse como conductores de fase, ya sea como conductores sencillos o en cables multiconductores, deben estar identificados de modo que se distingan claramente de los conductores puestos a tierra y de los de puesta a tierra. Los conductores de fase se deben distinguir por colores distintos al blanco, gris claro o verde o por cualquier combinación de colores y sus correspondientes marcas.

**370-25. Tapas sencillas y ornamentales.** En las instalaciones una vez terminadas, todas las cajas deben tener una tapa, una placa de cierre o una tapa ornamental.

**373-4. Aberturas no utilizadas.** Las aberturas no utilizadas de los gabinetes o cajas para cortacircuitos deben cerrarse eficazmente de modo que ofrezcan una protección prácticamente igual que la de la pared del gabinete o caja para cortacircuitos. Si se utilizan tapas o placas metálicas en gabinetes o cajas para cortacircuitos no metálicos, deben quedar como mínimo 6,35 mm por debajo de su superficie exterior.

**Ubicación:** A un costado del anfiteatro.

**Observaciones:** El gabinete se encuentra colocado y sujetado alrededor de una palmera. La tapa se encuentra abierta así como los orificios por donde entran los conductores. Opera a una tensión de 220V y los conductores se encuentran expuestos y pueden entrar en falla y causar accidentes.

## **4 INSTALACIONES DE LA EXPOFER.**

### **4.1 Información general.**

Otro de los lugares públicos y uno de los más visitados es la feria de la Expofer donde se concentra una gran cantidad de personas que llegan a las exposiciones ganaderas, eventos culturales, juegos mecánicos, etc. La Expofer es una de las fiestas tradicionales de la ciudad de Chetumal la cual se lleva a cabo en los meses de octubre a noviembre, cuenta con actividades como; juegos mecánicos, exposición ganadera, artesanal, venta de comida y eventos culturales.

El espacio donde se lleva a cabo se encuentra ubicado en la salida de Chetumal, sobre la avenida Insurgentes, esta feria es visitada por la población de Chetumal y comunidades circunvecinas. Cabe mencionar que por lo general cuando se realiza este evento coincide con lluvias intensas lo

que incrementa la posibilidad de accidentes por contacto con partes energizadas como conductores, tableros, etc.

#### **4.2 Incumplimientos detectados.**

La figura 6 muestra un caja para fusibles instala de manera no profesional y que representa un gran riesgo ya que se incumplen diversos artículos de la norma y se pone en riesgo la seguridad de las personas que acuden a las instalaciones de la Expofer.



**Figura 6. Caja para fusibles expuesta e instalada de forma insegura.**

#### **Sección de Referencia de la NOM.**

**110-12. Ejecución mecánica de los trabajos.** Los equipos eléctricos se deben instalar de manera limpia y profesional.

**110-17. Resguardo de partes vivas** (de 600 V nominales o menos)

a) Partes vivas protegidas contra contacto accidental. Excepto si en esta norma se requiere o autoriza otra cosa, las partes vivas del equipo eléctrico que funcionen a 50 V o más deben estar resguardadas contra contactos accidentales por envolventes apropiadas o por cualquiera de los medios siguientes:

**230-21.** Deben considerarse acometida aérea e instalarse como tal, a los conductores aéreos hasta un inmueble o estructura (como un poste) en donde se instala un medidor o un medio de desconexión.

**300-4. Protección contra daños físicos.** En donde los conductores estén expuestos a daños físicos, deben protegerse adecuadamente

**300-6. Protección contra la corrosión.** Las canalizaciones metálicas, armaduras metálicas de cables, cajas, cubiertas de cables, gabinetes, codos metálicos, uniones y accesorios, soportes y

sus herrajes, deben ser de materiales aprobados conforme con 110-2 para el medio ambiente donde se instalen.

### **310-12. Identificación de los conductores**

**a) Conductores puestos a tierra.** Los conductores aislados, de tamaño nominal de 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG) o más pequeños, diseñados para usarse como conductores puestos a tierra en circuitos, deben tener una identificación exterior de color blanco o gris claro.

**b) Conductores de puesta a tierra.** Se permite instalar conductores de puesta a tierra desnudos, cubiertos o aislados. Los conductores de puesta a tierra, cubiertos o aislados individualmente, deben tener un acabado exterior continuo verde o verde con una o más franjas amarillas.

**c) Conductores de fase.** Los conductores que vayan a utilizarse como conductores de fase, ya sea como conductores sencillos o en cables multiconductores, deben estar identificados de modo que se distingan claramente de los conductores puestos a tierra y de los de puesta a tierra. Los conductores de fase se deben distinguir por colores distintos al blanco, gris claro o verde o por cualquier combinación de colores y sus correspondientes marcas.

**373-4. Aberturas no utilizadas.** Las aberturas no utilizadas de los gabinetes o cajas para cortacircuitos deben cerrarse eficazmente de modo que ofrezcan una protección prácticamente igual que la de la pared del gabinete o caja para cortacircuitos. Si se utilizan tapas o placas metálicas en gabinetes o cajas para cortacircuitos no metálicos, deben quedar como mínimo 6,35 mm por debajo de su superficie exterior.

**Ubicación:** Acceso principal a la Expofer

**Observaciones:** Este gabinete es aparentemente uno de los interruptores principales de la Expofer, puede observarse que el trabajo realizado no es profesional, no existe una acometida, los conductores no están identificados ni en canalización y existe un enorme potencial de un accidente.

La Figura 7 muestra conexión de conductores de aluminio y cobre de una manera indebida como se describe en la norma deben emplearse conectores para este tipo de empalmes.



**Figura 7. Empalme indebido de conductores.**

### Sección de Referencia de la NOM.

**110-12. Ejecución mecánica de los trabajos.** Los equipos eléctricos se deben instalar de manera limpia y profesional.

**110-14. Conexiones eléctricas.** Debido a las diferentes características del cobre y del aluminio, deben usarse conectadores o uniones a presión y terminales soldables apropiados para el material del conductor e instalarse adecuadamente. No deben unirse terminales y conductores de materiales distintos, como cobre y aluminio, a menos que el dispositivo esté identificado (aprobado conforme con lo establecido en 110-2) para esas condiciones de uso. Si se utilizan materiales como soldadura, fundentes o compuestos, deben ser adecuados para el uso y de un tipo que no cause daño a los conductores, sus aislamientos, la instalación o a los equipos.

b) Empalmes. Los empalmes, uniones y extremos libres de los conductores deben cubrirse con un aislamiento equivalente al de los conductores o con un dispositivo aislante adecuado.

**300-4. Protección contra daños físicos.** En donde los conductores estén expuestos a daños físicos, deben protegerse adecuadamente.

### 310-12. Identificación de los conductores

**a) Conductores puestos a tierra.** Los conductores aislados, de tamaño nominal de 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG) o más pequeños, diseñados para usarse como conductores puestos a tierra en circuitos, deben tener una identificación exterior de color blanco o gris claro.

**b) Conductores de puesta a tierra.** Se permite instalar conductores de puesta a tierra desnudos, cubiertos o aislados. Los conductores de puesta a tierra, cubiertos o aislados individualmente, deben tener un acabado exterior continuo verde o verde con una o más franjas amarillas.

**c) Conductores de fase.** Los conductores que vayan a utilizarse como conductores de fase, ya sea como conductores sencillos o en cables multiconductores, deben estar identificados de modo que se distingan claramente de los conductores puestos a tierra y de los de puesta a tierra. Los conductores de fase se deben distinguir por colores distintos al blanco, gris claro o verde o por cualquier combinación de colores y sus correspondientes marcas.

### 300-15(a) Caja de salida o caja de paso o de empalme.

Debe instalarse una caja de salida o caja de paso o de empalme, que cumpla lo establecido en 370-16 y 370-28, para cada punto de conexión de empalme de conductores, salida, punto de conexión, punto de unión, o punto de jalado, para la conexión de tubo (conduit), canalizaciones de superficie u otras canalizaciones.

**332-12.** Empalmes y derivaciones. Los empalmes y derivaciones sólo se deben hacer en las cajas de empalmes, cajas de salida, cajas de dispositivos o cajas de paso. Para las disposiciones sobre instalación y uso de las cajas y registros, véase el Artículo 370.

**410-3.** Partes vivas. Los luminarios, portalámparas, lámparas y receptáculos no deben tener partes vivas expuestas normalmente al contacto. Las terminales expuestas accesibles de los portalámparas, receptáculos y desconectores, no se deben instalar en toldos con cubierta metálica ni en las bases abiertas de lámparas portátiles de mesa o de piso

**Ubicación:** Poste de luz en el centro de la feria.

**Observaciones:** Los conductores se encuentran expuestos, no cuenta con canalización, están en contacto con las partes metálicas de la estructura y se están conectados conductores de cobre y aluminio de manera no permitida.

---

## **CONCLUSIONES.**

El desinterés por parte de las autoridades por contar con instalaciones eléctricas seguras, es decir, que cumplan con la normatividad vigente, pone en riesgo la integridad de las personas que acuden a realizar diferentes actividades a los espacios públicos como parques y lugares de concentración pública. En este trabajo se realizaron dos auditorías eléctricas que dejan en evidencia los riesgos a los que se exponen las personas que hacen uso de las instalaciones en estos espacios públicos. Es importante que las autoridades competentes se den a la tarea de supervisar que las instalaciones eléctricas cumplan con los requerimientos mínimos especificados en la NOM-001-SEDE-2005 a fin de reducir la posibilidad de accidentes por choques eléctricos. También es necesario contar con mano de obra calificada y profesional, ya que la calidad de las instalaciones auditadas no es profesional ni segura. Es de vital importancia auditar las instalaciones eléctricas de manera periódica en los lugares públicos a fin de evitar accidentes que pudieran tener consecuencias muy lamentables.

## **REFERENCIAS.**

- [1] NOM-001-SEDE-2005 Instalaciones eléctricas (Utilización).
- [2] Curso “Auditorías Eléctricas”, Ing. Jesús Velasco Solís, UQROO, Diciembre 2011.

## 7. SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

### 7.1 IMPLEMENTACIÓN DE LABORATORIO VIRTUAL EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CAMPECHE PARA LA CARACTERIZACIÓN DE SEÑALES OBTENIDAS DE UN SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA.

C. Sarricolea Guillermo<sup>a</sup>, F. Lezama Zárraga<sup>a</sup>, J. Lagunas Jiménez<sup>a</sup>, V. Moo Yam<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche.

<sup>b</sup>Centro de Investigación en Corrosión, Universidad Autónoma de Campeche.

[al042295@uacam.mx](mailto:al042295@uacam.mx), [frlezama@uacam.mx](mailto:frlezama@uacam.mx), [irlaguna@uacam.mx](mailto:irlaguna@uacam.mx), [victmmoo@uacam.mx](mailto:victmmoo@uacam.mx)

#### RESUMEN.

La caracterización de la dinámica de los fenómenos oscilatorios de un sistema eléctrico de potencia cuando opera en condiciones normales y cuando está sujeto a una contingencia es fundamental en la toma de decisiones durante el monitoreo del sistema. En este artículo se propone un marco teórico analítico y un prototipo de laboratorio virtual para la caracterización y modelado de la evolución temporal de las oscilaciones en los Sistemas Eléctricos de Potencia en alta y baja tensión y se desarrollan técnicas para extraer el contenido modal de la señales obtenidas de Unidades de Medición Fasorial (PMU's=Phasor Measurement Units) y de un equipo analizador de redes en baja tensión.

La metodología proporciona soluciones óptimas de los parámetros eléctricos instantáneos. De esta manera se puede emitir un reporte confiable sobre la calidad de la energía en una red de distribución de acuerdo a las normas NOM-001-SEDE-2012, NMX-J-098-ANCE-1999 y NOM-008-SCFI-2002. Además el prototipo resultado de la investigación puede ser empleado en pruebas de interés académico tanto para la comunidad de la Universidad Autónoma de Campeche, como para otras Instituciones de Nivel Superior del territorio nacional.

Los resultados obtenidos con el laboratorio virtual son comparados con un análisis espectral mediante la transformada rápida de Fourier. Los resultados muestran que el prototipo propuesto proporciona una caracterización precisa de fenómenos con un comportamiento transitorio y con efectos no estacionarios.

#### ABSTRACT.

The characterization of the dynamics of oscillatory phenomena in an electrical power system when operating under normal conditions and when subjected to a contingency is critical in making decisions during the system monitoring. In this paper an analytical framework and a virtual laboratory prototype for characterization and modeling of the temporal evolution of the oscillations in Electric Power Systems in high and low voltage techniques are proposed and developed to extract the modal content of the signals obtained from Phasor Measurement Units (PMU'S = Phasor Measurement Units) and a network analyzer for low voltage equipment.

The methodology provides optimal solutions of the instantaneous electrical parameters. This way you can give a reliable report on the quality of power distribution network according to NOM-001-SEDE-2012, NMX-J-098-ANCE-1999, and NOM-008-SCFI-2002. Besides the prototype of the research results can be used in tests of academic interest to the Universidad Autonoma de Campeche community, as other Universities of the country.

The results obtained with the virtual laboratory are compared with spectral analysis via fast Fourier transform. The results show that the proposed prototype provides accurate in the study of transient phenomena with non-stationary behavior.

## 1. INTRODUCCIÓN.

Conocer el comportamiento de las variables eléctricas en corriente alterna [1] para una instalación o sistema a través de las señales obtenidas de algún equipo de medición es fundamental para determinar las condiciones reales de funcionamiento. En una instalación, sea esta residencial, industrial o de servicios, es indispensable realizar una auditoría energética y un análisis de señales discretas con el propósito de disminuir pérdidas de potencia y energía y mantener un eficiente factor de potencia; esto se verá reflejado en la disminución de la facturación de la empresa suministradora.

Para realizar este tipo de estudios se requiere un laboratorio con las herramientas y equipos necesarios y que el auditor energético tenga los conocimientos teóricos y prácticos suficientes para interpretar los resultados de las pruebas del laboratorio. A menudo, un laboratorio convencional presenta inconvenientes al momento de realizar una práctica individual o grupal, ya sea la falta de equipos, el tiempo y la disposición del mismo laboratorio, aunado a la problemática de preparar alguna prueba específica para reforzar los conceptos obtenidos en el aula.

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) han sobresalido enormemente en el área de la enseñanza debido a que favorecen y facilitan el aprendizaje de los alumnos de algún tema determinado, complementando las horas teóricas de las clases [2].

Al hablar de un Laboratorio Virtual (LV) nos enfrentamos a una parte de la enseñanza que en la actualidad se está implementando en la mayoría de las escuelas, ya sean del nivel medio superior o superior.

La Instrumentación Virtual es una de las herramientas que nos ayuda a identificar el comportamiento de señales obtenidas de mediciones [3]. Dichas señales son multicomponentes que contienen un alto nivel de no linealidad y además son variantes en el tiempo, lo que complica su análisis empleando técnicas lineales convencionales [4].

Un Laboratorio Virtual se conforma de un software donde se crea la plataforma de enseñanza. Existen infinidad de software empleados en las TICs, sin embargo los software de programación gráfica sobresalen por su programación intuitiva y su plataforma abierta para la mejora continua de algoritmos de cálculos, lo cual lo hace perfectible. Entre estos programas podemos mencionar Labview, DasyLab y Matlab [5].

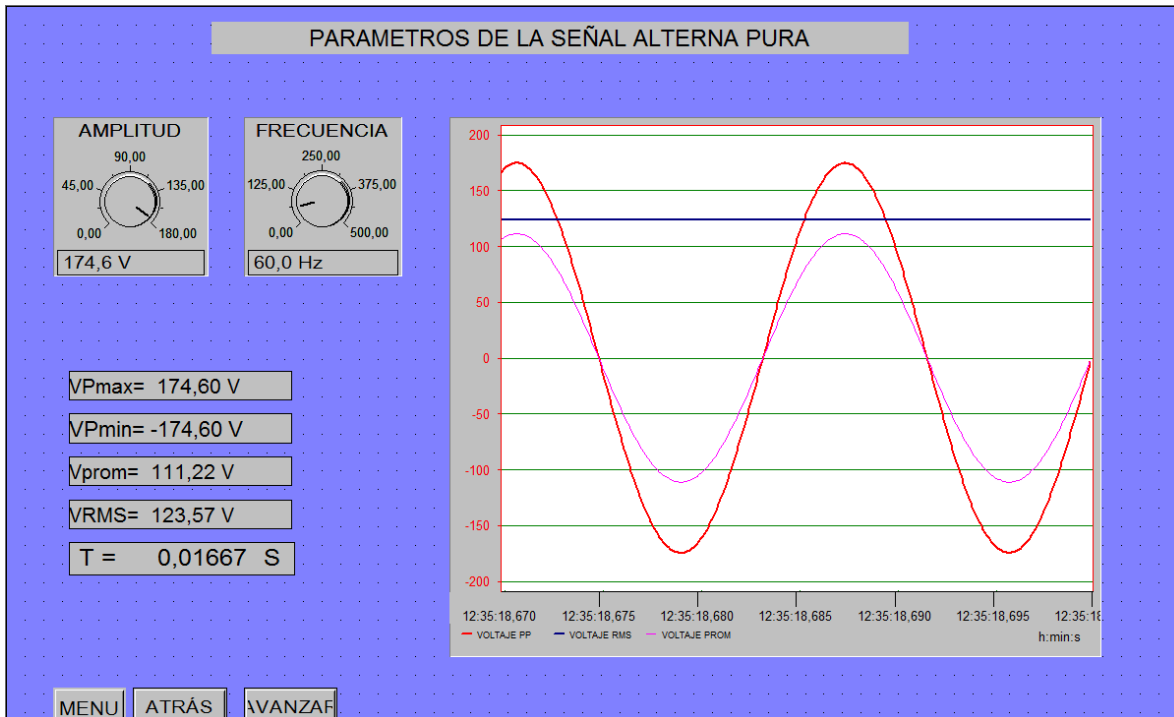
En este trabajo se presenta un Laboratorio virtual que realiza análisis espectral a través de la transformada de Fourier y la transformada de Hilbert que hace fácil su manipulación, tiene simplicidad en la presentación de los temas, su interactividad alumno la comprobación de conceptos y el cálculo de los parámetros eléctricos como voltaje, corriente, potencia y frecuencia eléctrica valores desplegados, y conduce a los alumnos concepto a concepto en los temas requeridos en el análisis de la corriente alterna.

## 2. MARCO TEÓRICO.

El LV consiste de un algoritmo programado individual como se mostró anteriormente en [6] con la inclusión de otro algoritmo basado en la transformada de Hilbert [7], de tal manera que ya se tienen incluido un análisis no lineal de las señales bajo estudio.

### 2.1 Análisis lineal.

Se hace un estudio sobre el comportamiento de la Corriente Alterna [8, 9] analizando los PARÁMETROS DE LA SEÑAL, el cual estudia los elementos que encontramos en una señal, como la amplitud, frecuencia y la fase. Este tema es importante debido a que antes de realizar un análisis, se debe tener conocimientos básicos del análisis de señales de voltaje y de corriente. El usuario puede modificar los valores de la amplitud, la frecuencia y la fase, en la Fig. 1.



**Fig. 1.- Ventana del LV para modificar los parámetros de la señal original.**

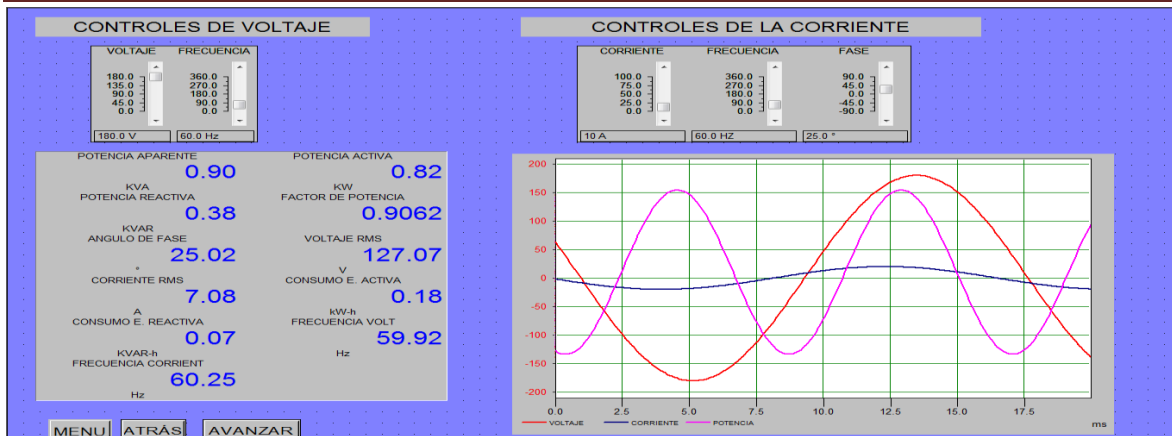
Este Laboratorio Virtual se programó para presentar los cálculos del análisis de señales simuladas y el despliegue de las señales para la comprensión de estos. Proporciona al usuario la opción de modificar los valores iniciales y verificar los cálculos debida a estas modificaciones de acuerdo al tema bajo estudio.

Dado que el propósito del LV es formar expertos en el análisis de la Corriente Alterna, se implementó la simulación de un analizador de redes en una instalación monofásica, la cual el alumno puede modificar los valores iniciales tanto del voltaje como de la corriente, y el sistema realiza los cálculos para mostrar los valores de  $V_{rms}$ ,  $I_{rms}$ , Potencia Activa, Potencia Aparente, Potencia Reactiva, FP, Ángulo de desfase, Consumo de Energía Activa, Consumo de Energía Reactiva, y las Frecuencias de Voltaje y de Corriente. En la Fig. 2 se muestra la ventana encargada de realizar el análisis simulado de una red eléctrica.

En la actualidad la electrónica se ha vuelto indispensable en la industria [12, 13], en los comercios, e incluso en nuestros hogares, sin embargo al hablar de la electrónica de potencia, estamos hablando de armónicos (señales no lineales múltiplos de la frecuencia fundamental) [14].

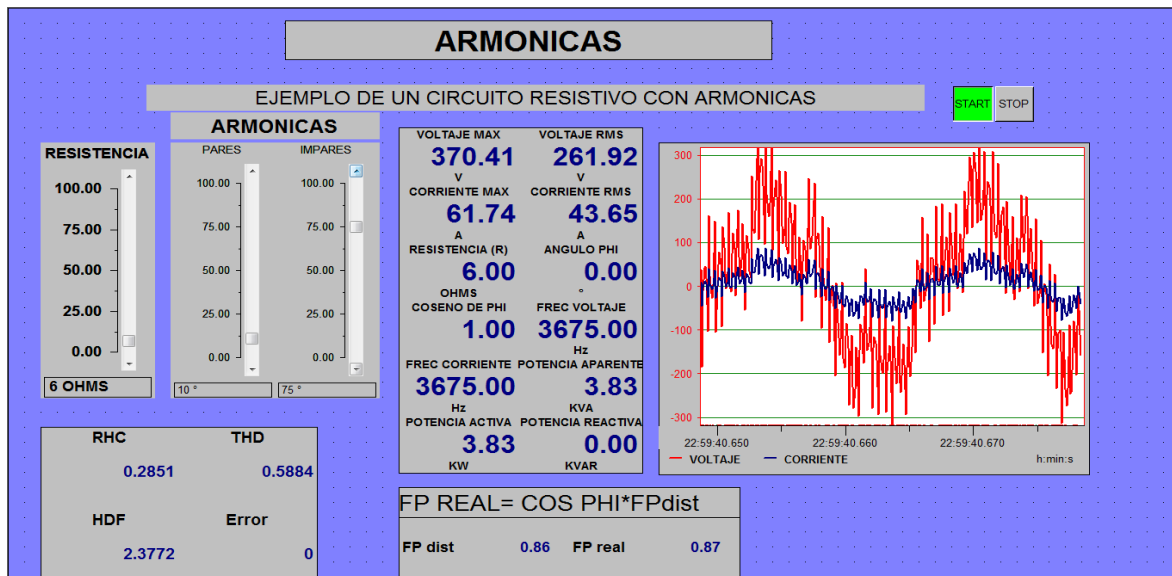
Este tipo de señales causan problemas en nuestras instalaciones, ya sea que provoquen un cortocircuito, debido al sobrecalentamiento de los conductores (y deterioro del aislamiento), o un incremento en el consumo, e incluso el sobrecalentamiento de los motores y transformadores, etc.





**Fig. 2.- Ejemplo del análisis de una Instalación Monofásica.**

Los armónicos son tema importante a estudiar y el LV simula estas señales las cuales le permiten al usuario, entender cómo se comportan en una señal y la manera de obtenerlas por medio de su frecuencia. En el LV se simula la contaminación de una instalación ideal, en donde se observa cuando se tiene una instalación contaminada con armónicos. El FP [15, 16] calculado con esta condición de forma tradicional no es correcto, sin embargo el LV calcula el FP con armónicos por medio de la Tasa de Distorsión Armónica (TDH por sus siglas en ingles), y con esta información calcula el Factor de Distorsión Armónica y la multiplica con el FP obtenido del sistema, de esta manera el sistema calcula en FP real de la instalación. En la Fig. 3 se observa el ejemplo de una Instalación ideal contaminado con armónicos.



**Fig. 3.- Ejemplo del análisis de un circuito resistivo contaminado con armónicos.**

Cuando el usuario ha comprendido los conceptos fundamentales en el análisis de una señal, podrá realizar un estudio completo, incluyendo un diagnóstico energético en una instalación eléctrica. El LV tiene una sección para complementar esto con unas prácticas reales. Esto con un Instrumento de Medición Virtual (SIV) para realizar prácticas ya sea a un circuito de alumbrado o contactos, un motor, hasta una instalación eléctrica residencial o comercial monofásica.

Este SIV consta de sensores de voltaje y de corriente [17, 18], un Circuito Acondicionador de Señales (CAS) [19, 20] que como su nombre nos indica acondiciona la señal de entrada en un intervalo de voltaje adecuado para el Convertidor Analógico Digital (CAD) que convierte la señal analógica en unos y ceros que la computadora reconoce por medio del Software de DasyLab, en donde por medio de la unión o interconexión de los módulos (bloques) se construyó un programa capaz de realizar el análisis de una red eléctrica.

## 2.2 Análisis no lineal.

La transformada de Hilbert-Huang (HHT) es un método usado para el análisis de series de tiempo no lineales y no estacionarias, la cual está basada en la descomposición modal empírica (EMD) y la transformada de Hilbert (HT). La combinación de estas técnicas produce una caracterización dinámica de los principales patrones oscilatorios en las señales de una instalación monofásica o de un sistema eléctrico de potencia en alta y baja tensión.

La descomposición modal empírica (EMD) separa una señal en componentes de amplitud y frecuencia moduladas, que admiten en su interior un buen desempeño de la transformada Hilbert [4, 7]. La EMD es una técnica iterativa y adaptativa, que descompone una señal real en un número de componentes de funciones intrínsecas modales (IMFs), con amplitudes y frecuencias variantes en el tiempo, a través de un proceso llamado sifting.

La descomposición se puede representar matemáticamente como:

$$x(t) = \sum_{j=1}^n c_j(t) + r_n(t) = \sum_{j=1}^p c_j(t) + \sum_{k=p+1}^n c_k(t) + r_n(t) \quad (1)$$

en la que  $n$  es el número de componentes modales,  $c_i(t)$  son las IMFs con el comportamiento físico de interés, los términos restantes  $c_k(t)$  son las IMFs con características no sinusoidales sin interés y  $r_n(t)$  es el residuo.

En su forma discreta, la transformada de Hilbert (HT) se puede derivar en el dominio del tiempo, mediante la aplicación de una regla rectangular y así se obtiene

$$\tilde{x}(t) \approx \frac{2}{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{2k+1} (x_{t+2k+1} - x_{t-2k-1}) \quad (2)$$

La aplicación de la HT para el  $j$ th IMF produce una representación compleja o señal analítica  $z_j(t)$ , que se construye, colocando la  $c_j(t)$  HT en la parte imaginaria

$$z_j(t) = c_j(t) + i\tilde{c}_j(t) = A_j(t)e^{i\varphi_j(t)} \\ c_j(t) = A_j(t) \cos(\varphi_j(t)), \quad \tilde{c}_j(t) = A_j(t) \sin(\varphi_j(t)) \quad (3)$$

Donde  $A_j(t)$ ,  $\varphi_j(t)$  y  $\omega_j(t)$  son valores instantáneos de amplitud o envolvente, la fase y la frecuencia del  $c_j(t)$ , respectivamente. A través de la ecuación (3) en su forma polar, es posible extraer los parámetros eléctricos instantáneos

$$A_j(t) = \sqrt{c_j(t)^2 + \tilde{c}_j(t)^2},$$

$$\varphi_j(t) = \tan^{-1} \frac{\tilde{c}_j(t)}{c_j(t)},$$

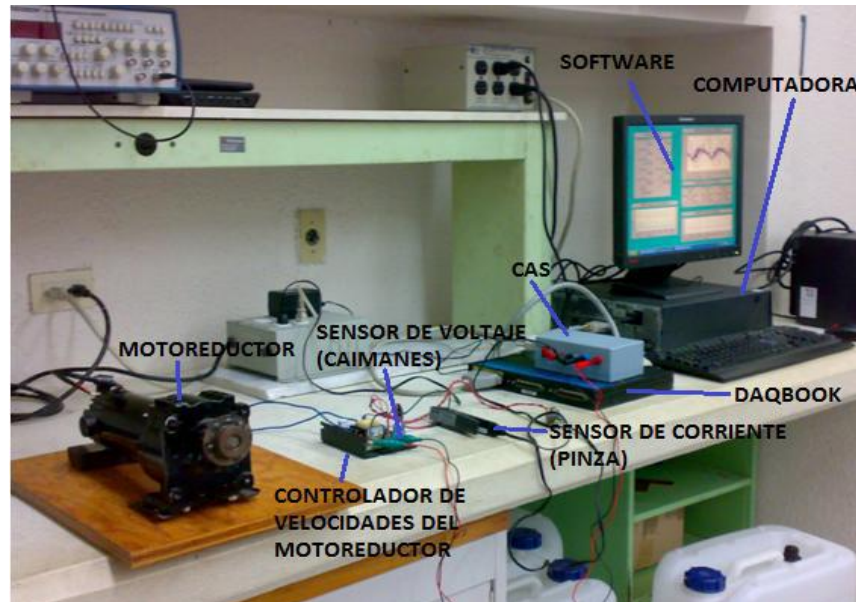
$$\omega_j(t) = \frac{d\varphi_j(t)}{dt},$$

(5)

los cuales son calculados como funciones de tiempo y pueden, por lo tanto, ser analizados para todos los eventos temporales durante la medición.

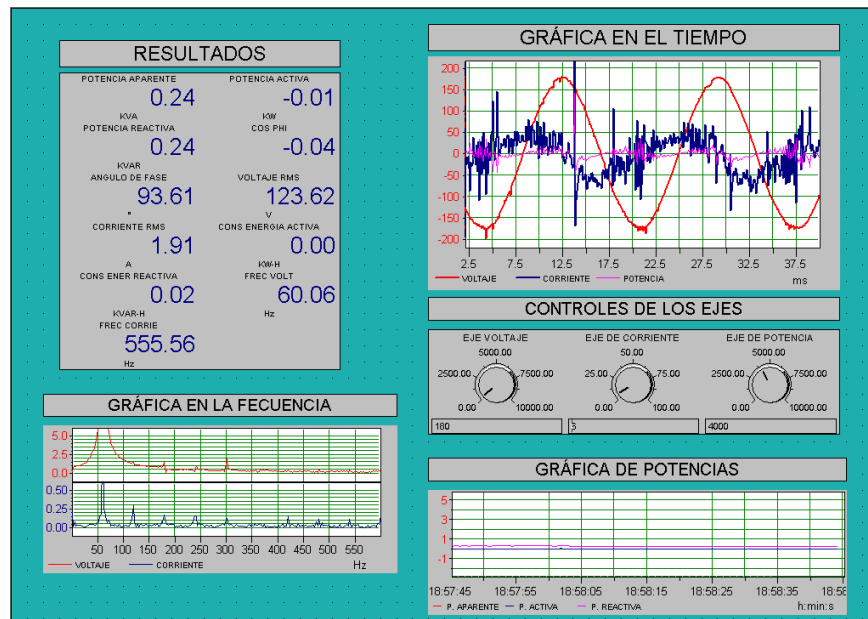
## 2 IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS.

Posteriormente de la simulación se continuó con la prueba física real, debido a que se necesitaba tener un ambiente controlado se optó por realizar el estudio a un moto-reductor con control de velocidad. En la Fig. 4 se muestra el proceso de dicho estudio.



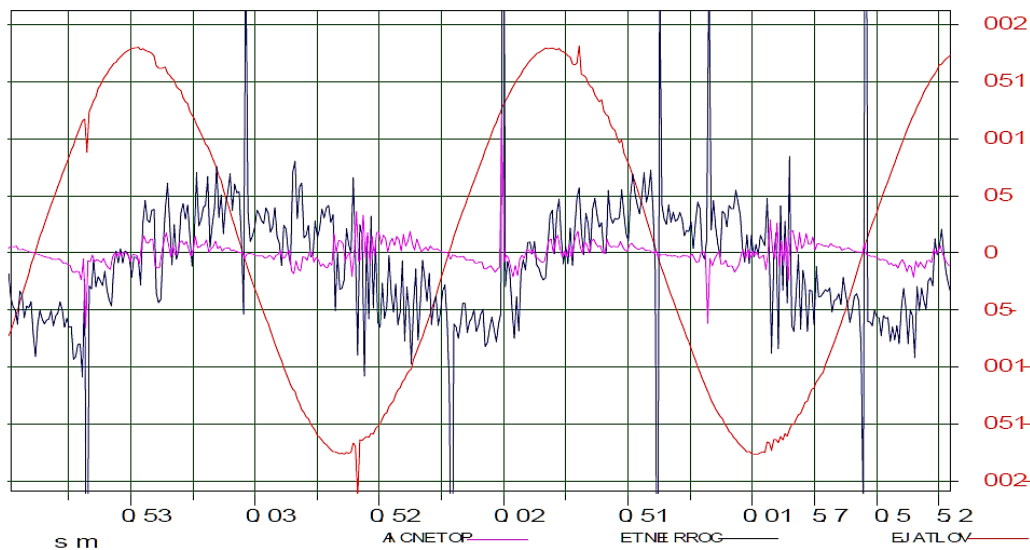
**Fig. 4.- Prueba del SIV realizada a un Moto-reductor.**

En la imagen anterior se observa las conexiones del LV para realizar pruebas a un moto-reductor. En el controlador de velocidades del motor-reductor se observan conectados los sensores de voltaje y de corriente, los cuales toman la señal en los bornes del elemento y la transfieren al Circuito Acondicionador de Señales (CAS) y este alimenta la entrada analógica del DaqBook que convierte la señal analógica en digital, dicha señal ya convertida se le proporciona a la computadora en donde el programa lo analiza y realiza la función que se le otorgo. A continuación en la Fig. 5 se muestra la pantalla del software con la prueba realizada.



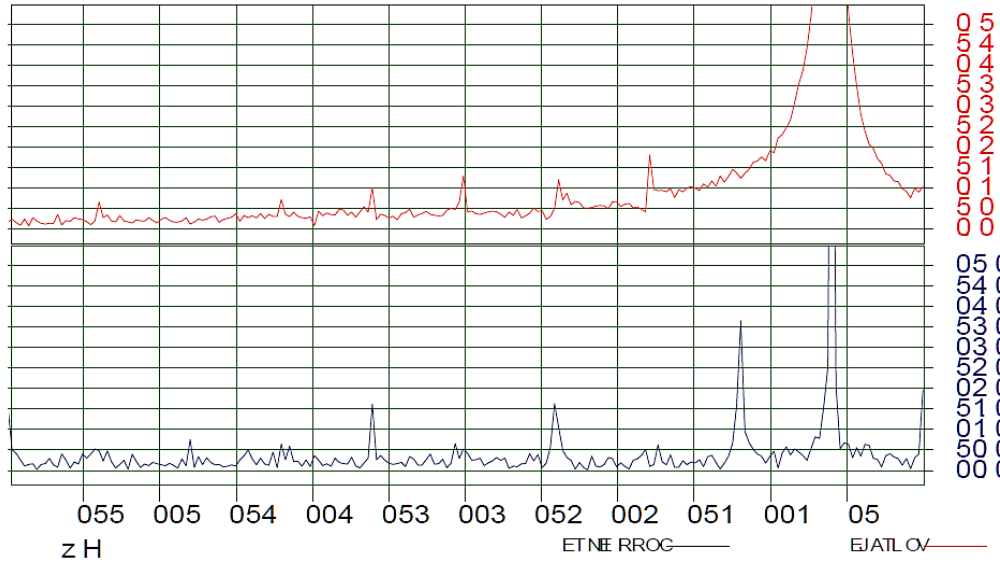
**Fig. 5.- Pantalla del SIV en donde se muestran los resultados obtenidos.**

Debido a que el motor-reductor necesita un controlador de velocidades, este contamina a la señal de corriente con armónicas los cuales causan problemas en la instalación, como un bajo FP, calentamiento del bobinado de los motores, calentamiento en los transformadores, etc.



**Fig. 6.- Grafica de las señales de Voltaje, Corriente y Potencia.**

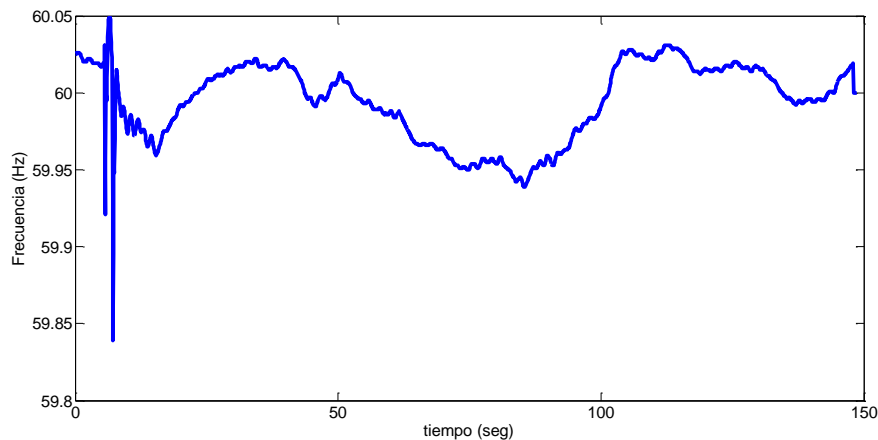
En la Fig. 6 se observa la gráfica de las señales de voltaje, de corriente y la de potencia las cuales están distorsionadas por los armónicos.



**Fig. 7.- Gráfica de las señales de Voltaje y de Corriente en la Frecuencia.**

La Fig. 7, muestra el contenido de armónicos en el sistema. El sensor de corriente [22] mide hasta la armónica 50, que se encuentra en la frecuencia 3000Hz [23].

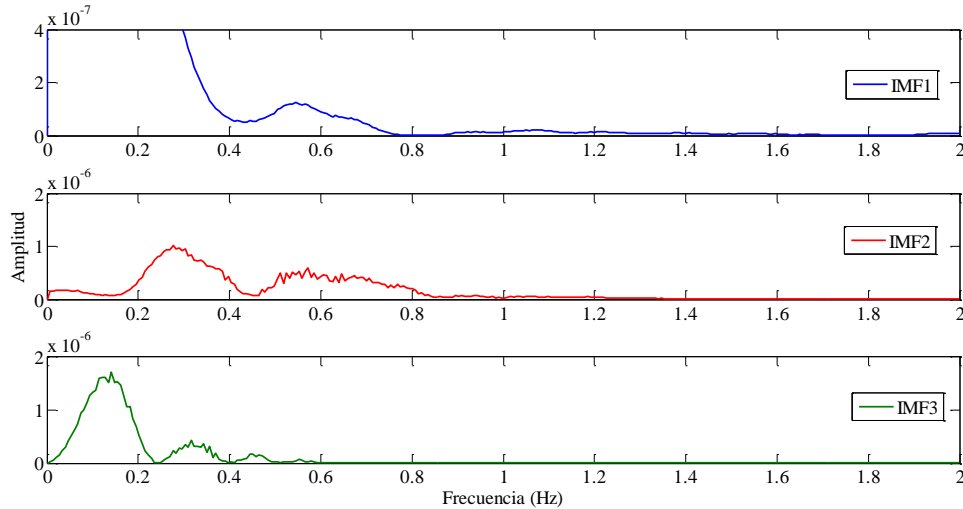
En adición a los resultados anteriores, el LV nos proporciona un análisis lineal y no lineal del comportamiento oscilatorio de cualquier señal generada de una instalación o de un sistema. En esta ocasión tomamos la señal de frecuencia del motor-reductor, la cual se muestra en la Fig. 8. Esta señal oscila alrededor de los 60 Hz.



**Fig. 8.- Señal de frecuencia del motor-reductor en función del tiempo.**

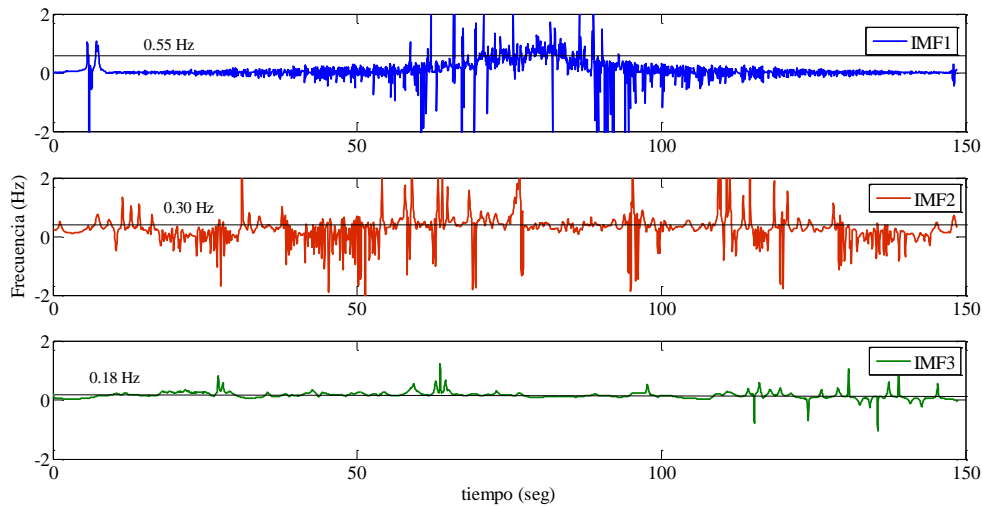
La señal presenta no lineales, lo que implica que es una señal multicomponente. Para su análisis se requiere descomponer la señal en sus funciones intrínsecas modales (IMFs), cada una con un valor de frecuencia propio. El análisis se aplica a las primeras tres IMFs, debido a que las dominantes, o sea, con el mayor contenido de energía de la señal original.

Seguidamente a cada función intrínseca modal IMF1, IMF2 e IMF3 se le aplica el análisis espectral a través de la transformada de Fourier y nos proporciona el contenido de frecuencia para cada una de ellas. Esto se observa en la Fig. 9, en la cual para la IMF1 se tiene una frecuencia de 0.55 Hz, para la IMF2, el mayor pico de la frecuencia es de 0.30 Hz y para la frecuencia de la IMF3 tenemos un valor de 0.18 Hz.



**Fig. 9.- Gráfica de frecuencia para las componentes IMF1, IMF2 e IMF3 mediante la transformada de Fourier.**

Estos valores de frecuencia se comparan con los valores obtenidos con el análisis tiempo-frecuencia no lineal vía transformada de Hilbert y se obtienen las gráficas de la Fig. 10.



**Fig. 10.- Gráfica de frecuencia instantánea para las componentes IMF1, IMF2 e IMF3 mediante la transformada de Hilbert.**

Los resultados obtenidos en la Fig. 10 nos muestran que el análisis con la técnica no lineal proporciona resultados equivalentes a la técnica lineal. Se observan muchos picos que se deben a errores propios del algoritmo iterativo empleado en Matlab. Esto puede corregirse en estudios

posteriores, trabajando en el refinamiento del algoritmo de la descomposición empírica modal (EMD).

la gráfica anterior se puede apreciar las armónicas presentes tanto en la señal del voltaje como en la señal de corriente, al mismo tiempo podemos observar la amplitud que tiene cada armónico. Cuando analizamos un motor-reductor y su regulador de velocidades, es decir, con su sistema de electrónica de potencia, al dosificar la energía se genera los armónicos en las señales de corriente y de voltaje. Este sistema de medición virtual está diseñado para analizar cualquier tipo de instalación siempre que sea monofásica. Las únicas limitantes que se observan en el sistema es el sensor de corriente que solo puede medir hasta 10 A y para aumentar su capacidad será necesario cambiar este sensor por uno de mayor capacidad. Al ir variando la velocidad del motor de menos a más, el valor de la corriente se incrementaba junto con la velocidad, al igual que la intensidad de los armónicos.

### 3 CONCLUSIONES.

Este laboratorio virtual (LV) cubre las expectativas en su tipo y despierta el interés al usuario por ser interactivo y fácil de usar. Permite un análisis completo de una instalación eléctrica o sistema monofásico iniciando desde los conceptos básicos de una señal alterna, hasta un análisis del comportamiento de una señal en particular. La asimilación de todo este conocimiento permitirá al usuario ser un experto en auditorías energéticas y un auténtico analista en señales tipo ambiente y en señales que surjan de algún evento particular, por ejemplo una falla, en la instalación o en el sistema de corriente alterna empleando técnicas lineales y no lineales.

El enfoque propuesto nos proporciona una excelente estimación de los atributos instantáneos y es una técnica de análisis de tiempo-frecuencia-energía muy precisa en el análisis de la dinámica local de oscilaciones transitorias en una instalación eléctrica o sistema monofásico de un sistema eléctrico de potencia en baja tensión.

Se ha proporcionado una herramienta de enseñanza sencilla en su manipulación, comprensión, interactiva ya sea para un alumno, un profesor, un profesional e incluso se puede usar como un evaluador de conocimientos para personal nuevo a contratar por una empresa, al igual que se puede para diseñar instalaciones a través del comportamiento de los elementos que contenga el sistema. Su funcionalidad es extensa y como trabajo futuro está su implementación para un análisis de sistemas trifásicos.

### 4.- REFERENCIAS.

1. Vega A. y Luis G., "Eficiencia del consumo de la energía eléctrica. Criterios para su facturación", (1989).
2. Lorandi P., Hermida G., Hernández J. y Ladrón de Guevara E., Los Laboratorios Virtuales y Laboratorios Remotos en la Enseñanza de la Ingeniería, *Revista Internacional de Educación en Ingeniería*, 4, 24-30, 2011.
3. National Instruments (2008) "¿Que es la Instrumentación Virtual?" [en línea]. Disponible en: <http://www.tracnova.com/tracnova-pub/La%20Instrumentaci%F3n%20Virtual.pdf>.
4. Us W., Lezama F., Moo V. y Ovando J., Caracterización de Atributos Instantáneos en Oscilaciones obtenidas de Mediciones en Sistemas Eléctricos de Potencia, SOMI XXVIII Congreso de Instrumentación, 2013.
5. Manuales Virtuales de DasyLab. [Versión Electrónica]. Disponible en <http://higher.ed.mcgraw-hill.com/sites/dl/free/007292201x/206542/0000015918.pdf>

6. Turriza C., Moo V., Lagunas J., Lezama F., Pérez P. y Pérez L., Desarrollo de un Laboratorio Virtual para la enseñanza de análisis de Corriente Alterna, SOMI XXVIII Congreso de Instrumentación, 2013.
7. Cambranis M., Lezama F., Moo V. y Martínez M., Análisis de reducción de ruido en señales obtenidas de Unidades de Medición Fasorial sincronizadas, SOMI XXVIII Congreso de Instrumentación, 2013.
8. Lab Volt (2000) "Equipamiento de laboratorio virtual en electrotecnia, modelo 8970". [Versión Electrónica] Disponible en: <http://www.labvolt.com/downloads/datasheet/dse8970.pdf>
9. I.T.P. (s. f.) "Entrenador de Tecnología de Electrónica de Potencias y Sistema de Control Automático (ITP-TEC-4)" [En línea] Disponible en: <http://www.itpsoft.com/entrenadores/entrenador-de-tecnologia-de-electronica-de-potencias-y-sistema-de-control-automatico-itp-tec-4> [Consultado el 10 de Enero de 2013]
10. Alexander Ch., Sadiku M., (2006); "Fundamentos de circuitos eléctricos"; McGraw Hill; Tercera Edición.
11. William H. Hayat, Jr. Y Jack E. Kemmerly; "Análisis de Circuitos Eléctricos en Ingeniería"; McGraw Hill; Cuarta Edición.
12. Vega A., Luis G. (1989) "Eficiencia del consumo de la energía eléctrica. Criterios para su facturación". [en línea] Disponible en [http://www.diee.unican.es/diee/pdf/potenciaiii\\_300.pdf](http://www.diee.unican.es/diee/pdf/potenciaiii_300.pdf)
13. J. Duncan Glover; Mulukutla S. Sarma; "Sistemas de potencia", 3ra edición.
14. Francesc, Fornieles.(2009) "Armónicos: Efectos, diagnóstico y soluciones" [En línea] Disponible en: [http://www.jcee.upc.edu/JCEE2009/pdf\\_ponencias/PDFs/Fornieles\\_17\\_11\\_09\\_M.pdf](http://www.jcee.upc.edu/JCEE2009/pdf_ponencias/PDFs/Fornieles_17_11_09_M.pdf).
15. INELAP. (s. f.) "El factor de potencia". [ Versión Electrónica] Disponible en [http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/2392/1/images/folleto-1\\_FP\\_INELAP.pdf](http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/2392/1/images/folleto-1_FP_INELAP.pdf)
16. CFE. (s. f.) "Factor de potencia" [en línea] Disponible en <http://www.cfe.gob.mx/Industria/AhorroEnergia/Lists/Ahorro%20de%20energia/Attachments/3/Factordepotencia1.pdf>
17. Aemc Instruments (2008) "Products". [En línea] Disponible en: <http://www.aemc.com/products/index.asp>
18. AEMC (2010) "Abrazadera de corriente MN114". [Versión Electrónica]. Disponible <http://www.aemc.com/products/pdf/2110.71.pdf>
19. Robert F. Coughlin y Frederick F. Driscoll; "Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales"; McGraw Hill; Quinta Edición.
20. Analog Device (2011) "Low Cost Low Power Instrumentation Amplifier". [Versión Electrónica] Disponible en: [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD620.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD620.pdf)



## 8. BIOELECTRONICA

### 8.1 ETAPA DE INTERFAZ DE USUARIO EN SISTEMA DE RADAR ARMÓNICO.

Mildred Teresita González Hau, Tomás de Jesús Santiago Nuñez, Aris Angélica Zapata Pasos, Eric Dumonteil, Francisco Heredia López.

Facultad de Matemáticas, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones Regionales “Dr. Hideyo Noguchi”, Universidad Autónoma de Yucatán.

[miltere@gmail.com](mailto:miltere@gmail.com), [tomas.santiago.rm@gmail.com](mailto:tomas.santiago.rm@gmail.com), [aris.zapata@gmail.com](mailto:aris.zapata@gmail.com),  
[oliver@uady.mx](mailto:oliver@uady.mx), [hlopez@uady.mx](mailto:hlopez@uady.mx)

#### RESUMEN.

La enfermedad de Chagas es un problema grave de salud pública en Latinoamérica. Dicha enfermedad es transmitida por la chinche hematófaga *Triatoma dimidiata*, por lo que el estudio de este insecto es importante para combatir la enfermedad. El movimiento poblacional y dispersión de los insectos es de interés para diseñar medidas de prevención contra la enfermedad; una herramienta para este estudio es el radar armónico, que permite observar al insecto en bajo vuelo. Este radar está conformado por varias etapas, siendo la interfaz de usuario una de ellas; esta etapa se encarga de desplegar la información captada por el radar y entregar datos de interés para el investigador.

#### ABSTRACT.

The Chagas disease is a public health severe problem in Latin America. This disease is transmitted by blood-sucking bug *Triatoma dimidiata*, so the study of this insect is important to prevent the disease. The population movement and insects dispersion is interesting to design preventive measures against the measure; a tool for the study is the harmonic radar, that allows investigate the flight of insects at low altitude. This radar consists of several stages, being the user interface one of them; the user interface displays information from the radar and deliver data of interest for the researcher.

#### 1 INTRODUCCIÓN.

El *Triatoma dimidiata* o “pic”, como se le llama comúnmente en la región, es una chinche hematófaga que transmite la enfermedad de Chagas, esta especie de triatomino es el vector principal de la enfermedad en el estado de Yucatán. Esta enfermedad es causada por el parásito *Trypanosoma cruzi*, es crónica, sistémica y de mayor afectación a personas en condiciones sociales marginadas, además de ser desatendida [1,2]. Debido a que no existe una vacuna para prevenir la enfermedad y que los tratamientos actuales no son totalmente eficaces, es necesario diseñar medidas de prevención y control del vector, para ello se requiere conocer el comportamiento poblacional de los insectos. Una forma de estudiar este comportamiento es mediante el uso de un radar armónico.

El uso del radar para observar el comportamiento de los insectos empezó en los años 70, sin embargo el desarrollo de dos técnicas de radar ha revolucionado el radar entomológico, la primera de ellas se conoce como radar de búsqueda vertical (VLR) y el segundo, radar armónico, que se desarrolla en este proyecto, este último ofrece la ventaja del uso de un circuito pasivo, por lo que no necesita de una batería para etiquetar al insecto [3].

El sistema propuesto está conformado por cuatro etapas principales: “etiqueta electrónica” o transponder (transmitter responder) para marcar a los insectos, el sistema de radar, la etapa de procesamiento e interfaz de usuario. El trabajo presentado se enfocará en la etapa de procesamiento e interfaz de usuario, donde se incluirá el diseño y construcción de un prototipo que se encargará de enviar los datos entregados por el sistema de radar. También se trabaja sobre un sistema que simula trayectorias de uno o varios insectos a la vez, que servirá para evaluar el programa que tiene la función de interfaz de usuario, el cual despliega en pantalla la posición de los insectos detectados, permite guardar los datos y la trayectoria de un solo insecto. La inclusión del sistema que simula trayectoria se debe a que la etapa de radar que obtiene la señal del transponder se encuentra en desarrollo [5].

La motivación principal en el desarrollo de una interfaz de usuario para el sistema de radar armónico es para ayudar en el análisis de los datos otorgados por éste, así como proveer mayor información sobre el comportamiento poblacional de los insectos, y con ello facilitar el estudio al investigador. En los trabajos reportados en la literatura no se hace mención de la interfaz de usuario y en los que sí, se limitan a entregar información sobre la posición de los insectos en el tiempo y la adquisición de las trayectorias se realiza de forma manual [4,6].

## **2 ANTECEDENTES.**

Una gran ventaja del radar armónico es su largo alcance que en diversos trabajos va desde 56m hasta 1km [4,8-10]. Otra sería que el circuito sobre el insecto es pasivo por lo que no requiere de una batería. Su principal desventaja es que este sistema no permite un medio de identificación ya que todos son marcados igual, sin embargo esto no representa un problema pues se desea conocer el comportamiento poblacional, y para comportamientos individuales sería necesario observar solo un insecto a la vez. Debido a que el insecto a estudiar pasa la mayor parte del tiempo en el suelo y menos en el aire, la técnica de radar armónico es la adecuada para este. Además este sistema es adaptable para insectos mayores a 50 mg de peso, y debido a que el *Triatoma dimidiata* tiene un peso de entre los 141 mg a los 291 mg en los machos (media=220mg); y entre los 156 y los 425 m en las hembras (media=282.6mg), llegando a duplicarse al alimentarse [7], por lo cual es un buen candidato para esta técnica. Con este radar se puede obtener información sobre el tiempo de viaje, velocidad, número de vuelos, altura de vuelo cerca del suelo, trayectorias, movimientos sobre el suelo, etc.

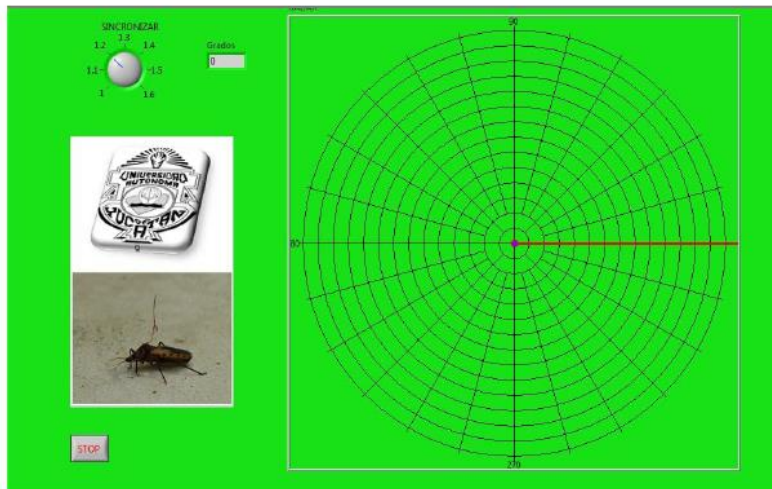
El sistema de radar armónico cuenta básicamente con una etapa de transmisión, etiqueta electrónica y etapa de recepción. La etapa de transmisión está formada por un radar marino, su uso se debe a que produce una onda corta discreta y de alta potencia, con la cual se obtiene un gran alcance, además permite que las etiquetas electrónicas sean de menor tamaño sin embargo una onda de mayor longitud tiene mayor penetración en la vegetación. Este tipo de radares son producidos comercialmente en gran volumen, por lo que son más baratos con respecto a otros radares, y se adaptan mejor a las condiciones de la aplicación [4].

La etiqueta electrónica sirve para identificar a los insectos del terreno, este responde al pulso electromagnético generado por el radar marino. Estos transponder funcionan mediante auto inductancia y responden al doble de la frecuencia recibida, consisten de una antena dipolo con un bucle en el centro y un diodo Schottky de RF en paralelo, el transponder funge como etapa de conversión de frecuencia [8].

El procesamiento computacional se ha basado en presentar solo la posición de los insectos, y las trayectorias se obtienen manualmente. En el trabajo de Riley y Smith los datos se despliegan en una PC imitando a una pantalla PPI tradicional, donde la información entregada por el radar forma un clúster del radio (respecto al radar) y  $\theta$  (acimut) fijados a un objetivo en cada revolución, pues la antena del radar gira en acimut. Ellos decidieron no automatizar la extracción de las trayectorias debido a que si los insectos volaban o se posaban mucho tiempo debajo de la cobertura del radar, podría confundirse con otro insecto que se atravesará en la posible trayectoria del insecto anterior. En su lugar, las trayectorias se registraron manualmente con un cursor y un mouse pulsando en donde creían era una trayectoria probable [4]. Y con ello se puede obtener datos como la dirección y velocidad de vuelo de los insectos en tiempo real.

### 3 INTERFAZ DE USUARIO.

Este trabajo presenta una mejora en la interfaz de usuario para el radar armónico, este se evaluó por medio de una tarjeta de experimentación con un PIC18F2550 que utiliza la interfaz USB para la comunicación con la PC, cuya función es la misma que se utiliza en [5], con la diferencia de que solo se manda el valor del convertidor ADC cuando se presiona un botón simulando que se detectó una chinche. La primera interfaz, grafica la posición angular del radar y te permite escoger la velocidad con la que se trabajaría.

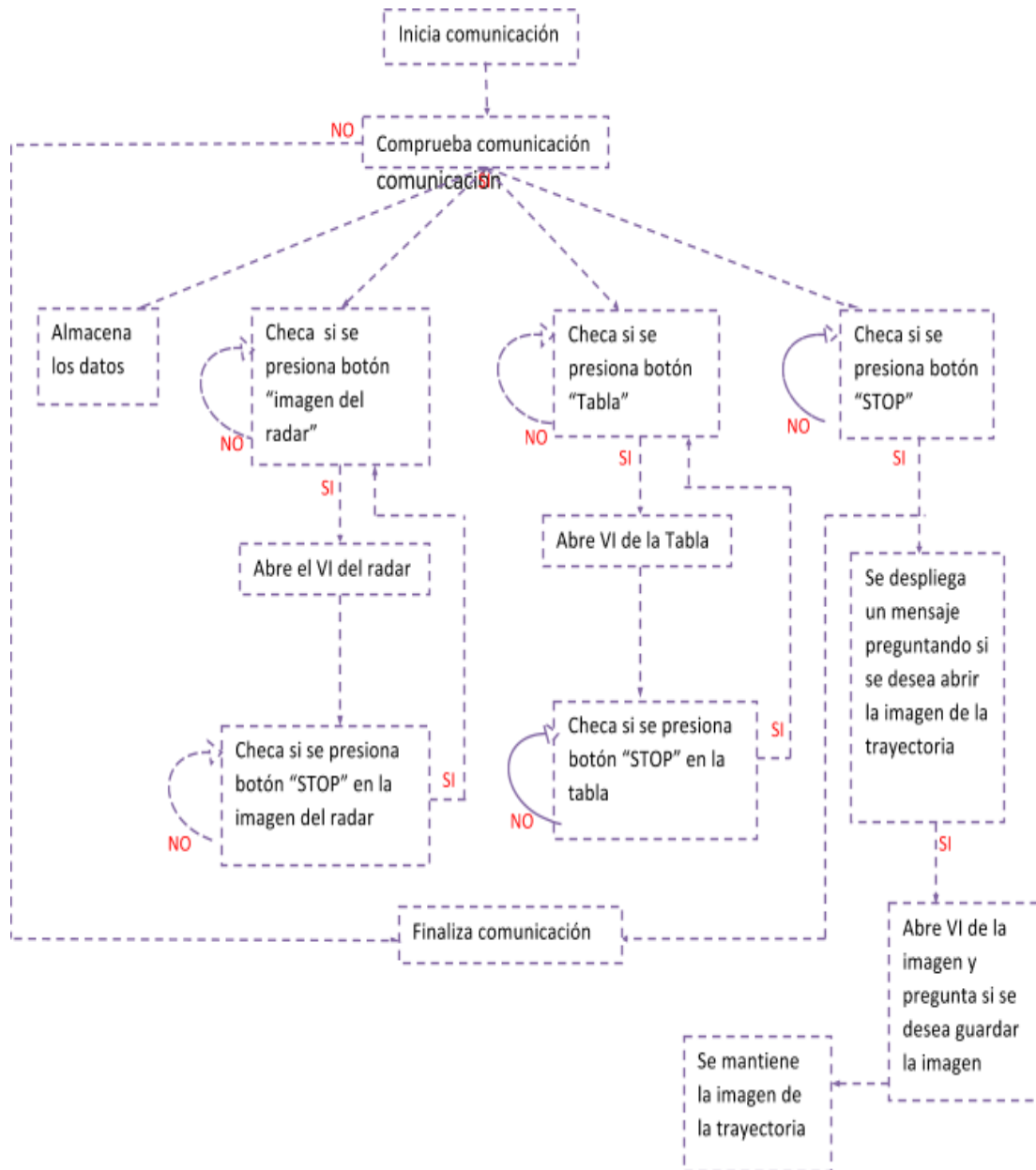


**Figura 1. Primera interfaz.**

Para la actualización se mantuvo la opción de elección de velocidad, sin embargo se siguió utilizando la máxima velocidad como en la primera interfaz. Se creó una pantalla inicio/menú en la que se da a escoger diferentes opciones de visualización de los datos recibidos. Se puede visualizar la imagen del radar para observar el movimiento poblacional en tiempo real, u observar la tabla donde se registran los datos obtenidos.

Cuando se da inicio al programa se evalúa la conexión USB, si ésta no se estableció el programa no se ejecuta. El programa se mantiene evaluando los botones hasta que se presiona alguno y se inicia el Virtual Instrument (VI) correspondiente. Cuando se recibe un primer dato, una ventana emergente pregunta la localización y el nombre del archivo de texto donde se almacenaran los

datos, esto es la posición angular y el radio, mismos que se pueden visualizar desde Tabla. En la figura 2 se presenta un diagrama que explica el modo en que opera el VI principal.



**Figura 2. Diagrama de flujo del VI principal.**



**Figura 3. Menú principal.**

Quando se ejecuta el VI del radar primero se inicializan las variables y la figura, después se calculan el largo y los desfases de la imagen. El valor de temporizador se pasa por la ecuación(1), y (2) para cambiar el dato a radianes, después se mandan a una estructura case, la cual se encarga de evaluar el dato del ADC que representa el radio, si es diferente de cero grafica el punto asignándole sus coordenadas x e y. Cuando es falso se comparan los ángulos, cuando se graficó y el ángulo actual, para saber si ya regreso a la última posición donde detectó, si es así entonces a x e y se les asigna el valor 0 y se borra el dato graficado anteriormente hasta que lo detecta de nuevo. Otra estructura case es la que evalúa las coordenadas y mientras éstas sean diferentes de 0 mantiene el punto graficado. Para la comparación del ángulo se utiliza un rango de  $\pm 0.05$ . Ambos datos se pasan por las fórmulas (3) y (4) para convertirlos en coordenadas. La función que se encarga de graficar el giro del radar se mantiene hasta que se detiene el programa.

$$\text{grados} = \frac{360 * t}{\text{sync}} \quad (1)$$

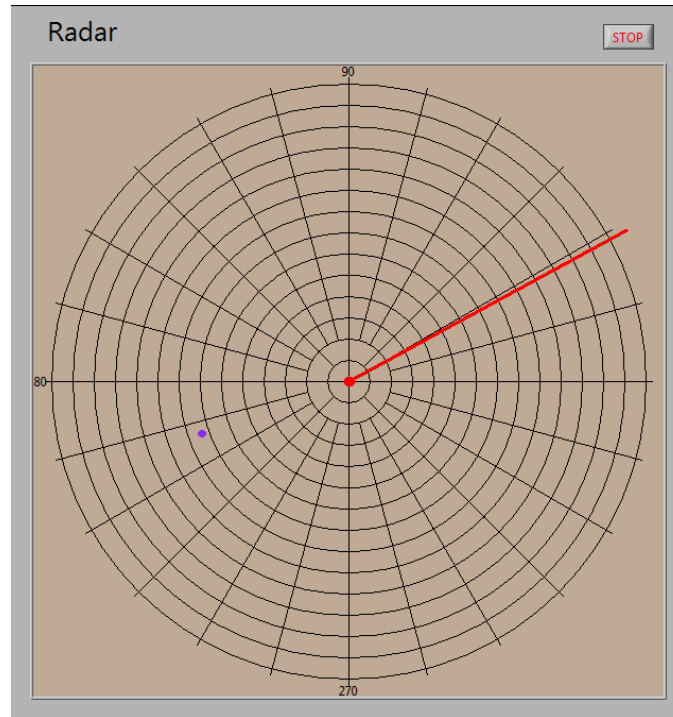
$$\text{theta} = \frac{\text{grados} * \pi}{180} \quad (2)$$

Donde t es el valor del temporizador que se manda de la tarjeta de experimentación y sync es la sincronización con la velocidad del radar, en este caso se trabajó con la velocidad máxima con  $\text{sync} \approx 12000000$ .

$$x = r * \cos(\text{theta}) + \text{xoffs} \quad (3)$$

$$y = r * \sin(\text{theta}) + \text{yoffs} \quad (4)$$

Donde r es el radio ya sea de la figura del radar o del que se detectó del valor del ADC. xoffs y yoffs son los offsets de la figura inicial del radar.



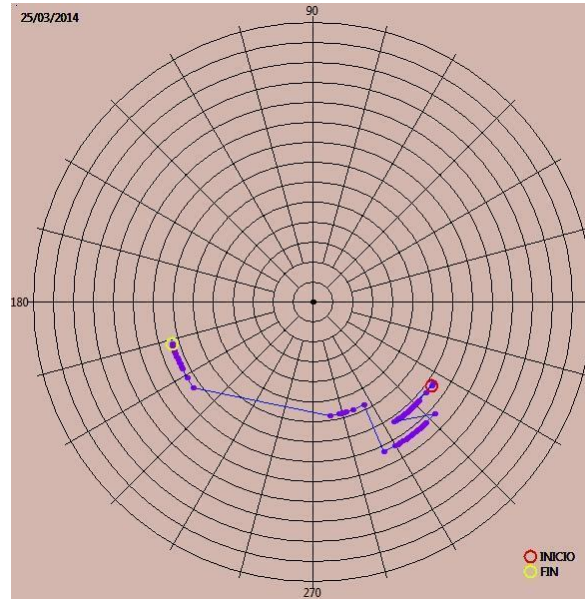
**Figura 4. Despliegue de la imagen del radar.**

El VI de la Tabla toma los valores que llegan directamente de la tarjeta de experimentación y se despliegan. En futuras versiones se planea manejar estos datos y agregar el tiempo en que se detectan y las coordenadas x e y.

Ambos programas, Tabla e Imagen del radar, se pueden cerrar cuando se presiona Stop y volver a abrirlos si se desea, sin embargo los datos se siguen registrando en el archivo de texto aunque no se despliegan en ninguno de los dos. Cuando se finaliza con el experimento y se presiona Stop en el menú principal, una ventana emergente pregunta si se desea abrir la imagen de la trayectoria, si es así, el VI correspondiente se ejecuta.

Para el despliegue de la trayectoria se sigue el mismo método que en el VI del radar pero tomando los datos del archivo de texto guardado para obtener los datos. Se obtienen las coordenadas de dos puntos, uno actual y uno siguiente, aplicando las mismas fórmulas (2) y (3). Se usan las iteraciones de la estructura while para ir corriendo en los datos. En la primera iteración se grafica un punto y un aro rojo indicando el inicio de la trayectoria, las demás iteraciones se grafican con un punto uniéndolos con líneas rectas hasta llegar a la última, que se señala con un aro amarillo, utilizando funciones de figura. Para evaluar la última iteración se verifica el valor de los datos, si el dato es cero entonces el anterior fue el último. Se agregan anotaciones de inicio y fin de la trayectoria, señalando el color de aro que los representan y la fecha.

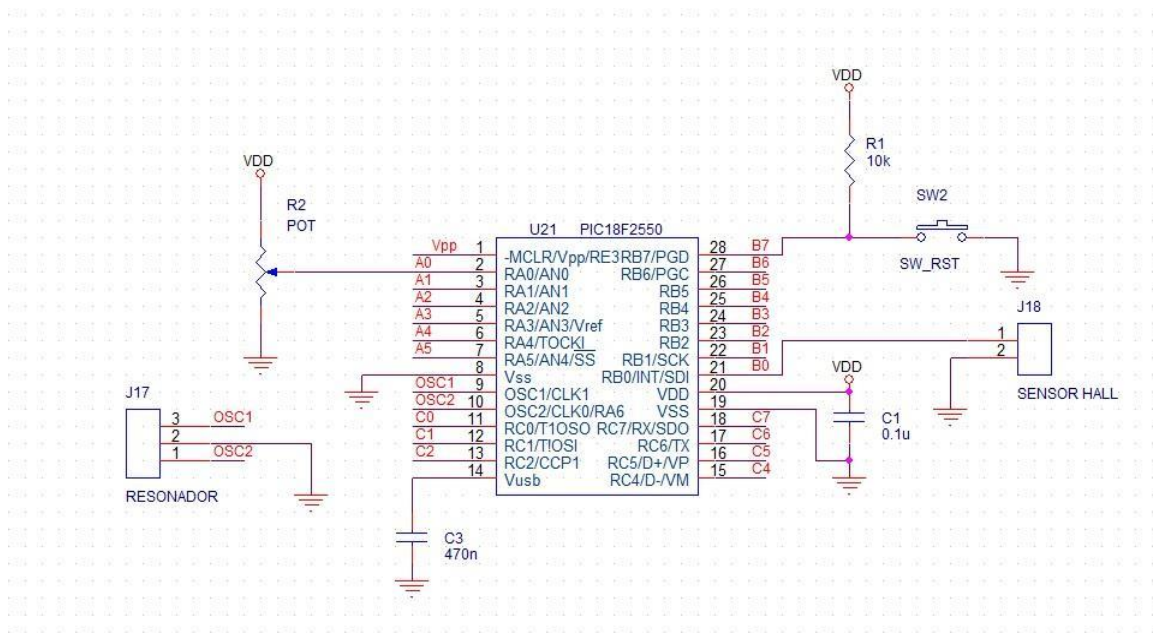
Al terminar de graficar todos los datos que se almacenaron en el archivo de texto, el programa ejecuta una ventana que pregunta si se desea guardar la imagen, el usuario puede escoger el nombre y la ubicación del archivo. La imagen se guarda en formato JPEG.



**Figura 5. Imagen de la trayectoria.**

### 3.1 Prueba inicial.

Para evaluar la interfaz de usuario realizada se utilizó un potenciómetro que simula el radio de la etiqueta respecto al radar. El valor del potenciómetro se lee mediante el ADC del microcontrolador, cada que se presiona el botón que es leído en el pin 7 del puerto B, simulando que el radar detectó una chinche. Adicionalmente en el pin 0 del puerto B se detecta el ángulo inicial del radar, está señal se obtuvo del sensor de efecto Hall del radar marino utilizado, el cual normalmente se encuentra en alto (5 V) y baja a 0 V cada que la antena del radar da un giro completo.



**Figura 6. Esquemático de la prueba inicial.**

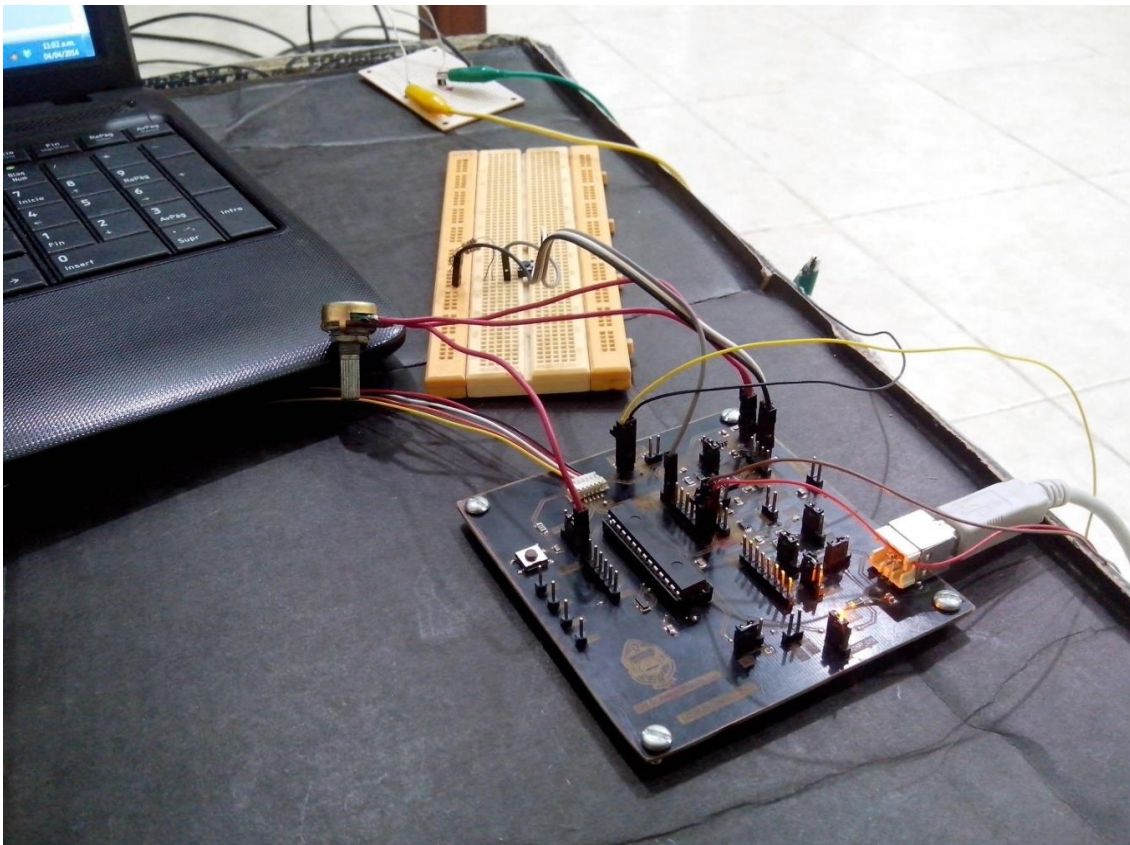


Figura 7. Circuito de prueba.

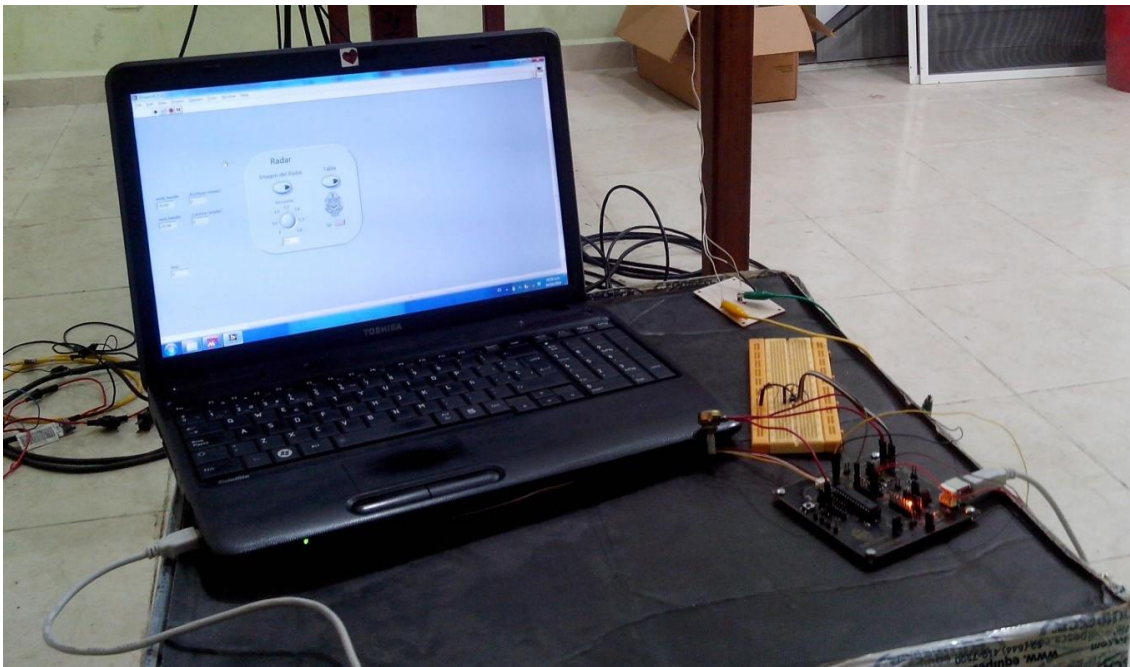


Figura 8. Interfaz de usuario en ejecución.

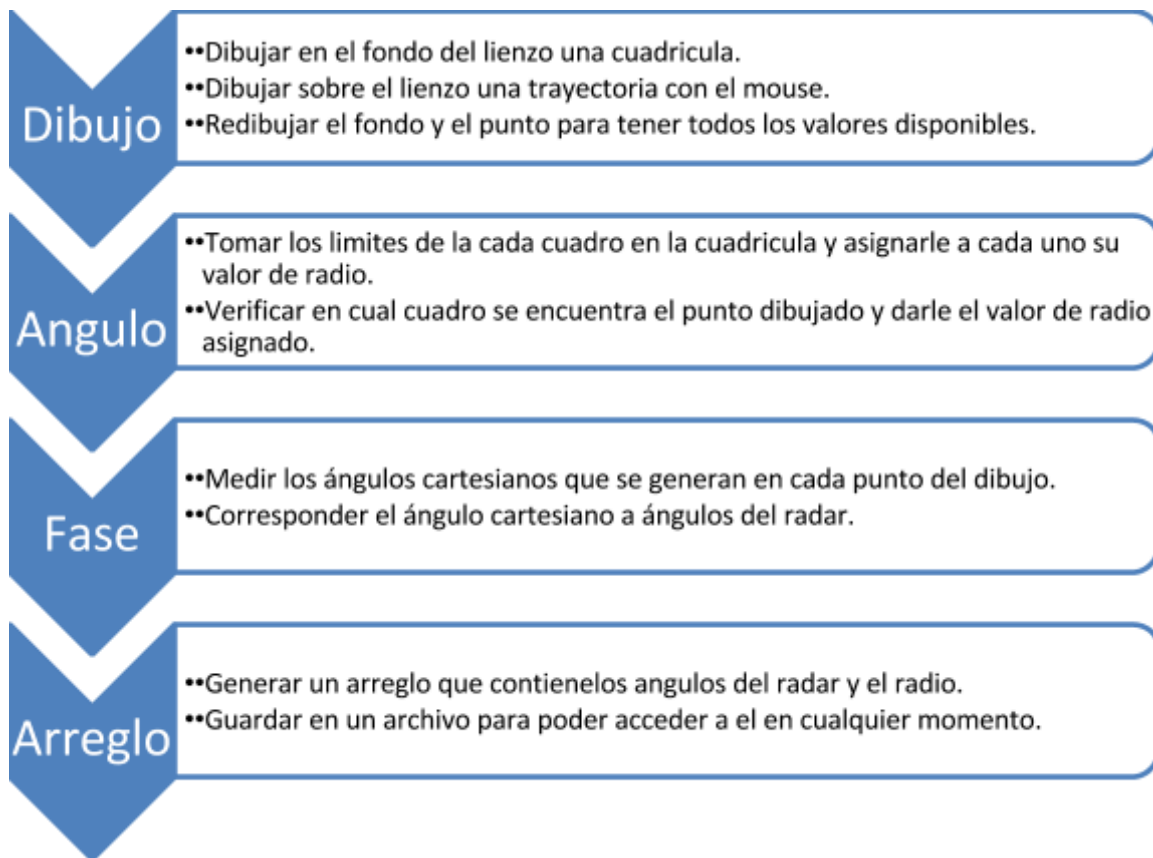


### 3.2 Trabajo en desarrollo.

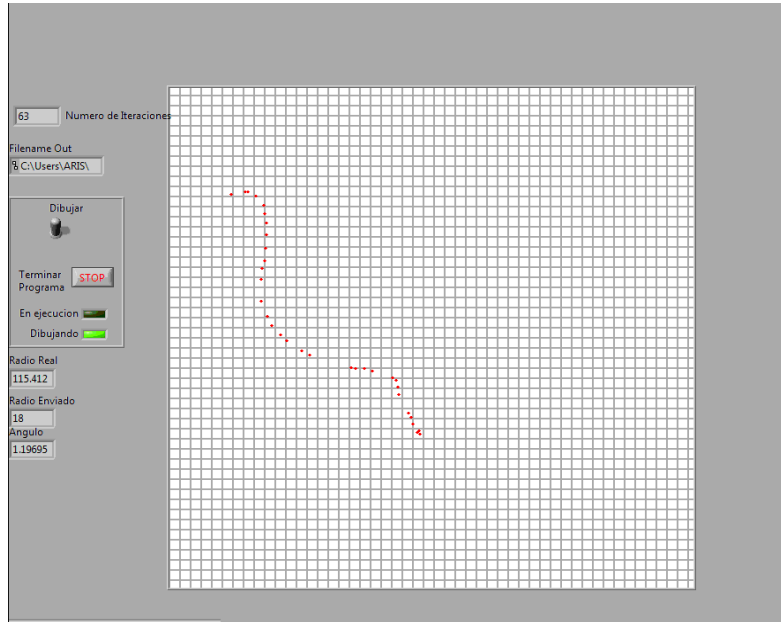
Para evaluar la interfaz en una situación más realista, se trabaja en un generador de trayectorias que simulará el movimiento de los insectos. Actualmente se trabaja en que el sistema genere una sola trayectoria, generada manualmente, sin embargo se desea que genere más de una y que tomen en cuenta el terreno.

En el trabajo actual se cuenta con un programa que genera la trayectoria generada manualmente, guardando los datos en archivos que contienen el radio, ángulo y tiempo de la trayectoria generada.

El siguiente diagrama representa el funcionamiento del que consta el generador de trayectorias.

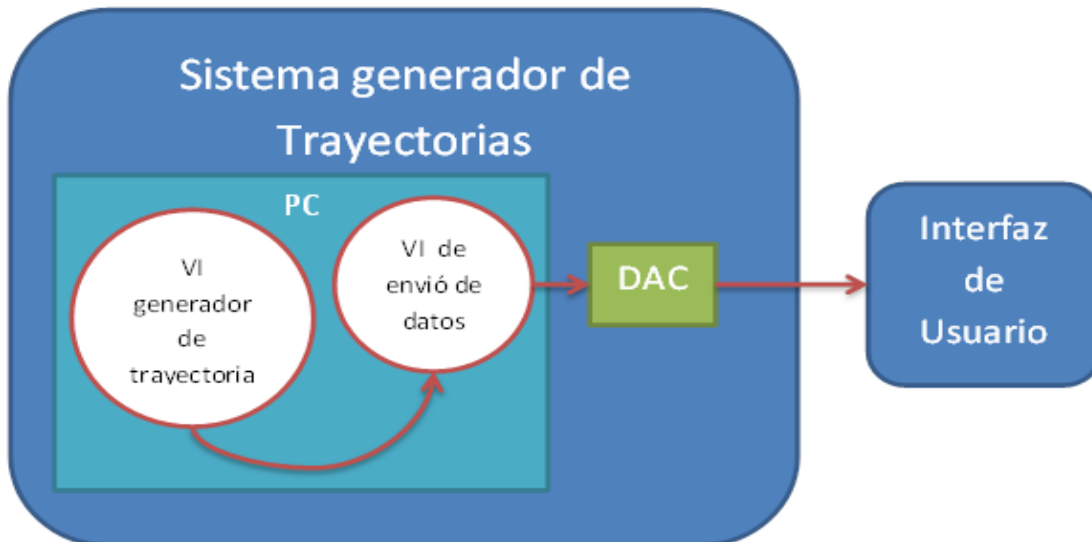


**Figura 9. Diagrama del VI generador de trayectorias.**



**Figura 10. VI del generador de trayectorias.**

Una vez que se han generado los datos de la trayectoria, se requiere de un programa que permitirá enviarlos a la interfaz de usuario. Para lograr esto se requiere que el programa sea capaz de sincronizarse con el radar, es decir que detecte cuando dio una vuelta completa, llegando al ángulo inicial. A partir del ángulo inicial se contará hasta llegar al ángulo indicado en los datos, para ello se convertirán los valores del ángulo generado a segundos. Si se ha alcanzado dicho ángulo, se enviará el valor del radio correspondiente a un convertidor D/A, para permitirle a la interfaz de usuario leer este valor. De esta manera, cuando todos los datos sean enviados, se espera que la figura que despliega la interfaz, sea casi idéntica a la dibujada por el usuario.



**Figura 11. Esquemático del sistema final.**

#### 4 CONCLUSIONES.

La interfaz de usuario aún se encuentra en evaluación, sin embargo tiene mejoras que ayudarán a que el investigador utilice el radar armónico. El programa permite guardar los datos en archivos de texto y obtener las imágenes del radar.

Para continuar con la evaluación de la interfaz se requiere que el simulador de trayectorias permita generar varias trayectorias a la vez y en diversos tiempos. Posteriormente se agregarán más funcionalidades a la interfaz con el fin de que realice un pre-procesamiento de los datos, también puede incluir un análisis estadístico sobre la dispersión de los insectos, y otorgue información sobre velocidades de vuelo, construcción de trayectorias probables, dirección de vuelo, etc.

Cuando se cuente con los datos reales otorgados por las antenas se evaluará nuevamente el sistema para identificar las limitaciones físicas del sistema.

#### REFERENCIAS.

1. World Health Organization. La enfermedad de Chagas (tripanosomiasis americana) [en línea] <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs340/es/index.html>>, [Consulta: 20 Marzo 2014].
2. E. Dumonteil, S. Gourbiere, M. Barrera-Pérez, E. Rodríguez-Félix, H. Ruiz-Piña, O. Baños-López, *et al*, Am J Trop Med Hyg , **67**, 2,176-83, (2002).
3. J. Chapman, V. Drake, D. Reynolds , Annu. Rev. Entomol. **56**, 337–56, (2011).
4. J.R. Riley, A.D Smith, In Computers and Electronics in Agriculture, **35**, 151–169, (2002)
5. T. Santiago, F. Heredia, E. Dumonteil, *Memorias del CONIEEM 2013*, "Avances en radar armónico para el monitoreo en bajo vuelo del *Triatoma dimidiata* y diseño de una etiqueta de mayor portabilidad", C. A. Lujan, M. Álvarez, (Mérida),176-187, (2013).
6. Z.-M. Tsai, P.-H. Jau, N.-C. Kuo, J.-C. Kao, K.-Y. Lin, F.-R. Chang, E.-C. Yang, and H. Wang, *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, **61**, 1, 666–675, (2013).
7. R. Zeledón, V. M. Guardia, A. Zúñiga, and J. C. Swartzwelder, J. Med. Ent., **7**, 3, 313–319, (1970).
8. B. Colpitts, G. Boiteau, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, **52**, 2825–2832, (2004).
9. D. Psychoudakis, W. Moulder, C.-C. Chen, H. Zhu, J. Volakis, Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE,**7**, 444–447, (2008).
10. N. Tahir and G. Brooker, Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), 1531–1535, (2011).

## 9. INTELIGENCIA ARTIFICIAL

### 9.1 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AMBULATORIO DE ADQUISICIÓN, REGISTRO Y ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA CARDIACA EN ESTADO DE REPOSO IMPLEMENTADO EN UN DISPOSITIVO MÓVIL.

M.C.I.E. Ing. Luis Humberto Sánchez Medel<sup>1</sup>, M.A.T.I. Ing. Isaías Avendaño Cortés<sup>2</sup>, M.C. Juan Manuel Gonzáles Sobal<sup>3</sup>, Lic. Olivia Labastida Puertos<sup>4</sup>  
Departamento de Ing. en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico Superior de Huatusco.

Av. 25 Poniente No. 100, Col. Reserva Territorial, Huatusco, Veracruz, México, C.P. 94100

<sup>1</sup>[Lsmedel@gmail.com](mailto:Lsmedel@gmail.com), <sup>2</sup>[iac\\_chay@hotmail.com](mailto:iac_chay@hotmail.com), <sup>3</sup>[jmanuelglezs@yahoo.com.mx](mailto:jmanuelglezs@yahoo.com.mx),  
<sup>4</sup>[lapostareas\\_itsh@hotmail.com](mailto:lapostareas_itsh@hotmail.com)

#### RESUMEN.

Las enfermedades cardiovasculares han llegado a ocupar el segundo lugar en mortandad en Mexico, solo superado por la diabetes de acuerdo al censo de INEGI en el 2009. Se denomina Holter a una prueba diagnóstica que consiste en la monitorización ambulatoria del registro electrocardiográfico por un tiempo prolongado, habitualmente unas veinticuatro horas, en una persona que está en movimiento. Los dispositivos que actualmente son usados para medir la frecuencia cardiaca del corazón son: electrocardiógrafo, el estetoscopio, pulsímetro, aparatos digitales como muñequeras de pulso que miden frecuencia cardiaca y tensión arterial que el sector deportista emplea.

La evolución de los dispositivos móviles busca la integración de los mismos a nuestras actividades diarias, muchas veces las personas usan aparatos electrónicos tales como tabletas y teléfonos inteligentes para poder ver su estatus en las redes sociales, entretenimiento o gestionar su tiempo, sin embargo un campo que no ha sido explotado como los otros es el de la salud.

El objetivo de esta investigación es adquirir vía bluetooth, registrar y analizar los latidos del corazón por minuto en estado de reposo empleando un dispositivo móvil para realizar un análisis de FCR y dar un mensaje auditivo sobre su estado.

**Palabras clave:** Android, móvil, corazón, sensor, FCR, ambulatorio.

#### ABSTRACT.

Heart disease has come to be the second cause of death in Mexico, only being behind of diabetes according with INEGI in 2009. Holter is a diagnostic test that consists in an ambulatory monitoring of electrocardiographic signal for a long time, usually twenty-four hours, while the subject is moving. The dispositives that are used to measure the beats per minute are: electrocardiograph, the stethoscope, heart rate monitor, digital devices like pulse wristbands that measure heart rate and blood pressure that the sport sector employs.

The evolution of mobile devices aim for the integration of these dispositives to our every-day life, many people use electronic devices such as tablets and smartphones to check their status in social

networks, entertainment or control their tim, however a field that hasn't been exploited as the others is the health.

The objective of this research is to acquire via bluetooth, record and analyze heart beats per minute at rest using a mobile device to perform an analysis of FCR and give an auditive message on their health status.

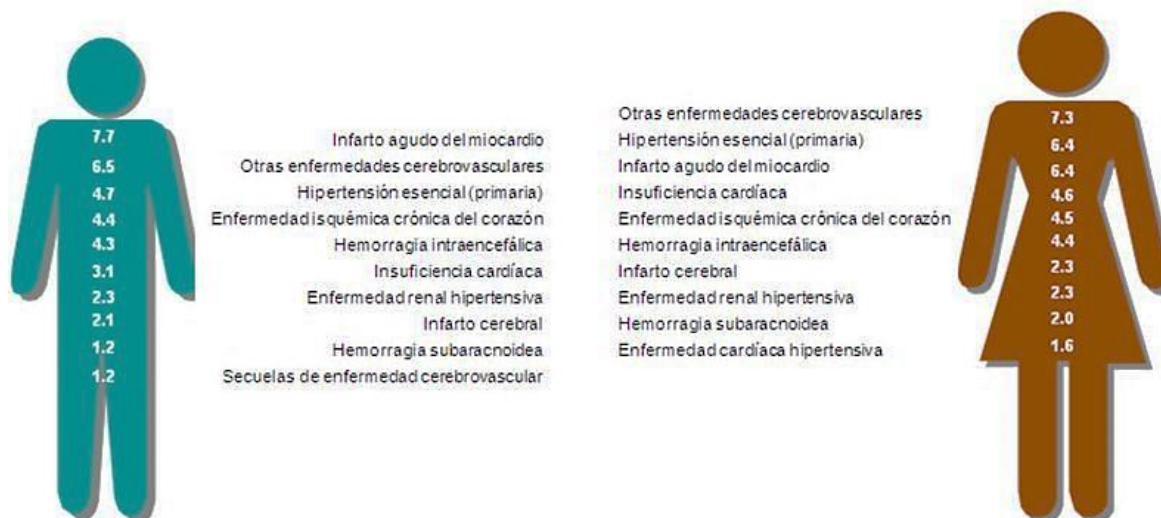
**Keyword:** Android, móvil, hearth, sensor, RCF, ambulatory.

## 1. INTRODUCCIÓN.

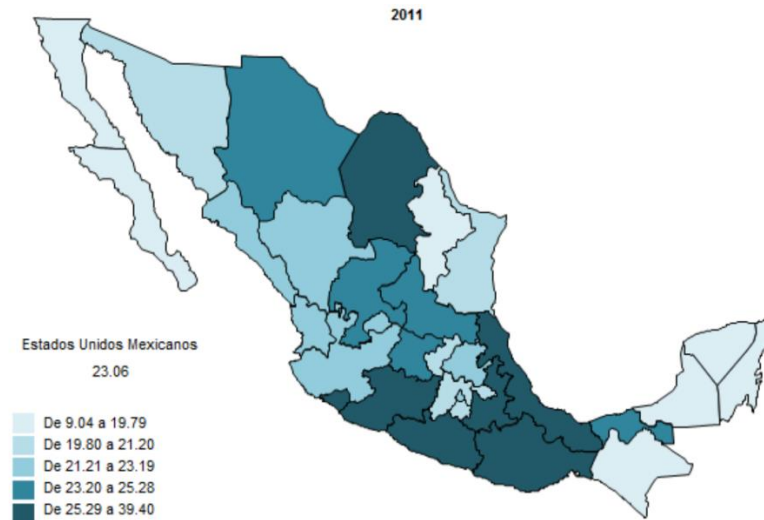
**Introducción.** México es un país que ha llegado a ocupar el segundo lugar en mortandad a causa de enfermedades cardiovasculares, solo por encima de la diabetes y en varios países desarrollados ha llegado al primer lugar [1]. Se denomina Holter a una prueba diagnóstica que consiste en la monitorización ambulatoria del registro electrocardiográfico por un tiempo prolongado, habitualmente unas veinticuatro horas, en una persona que está en movimiento. Los dispositivos que actualmente son usados para medir la frecuencia cardiaca del corazón son: electrocardiógrafo, el estetoscopio, pulsímetro, aparatos digitales como muñequeras de pulso que miden frecuencia cardiaca y tensión arterial.

Actualmente existen dispositivos ambulatorios que el sector deportivo utiliza para obtener datos y mejorar su rendimiento del practicante, estos dispositivos funcionan con un software embebido en un microcontrolador, dicho principio puede ser aplicado a otros usuarios lo cuales empleando tecnología móvil a su alcance puedan monitorear su estado cardiaco mediante pruebas FCR que se basan en la relación de las pulsaciones por minuto, peso, edad y sexo.

La evolución de los dispositivos móviles busca la integración de los mismos a nuestras actividades diarias, y se pretende que mediante el auge hoy en día de equipos electrónicos como los son: Tablet, Teléfonos inteligentes, Agendas electrónicas, etcétera, podamos crear una aplicación en un dispositivo que concientice a la población sobre su salud y la gran problemática del país en cuanto a las enfermedades cardiovasculares que tanto afectan. La Fig. 1 fue tomada del último censo de población en México en el 2007 muestra el nivel de mortandad en México debido en relación a las enfermedades que afectan al corazón. La Fig. 2 muestra la tasa de mortalidad de la población de 15 años o más por entidad federativa expresada en escala de cien mil habitantes [2]

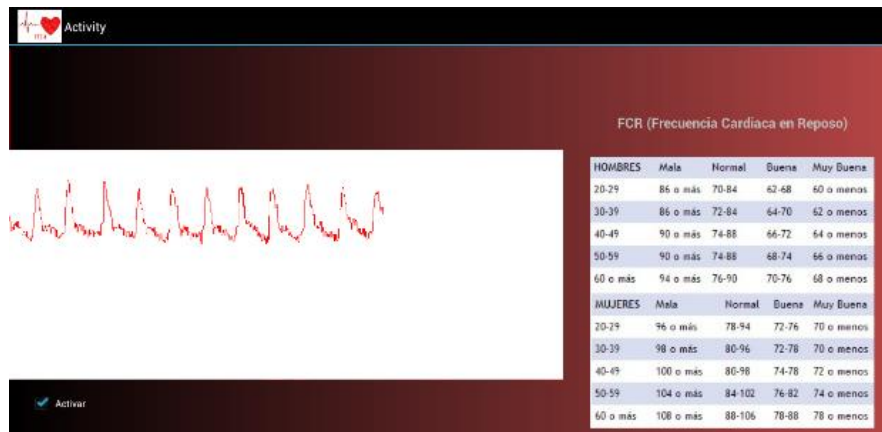


**Fig. 1 Principales afecciones de las enfermedades cardiovasculares en 2007, fuente INEGI.**



**Fig. 2. Tasa de mortalidad observada de población de 115 años y más por entidad federativa 2011.**

El objetivo de esta investigación es registrar y analizar los latidos del corazón por minuto en estado de reposo empleando un dispositivo móvil para realizar un análisis de FCR y dar un mensaje auditivo sobre su estado. La interfaz diseñada para el dispositivo móvil se muestra en la Fig. 3.

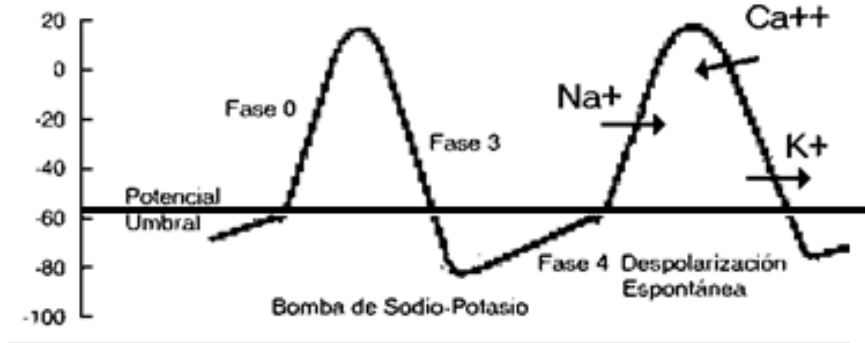


**Fig.3. Interface del sistema en una Tablet con Android 4.2.**

## 2. METODOLOGÍA.

**Metodología.** Cuando las células cardíacas son estimuladas con un impulso eléctrico, ya sea de manera espontánea o de manera externa, la polaridad de la célula cambia, esto se conoce como potencial de acción. El potencial de acción tiene 4 distintas fases, en el potencial de acción de las células automáticas hay una fase 0 de ascenso más lenta respecto a la de las no automáticas o de repuesta rápida, y sus fases 1,2 y 3 no pueden diferenciarse de una manera clara, solo se toman

como si fueran una fase 3. En la fase 4, en el potencial de acción de las células automáticas hay una despolarización espontánea, lo cual genera que las células automáticas alcancen el potencial umbral para comenzar de nuevo el potencial de acción. Esto se puede ver de manera gráfica en la figura 4.



**Fig. 4. Descripción de la forma de onda.**

Las pulsaciones por minuto o BPM son obtenidas a partir de la forma de onda de las pulsaciones eléctricas del corazón. Las fórmulas para la obtención de estas varían dependiendo la edad y el sexo de la persona [2]. La Fig. 5 es un extracto de los BPM ideales en una persona saludable dependiendo su edad, sexo y hábitos.

<b>HOMBRES SEDENTARIOS</b>		20 a 25	25 a 30
Pulsaciones maximas teoricas	100,00	200 a 195	195 a 190
Ejercicio anaerobico maximo	90,00	180 a 175,5	175,5 a 171
Ejercicio anaerobico	80,00	160 a 156	156 a 152
Ejercicio aerobico	70,00	140 a 136,5	136,5 a 133
Aerobico adelgazar	60,00	120 a 117	117 a 114
Aerobico iniciacion	50,00	100 a 97,5	97,5 a 95
<b>MUJERES SEDENTARIAS</b>			
Pulsaciones maximas teoricas	100,00	206 a 201	201 a 196
Ejercicio anaerobico maximo	90,00	185,4 a 180,9	180,9 a 176,4
Ejercicio anaerobico	80,00	164,8 a 160,8	160,8 a 156,8
Ejercicio aerobico	70,00	144,2 a 140,7	140,7 a 137,2
Aerobico adelgazar	60,00	123,6 a 120,6	120,6 a 117,6
Aerobico iniciacion	50,00	103 a 100,5	100,5 a 98

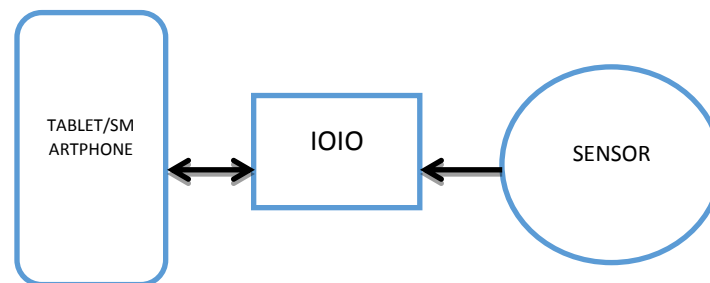
**Fig 5. Extracto de tabla de BPM ideales con relación a hábitos.**

El FCR sirve como indicador para determinar el estado de salud de una persona, se basa en el conteo de BPM [3], la tabla parcial de relación se muestra en el Tabla I.

**Tabla I. Extracto de tabla de BPM ideales en FCR.**

<b>HOMBRES</b>	<b>Mala</b>	<b>Normal</b>	<b>Buena</b>	<b>Muy Buena</b>
20-29	86 o más	70-84	62-68	60 o menos
30-39	86 o más	72-84	64-70	62 o menos
40-49	90 o más	74-88	66-72	64 o menos
50-59	90 o más	74-88	68-74	66 o menos
60 o más	94 o más	76-90	70-76	68 o menos
<b>MUJERES</b>	<b>Mala</b>	<b>Normal</b>	<b>Buena</b>	<b>Muy Buena</b>
20-29	96 o más	78-94	72-76	70 o menos
30-39	98 o más	80-96	72-78	70 o menos
40-49	100 o más	80-98	74-78	72 o menos
50-59	104 o más	84-102	76-82	74 o menos
60 o más	108 o más	88-106	78-88	78 o menos

El sistema emplea el BPM y FCR para realizar un análisis de basado en las pulsaciones, de esta forma obtener la condición del corazón. El sistema cuenta la arquitectura mostrada en la Fig. 6, la cual consiste en un enlace inalámbrico mediante un dispositivo Bluetooth entre la tableta/celular y el sensor del corazón [4,5,6].



**Fig. 6 Arquitectura implementada para el procesamiento digital se la señal.**

El sensor del corazón se coloca en la oreja del usuario, dicho sensor emplea un led infrarrojo y un fototransistor, lo cuales al variar el color de la oreja debido a la presencia de la sangre regresa una señal en voltaje que oscila en 1 V a 3.3 V. El sensor empleado se muestra en la figura 7.





**Fig. 7 Sensor analógico empleado para captar la señal del corazón.**

La frecuencia de muestreo es delimitada por el tiempo que toma al ADC y a la señal inalámbrica en ser registrada por el software, dicho tiempo es de 1ms, por lo que basados en el teorema de Nyquist se determina que la frecuencia muestreada debe de ser por lo menos 4 veces mayor que la frecuencia a muestrear. La frecuencia muestreada es tomada de la tabla 1, cuyo máximo valor es 206, sustituyendo en la ecuación 1.

$$f_m = \frac{4 * BPM_{max}}{60} = 13.73Hz \quad \text{Ecuación 1}$$

La frecuencia de muestreo máxima que permite el sistema es determinado por el periodo de conversión y el teorema de Nyquist, lo cual se calcula en la ecuación 2, la cual esta por encima de la frecuencia máxima determinada en la ecuación 1; cabe notar que se toman los BMP debido a que se analiza el FCR.

$$f_{m_{max}} = \frac{1}{T+4} = 250hz \quad \text{Ecuación 2}$$

La resolución requerida para reconstruir la señal fue hecha a 10 bits, por lo que el voltaje de paso es determinado por la ecuación 3, dicha resolución fue delimitada la amplitud de la señal proveniente del sensor, la cual varia de 0-3.3 volts.

$$V_p = \frac{V_{cc}}{2^{10}} = 3mV/paso \quad \text{Ecuación 3}$$

La determinación de los BPM se obtiene al aplicar la siguiente fórmula basada en el ángulo de la forma de onda obtenida por el sensor de forma inalámbrica por Bluetooth [7]

$$B = [y(t_n) - y(t_{n+20ms})]$$

*si: B > 30, entonces FASE 0, de lo contrario FASE 3*



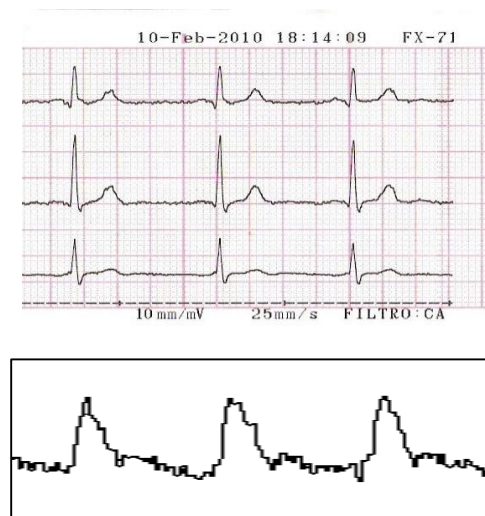
**Fig. 8 Dispositivo construido y operando.**

La fórmula propuesta indica que la respuesta del sensor es candidato a ser un latido de corazón si el ángulo que muestra entre cada 20 tomas supera los 30 grados. Obteniendo la cantidad de latidos verdaderos en 14 segundos es posible hacer una proporción a 1 minuto.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El dispositivo creado se muestra en la figura 8, se encuentra ubicado a la altura de la cintura y el sensor se halla conectado en la oreja del usuario.

Se realizaron pruebas con otras aplicaciones para Android y se obtuvieron resultados muy similares a estas, las aplicaciones probadas fueron: Instant Heart Rate, Heart Beat Rate Pro y Heart Beat. Se relacionó el dispositivo con un electrocardiógrafo y se obtuvo el siguiente resultado mostrado en la figura 9.



**Fig.9. Comparación entre una señal de un cardiógrafo comercial y el propuesto.**

La comparación mostrada en la fig. 9 resalta que la resolución es inferior con uno comercial, sin embargo el dispositivo no fue diseñado para realizar un análisis exhaustivo de la señal, sino para detectar los latidos por minuto, por lo cual este tipo de resolución es aceptable para su uso en el algoritmo de detección por diferenciación en el tiempo.

## CONCLUSIONES.

El instrumento visualizador/registrator e indicador permite adquirir la señal, grabar y analizar la señal para indicarnos un análisis en base a los latidos por minutos del corazón, que pese a que no se tiene una resolución como los electrocardiógrafos comerciales, si nos permite el conteo de latidos por minuto que es la base de nuestro análisis y también el cómo los doctores generales obtienen información de nuestros cuerpos a través de un estetoscopio.

El dispositivo diseñado no tiene la ambición de ser una sustitución de un médico, sino para concientizar a las familias de recursos medios sobre su propia salud empleando dispositivos móviles como una herramienta más en su integración.

**Trabajo a futuro:** Se requiere un filtro digital para eliminar el ruido proveniente del sensor, así como un sistema de detección de estabilidad de la señal en la tableta/celular, sin embargo si es posible determinar los BMP.

**Agradecimiento.** Se agradece al Instituto tecnológico Superior de Huatusco por su apoyo en esta investigación, así como a la carrera de ISC.

## REFERENCIAS.

- [1] Página Oficial del Instituto Mexicanos del Seguro Social. *Preguntas frecuentes sobre enfermedades del corazón.* IMSS (2013). <http://www.imss.gob.mx/preguntas/salud/Pages/faqscardio.html>
- [2] Página oficial del Instituto de Estadística y geográfica a 7 de abril 2013. <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/Contenidos/estadisticas/2013/salud0.pdf>
- [3] Angeles Alfredo, “*Conocimientos Básicos del Corazón*”. Distribuido por Novartis, 2004.
- [4] Bayes Antoni, “*Electrocardiografía Clínica*”. Ed. Espaxs S.A. Publicaciones, Médicas, 2004.
- [5] Tomas Girones, J., “*El gran libro de Android*”, editorial AlfaOmega, grupo editor México, junio 2011, ISBN: 978-607-707-226-3.
- [6] Organización Editorial Mexicana, Artículo Hasta 20% de la población padece trastorno del ritmo cardiaco: IMSS, 24 de noviembre del 2009. <http://www.oem.com.mx/laprensa/notas/n1415996.html>
- [7] Monk S., “*Making Android Accessories with IOIO*”, Going mobile with sensors, lights, motors, and robots, editorial O'reilly, primera edición febrero 2012 ISBN: 978-1-449-32328-8.

## 9.2 SÍNTESIS DE UN SISTEMA DE MONITOREO DEL CONSUMO ELÉCTRICO IMPLEMENTADO EN UN DISPOSITIVO MÓVIL.

M.C.I.E. Ing. Luis Humberto Sánchez Medel<sup>1</sup>, M.A.T.I. Ing. Isaías Avendaño Cortés<sup>2</sup>, M.C. Juan Manuel Gonzáles Sobal<sup>3</sup>, Lic. Olivia Labastida Puertos<sup>4</sup>

Departamento de Ing. en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico Superior de Huatusco

Av. 25 Poniente No. 100, Col. Reserva Territorial, Huatusco, Veracruz, México, C.P. 94100

<sup>1</sup>[Lsmedel@gmail.com](mailto:Lsmedel@gmail.com), <sup>2</sup>[iac\\_chay@hotmail.com](mailto:iac_chay@hotmail.com), <sup>3</sup>[jmanuelglezs@yahoo.com.mx](mailto:jmanuelglezs@yahoo.com.mx),  
<sup>4</sup>[lapostareas\\_itsh@hotmail.com](mailto:lapostareas_itsh@hotmail.com)

### RESUMEN:

El consumo eléctrico es la cantidad de potencia eléctrica consumida en un intervalo de tiempo y es uno de los indicadores empleados que conjunto a la región, época del año y el consumo mensual promedio, sirven para determinar la tarifa aplicada a los consumidores. Una de las características principales de un consumidor doméstico promedio es la ignorancia de sus hábitos de consumo eléctrico, el cual permitiría determinar un plan energético para disminuir su tarifa eléctrica.

El uso de las tecnologías móviles busca la integración de las mismas en nuestras actividades diarias, cada vez las tabletas y teléfonos inteligentes son más poderosos permitiéndonos correr algoritmos complejos con nuevas formas de interacción a través de pantallas táctiles y diversos sensores. Las computadoras, celulares y otros dispositivos electrónicos incluyen opciones de energía, dicha idea puede ser aplicada a una casa habitación para moderar el consumo eléctrico sin alterar en gran medida la estructura física o eléctrica de la vivienda.

El objetivo de este artículo es determinar el consumo eléctrico empleando un sistema basado en una arquitectura inalámbrica con interfaz a un dispositivo móvil con sistema operativo Android, el cual mediante la pantalla táctil permite el encendido y apagado de actuadores además de determinar el consumo, el cual sirve para establecer un patrón de hábitos energéticos y tomar conciencia sobre la autorregulación para el ahorro de energía por parte del propio usuario.

### ABSTRACT:

The power consumption is the amount of electrical power consumed in an interval of time and it's one of the indicators used with the region, time of year and the average monthly consumption, to determine the tariff charged to consumers. One of the key features of an average domestic consumer is the ignorance of their electricity consumption habits, which would help to identify an energy plan to reduce its tariff.

The use of mobile technologies seeks to integrate such dispositives to our daily activities, the tablets and smartphones are being more powerful, allowing complex algorithms running with new forms of interaction through touch screens and various sensors. Computers, cell phones and other electronic devices include power options, this idea can be applied to a residence to moderate power consumption without greatly alter the physical structure or electrical of the house.

The aim of this paper it's to determine the power consumption using a system architecture based on wireless interface to a mobile device with an Android operating system, which allows actuators turn on and turn off to determine their electrical consumption, which serves to establish a pattern of energy habits and self-awareness on energy saving by the user.

**Palabras clave:** Android, consumo eléctrico, dispositivo móvil, plan de energía

**Keywords:** Android, power consumption, mobile device, energy plan

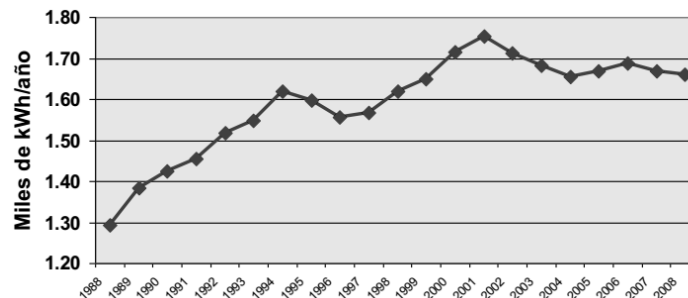
**1. INTRODUCCIÓN.**

Nadie considera en su estrategia o planeación tener problemas eléctricos, pero si es posible incluir actividades que nos ayuden a prevenirlos, incluso a predecirlos. La presente investigación se basa en un sistema de monitoreo del consumo eléctrico implementado en un dispositivo móvil cuyo objetivo es mantener informado día a día y en tiempo real, dando a conocer el comportamiento de la instalación, permitiéndote administrar sus servicios eléctricos y generar reportes. Con la posibilidad de recibir alarmas por exceso de consumo, fallos o por variables eléctricas que salgan de normas o rangos preestablecidos [2].

Esto nos da un beneficio de poder tomar decisiones en tiempo, actuar anticipadamente y prevenir paros de tus equipos e instalaciones, minimizando tiempos muertos y evitando pérdidas, es decir, es la solución exacta para lograr un consumo responsable y un uso razonable de tu energía eléctrica, con indicadores medibles y con los que podamos tomar acciones puntuales de respaldo energético [3].

**MARCO TEÓRICO.**

El instituto de Investigaciones Eléctricas previó en 1994 que el sector eléctrico en el mundo y en sus próximos treinta años tendrían un crecimiento importante. de 6% a 9% en sus próximos años, mientras que en los países del primer mundo será de sólo 2% y 3%[1]. En cuanto a las causas del crecimiento, es lógico que el nivel de equipamiento crezca más rápidamente en los países en vías de desarrollo que en los industrializados. Sin embargo, los recursos financieros que se requieren para mantener el crecimiento requerido no existen actualmente ni en los países ni en los fondos internacionales.



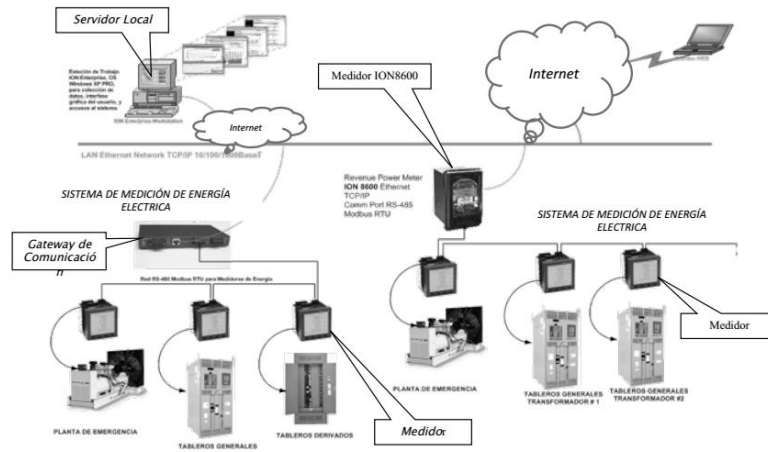
**Fig.1. Evolución del consumo eléctrico promedio en el sector residencial de México 1988-2008.**

Lo anterior lleva entonces a plantear la gran incógnita: ¿cómo se van a cubrir los diferenciales entre capacidad instalada y demanda requerida? Una manera es buscando formas alternas, eficientes técnica y económicamente, para consumir la energía eléctrica.

Uno de los mayores obstáculos a la hora de ahorrar energía eléctrica en casa es que el consumo eléctrico es invisible a simple vista, de hecho casi nadie sabría calcular en un momento dado cuánta electricidad está consumiendo. Ni si está consumiendo más de lo imprescindible o qué medidas puede tomar para reducir ese consumo que no suponga vivir a oscuras. Por ejemplo, es bastante habitual dejar algo pequeño enchufado porque se presume que consume poco o que está

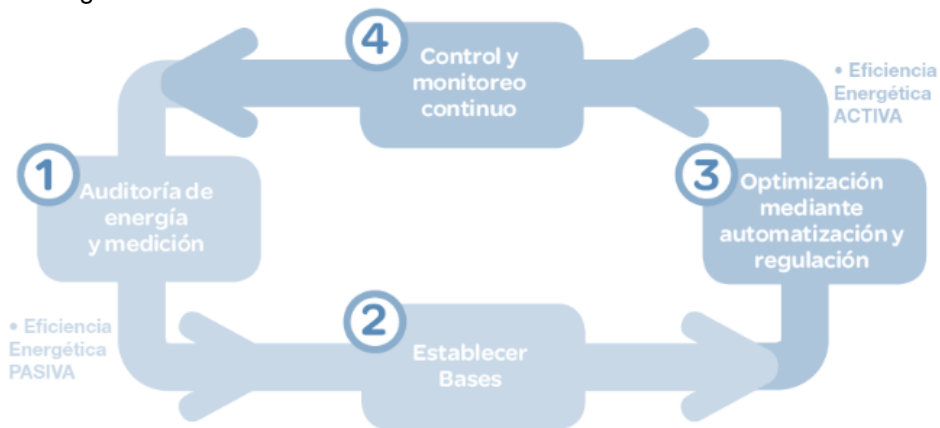
apagado o «en reposo», y en cambio limitar el uso de algún aparato eléctrico más grande, como un aire acondicionado, al que se le presupone un gran consumo.

La Fig. 2 muestra la forma en que un sistema se emplea para medir la energía eléctrica, sin embargo se requiere la modificación de la estructura física del cableado eléctrico y su adaptación a una casa habitación ya construida es mas cuantiosa.



**Fig. 2. Ejemplo de sistema de medición de la energía eléctrica.**

La investigación realizada en este artículo tiene por objetivo el diseño de un sistema indicador de pase de consumo entre tarifa de esta forma concientizar al usuario de la importancia de llevar un control y monitoreo continuo de la energía eléctrica que consume, para ello se hace uso del diagrama de la Fig. 2.



**Fig. 2. Ciclo de vida de eficiencia energética.**

El modelo del ciclo de eficiencia energética propuesto por la empresa Schneider se basa en:

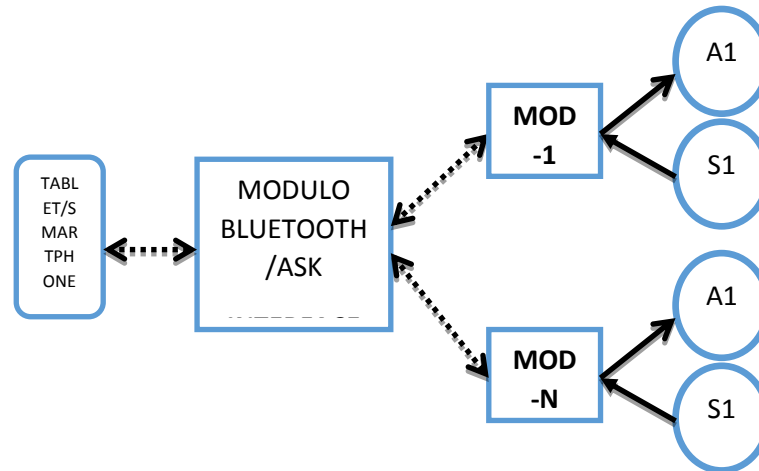
1. **Todas las mejoras comienzan con una decisión acerca de lo que hay que implementar.** Una auditoría de energía es un primer paso apropiado para recopilar información sobre las oportunidades de ahorro y sacar el máximo provecho a las medidas que ya están disponibles, con esta información, se podrán tomar decisiones bien fundamentadas acerca de los siguientes pasos a dar.
2. **Las primeras acciones identificadas serán medidas pasivas para establecer las bases.** La sustitución de dispositivos poco eficientes por dispositivos de bajo consumo, la reparación de las fugas y la colocación de aislamientos suelen ser medidas de bajo costo que resultan rápidamente rentables.
3. **Optimización de los sistemas.** La automatización de estos sistemas garantiza el cumplimiento de medidas de sentido común como el apagado de las luces durante la noche.
4. **Realizar mediciones y controles adicionales.** Si disponemos de datos energéticos más detallados, es probable que podamos ahorrar más energía. Esto nos lleva a comenzar de nuevo el ciclo.

El sistema diseñado se realizó con el objetivo de detectar el cambio de consumo por parte del usuario, sin que el sistema implementado requiriese un medio exhaustivamente invasivo a la instalación eléctrica del hogar; dichos requerimientos cubren los puntos descritos por Schneider.

#### **DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO.**

La arquitectura del sistema de monitores se describe en la Fig. 3, el cual consiste de:

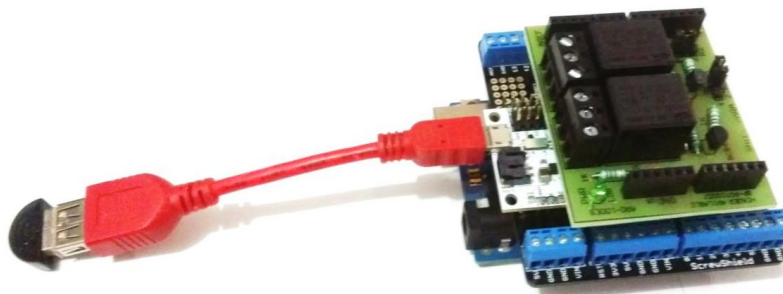
- Sensor de corriente, que detecta el consumo eléctrico y su salida es analógica.
- Sensor de foto resistivo, detecta el índice de luz y verifica que el foco realmente haya encendido.
- Transceptor, envía y recibe la información de forma inalámbrica al módulo de control de interface, emplea un sistema basado en modulación ASK a 4 bits.
- Módulo de control, sistema de interface entre el celular/tableta y los módulos que encienden, registran el índice de consumo eléctrico.
- Un monitor, que sirve para visualizar instantáneamente nuestro consumo, la media del día, semana o mes.



**Fig. 3. Arquitectura implementada para el sistema de medición de energía eléctrica.**

El principio para la medición del consumo eléctrico se basa en la potencia eléctrica-Hr, el cual está dado en KW-Hr, el sensor brinda su medición de forma analógica y esta es obtenida mediante el ADC de cada módulo y se envía en multiplexación por tiempo al dispositivo de control, de esta manera si el dispositivo desea checar el estado de una lámpara se conecta a esta durante un breve espacio de tiempo para descargar su información de forma automática.

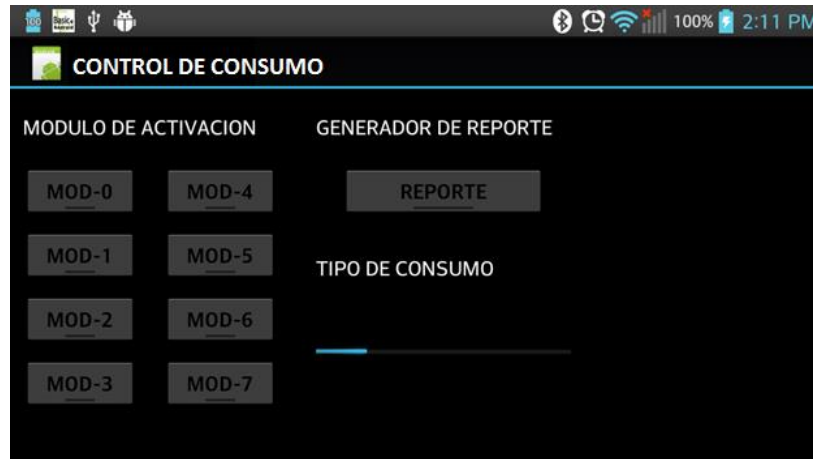
El enlace entre el los módulos y el sistema de control esta mantenido por una comunicación Bluetooth continua [4,5], sin embargo un módulo Bluetooth es costoso, por lo que se implementó el sistema ASK a 4 bits, el cual reduce el consumo y costo del mismo. Un ejemplo de los módulos implementados se muestra en la Fig. 4.



**Fig. 4. Módulo de encendido y apagado de las luminarias.**

El diseño de la interface se baso en el diseño minimalista de objetos, los cuales son botones que generan cambios en la salida de los módulos y deja el control del suministro a una tarjeta microcontroladora que contiene software embebido. La interface cuenta con los elementos de activación, generación de reporte semanal y una barra que se incrementa de forma bimestral la cual nos indica el consumo actual y al llenarse su paso al próximo consumo. El diseño de la interface se muestra en la Fig. 5.





**Fig. 5. Interface a usuario del control de consumo.**

## CONCLUSIONES.

Muchas personas nos sorprendemos y quejamos cuando tenemos que pagar grandes cantidades de dinero por la electricidad que usamos en nuestras casas y pensamos que nuestro consumo es menor al que marca el recibo. Medir y conocer el dato de consumo eléctrico es el primer paso para poder reducirlo y ahorrar energía y dinero.

El acceso a información de costos de energía en forma diaria es un factor de decisión importante y un apoyo decisivo para implementar proyectos de eficiencia energética.

Cada kilowatt-hora de electricidad no generado se deja de emitir a la atmosfera:

- 680.4 gramos de Bióxido de Carbono
- 5.8 gramos de Bioxido de Azufre
- 2.5 gramos de Oxidos Nitrosos

El uso del sistema de monitoreo presentado puede mejorar la eficiencia, fiabilidad y flexibilidad, reducir el costo del suministro de electricidad, y reducir los impactos ambientales. En comparación con los sistemas actuales, las redes inteligentes implicará el intercambio de más información a todos los niveles. Pero este ahorro energético y económico no vendrá dado por sí mismo por unos dispositivos con una serie de mejores funcionalidades, sino por como aprovechen los usuarios sus ventajas. Por lo tanto, esté despliegue tecnológico debe ir acompañado de políticas y planes que fomenten e impulsen el aprovechamiento efectivo de estos sistemas.

“Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide, no se puede mejorar. Lo que no se mejora, se degrada siempre.” (Lord Kelvin).

**BIBLIOGRAFIA.**

- [1] Ramos Niembro, *Variables que influyen en el consumo de energía eléctrica*, Boletín ENERO-FEBRERO 1999, Instituto de investigaciones eléctricas, México 1994. <http://www.iie.org.mx/medioamb99/apli.pdf>
- [2] Díaz y Mansera. 2002. “Uso de en México: Situación actual, retos y oportunidades” en SENER, Balance Nacional de Energía, Secretaria de Energía, México, D..D. p.99-109
- [3] Sánchez, L 2012 “El consumo energético de los hogares en México”, Coyuntura Demográfica, No. 2, Sociedad Mexicana de Demografía, México
- [4] Tomas Girones, J., “*El gran libro de Android*”, editorial AlfaOmega, grupo editor México, junio 2011, ISBN: 978-607-707-226-3.
- [5] Monk S., “*Making Android Accessories with IOIO*”, Going mobile with sensors, lights, motors, and robots, editorial O’reilly, primera edición febrero 2012 ISBN: 978-1-449-32328-8.

## 10. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES Y SEÑALES.

### 10.1 VARIANTES EN LA DETECCIÓN DE BORDES UTILIZANDO EL OPERADOR DE PREWITT.

Eduardo Vidrios Núñez<sup>1</sup>, Sandra Vázquez Rolón<sup>2</sup>, María Guadalupe Sánchez Cervantes<sup>3</sup>,  
Felipe Alfonso Ordóñez García<sup>4</sup>

Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán.

<sup>1</sup>lalo\_158@hotmail.com, <sup>2</sup>sandra\_vr@itcg.edu.mx, <sup>3</sup>msanchez@itcg.edu.mx  
<sup>4</sup>alfonso777@hotmail.com.

#### RESUMEN.

El presente trabajo es parte del proyecto de investigación: "Procesamiento de imágenes radiográficas digitales odontológicas para el reconocimiento de objetos en la imagen". En la investigación se pretende obtener el mejor de los resultados en el reconocimiento de bordes, para lo cual se utilizaron diferentes métodos, siendo el de Prewitt uno de ellos. El objetivo de este artículo es presentar las mejoras en la implementación en el método de Prewitt, con las cuales se demuestra la optimización de la detección de bordes. Para las pruebas se utilizaron imágenes de una planta de fresa y de radiografías dentales. Se ha implementado variantes para la detección de bordes agregando una serie de pasos tales como aumento de contraste y aumento de radio. Los resultados obtenidos muestran que en algunos de los casos se debe aplicar un tratamiento previo y cambios en la variable, para obtener procesos eficientes.

#### ABSTRACT.

This work is part of research project: "Digital Processing of dental radiographic images for the recognition of objects in the image". In this research, we seek the best result in the recognition of edges, using different methods, specifically in this study we present the results with the Prewitt method. The aim of this paper is to present the improvements in the implementation of the method of Prewitt also to demonstrate the optimization edge detection. In the tests we used images of a strawberry plant and dental radiography. We have implemented variants for edge detection by adding a series of steps, such as contrast enhancement and increased radius. The results show that we need to apply a pre-treatment to the image and changes the variable to obtain efficient results.

#### 1.- INTRODUCCIÓN.

La detección de bordes con el operador de Prewitt ha sido muy utilizado en diferentes ámbitos de la ciencia. En el trabajo [1] se presenta una investigación referente a la detección de lunares en la piel. Entre los filtros propuestos en esa investigación (High-Boost, Roberts, Prewitt y Sobel) el de Prewitt fue elegido por los autores como el mejor, porque empíricamente resultó más adecuado, ya que los demás mostraban detalles excesivos confundiendo marcas de la piel con la textura de ésta.

El operador de Prewitt para enfatizar bordes horizontales y verticales en imágenes de ultrasonido se refleja en el trabajo [2]. Se obtienen rasgos más definidos de la imagen para hacer un diagnóstico eficaz.

Las máscaras del operador de Prewitt ayudan a definir con eficiencia los bordes horizontales por lo que ha sido utilizado en el diagnóstico por computadora de enfermedades como la detección de la retinopatía diabética no proliferativa [3].

En este artículo se presenta una comparativa entre el operador original de Prewitt y las variantes realizadas a dicho operador para la detección de bordes en imágenes radiográficas dentales y de plantas de fresa. Las variantes constan de un pre-tratamiento que consiste en un aumento de contraste y radio, con una nueva restricción para el ángulo del gradiente resultante.

El contenido de este artículo se encuentra dividido en dos secciones: Desarrollo y Conclusiones. En la sección de Desarrollo se presentan los pasos que se siguieron para la obtención de un mejor resultado en la detección de bordes utilizando el operador Prewitt y las variantes realizadas. En la sección de Conclusiones se presentan las soluciones a las que se ha llegado en esta investigación.

## 2.- DESARROLLO Y RESULTADOS.

En la primera fase del desarrollo del proyecto se utilizó el operador Prewitt en su forma original. Matemáticamente, el operador utiliza dos matrices de 3x3 que se van a convolucionar con la imagen original, el primero para los cambios horizontales ( $G_x$ ) y el segundo para los cambios verticales ( $G_y$ ). El operador se calcula como se muestra en las ecuaciones 1 y 2:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * A \quad (1)$$

$$G_y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} * A, \quad (2)$$

donde  $A$  es la imagen original.

La aproximación gradiente resultante se combina para dar la magnitud del gradiente, usando la ecuación 3:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (3)$$

Con esta información, se calcula la dirección del gradiente como se muestra en la ecuación 4 [4].

$$\emptyset = \text{atan2}(G_x, G_y) \quad (4)$$

Posteriormente se genera la función  $g(x,y)$  para cada nueva dirección que se encuentre. Si la dirección del píxel se encuentra en algún grupo, el píxel no es catalogado como borde. Este modelo matemático de Prewitt y las variantes se implementó en lenguaje Java para poder realizar el procesamiento de la imagen; el resultado obtenido con el operador original se muestra en la Fig. 2.1.



Fig. 2.1. a) Imagen original, b) Detección con el operador Prewitt.

Como se puede observar en la Fig. 2.1, la detección de bordes no es tan precisa, debido a esto, se procedió a una segunda fase que consistió en agregar un tratamiento previo (aplicar un cambio de contraste y de aumento de radio) y después aplicarle el operador Prewitt.

### 2.1 Aumento de Contraste.

La diferencia de la densidad en las zonas adyacentes de una imagen radiográfica es denominada contraste. Cuanto mayor sea la diferencia, mayor es el contraste y cuando menor es la diferencia menor es el contraste [5].

La ecuación 5 se muestra la fórmula para realizar los cambios de contraste [6]:

$$g(x, y) = (f(x, y) - 128) * \tan(\alpha) + 128 \quad (5)$$

Cambiar el contraste en una imagen consiste en aumentar o disminuir la pendiente de la línea recta a 45 grados representado a escala de grises como se muestra en la Fig. 2.2.

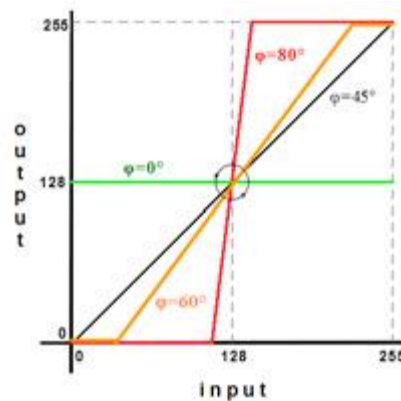


Fig. 2.2. Representación de colores en RGB.

En la Fig. 2.3c y 2.3d, se presentan los resultados obtenidos de imágenes con aumento de contraste en los cuales se puede observar, que sí hubo mejoras específicamente en las imágenes radiográficas.

### 2.2 Aumento de Radio.

Otra de las pruebas realizadas fue el aumento de radio con el fin de disminuir el ruido en la imagen, el cual consiste en pasar  $g(x,y)$  a su extremo blanco o negro dependiendo del color de  $f(x,y)$  como se muestra en la ecuación 6:

$$\begin{aligned}
 \text{Si } f(x,y) < 85 & \therefore g(x,y) = 0 \\
 \text{Si } f(x,y) > 200 & \therefore g(x,y) = 255 \\
 \text{Si } 85 < f(x,y) < 200 & \therefore g(x,y) = f(x,y),
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

donde  $f(x,y)$  es el píxel original y  $g(x,y)$  el nuevo píxel.



a)



b)



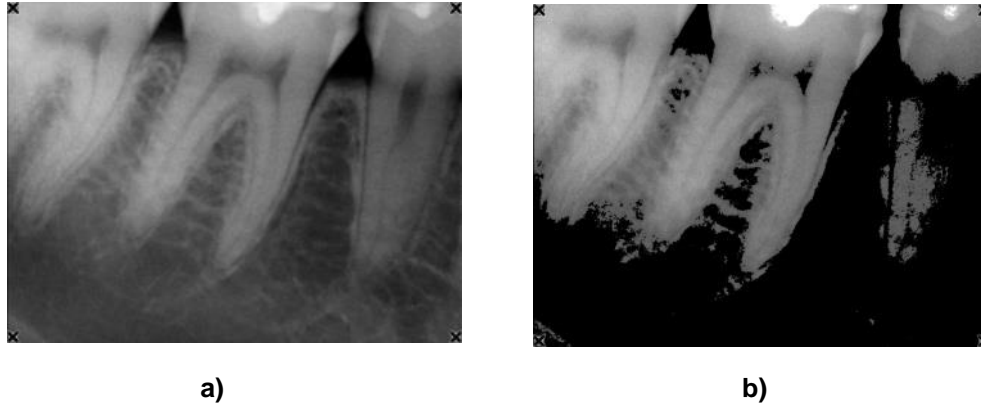
c)



d)

**Fig. 2.3. a) Imagen original de planta, b) Imagen de planta con contraste aumentado con un ángulo de 60°, c) Imagen original de radiografía, d) Imagen de radiografía con contraste aumentado con un ángulo de 60°.**

En la Fig. 2.4 se presenta el resultado al aplicar el aumento de radio en una radiografía dental.



**Fig. 2.4. a) Imagen original de radiografía, b) Imagen de radiografía dental con aumento de radio.**

### 2.3 Restricción para el ángulo del gradiente.

La variante al operador Prewitt original respecto a la restricción del ángulo se activa cuando se calcula la dirección de los píxeles de gradiente. La comprobación de la dirección se calcula con la ecuación 7.

$$\begin{aligned}
 \text{Si } \text{atan2}(G_x, G_y) > 0 & \quad \therefore g(x, y) = 255 \\
 \text{Si } \text{atan2}(G_x, G_y) \leq 0 & \quad \therefore g(x, y) = 0, \quad (7)
 \end{aligned}$$

donde  $g(x, y) = 255$  representa un borde.

Como se observa en la Fig. 2.5, el resultado de la detección de bordes en la imagen (c) se identifican más detalles que el resultado de la imagen (b), siendo (a) la imagen original.





c)

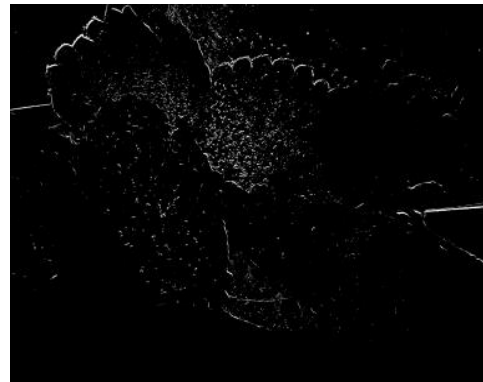
**Fig. 2.5. a) Imagen original, b) Detección con operador Prewitt original, c) Detección con operador Prewitt y la variante de restricción de ángulo.**

#### 2.4 Comparativo de Imágenes de Planta de Fresa.

En la Fig. 2.6b, se observa el resultado al aplicar la detección de bordes con el operador de Prewitt original con lo que muestra que hay pocos detalles relevantes y se pierden bordes de la imagen original.



a)



b)

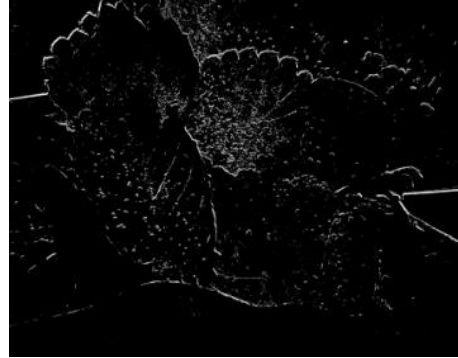
**Fig. 2.6. a) Imagen original de planta, (b) Detección de bordes operador de Prewitt.**

Al aumentar el brillo a la Fig. 2.6a, se obtiene la imagen de la Fig 2.7a y a ésta se le aplica la detección de bordes Fig. 2.7b. Los resultados muestran la detección de más detalles y bordes que al compararse con la Fig. 2.6b.





a)



b)

Fig. 2.7. a) Imagen de fresa con aumento de brillo, b) Operador de Prewitt con aumento de brillo.

## 2.5. Comparativo de Imágenes de Radiografía Dental.

Al aplicar la detección de bordes con el operador de Prewitt original en la imagen a) de la Fig. 2.8, el resultado no es óptimo ya que no se aprecia una separación entre ruido y borde.



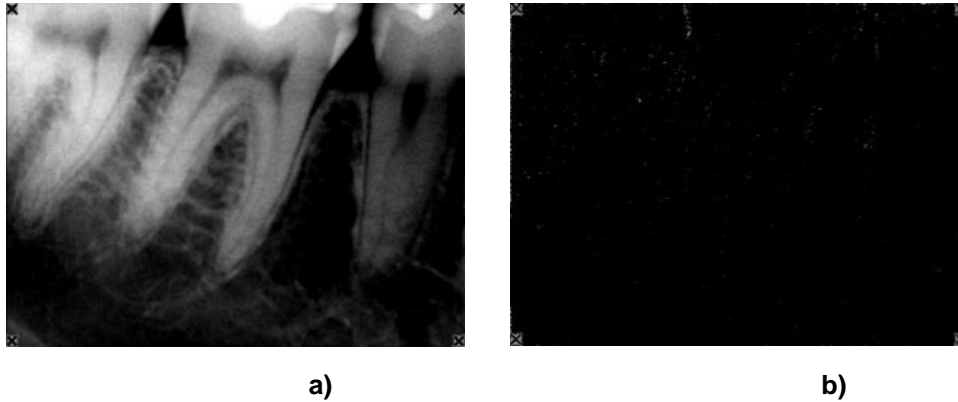
a)



b)

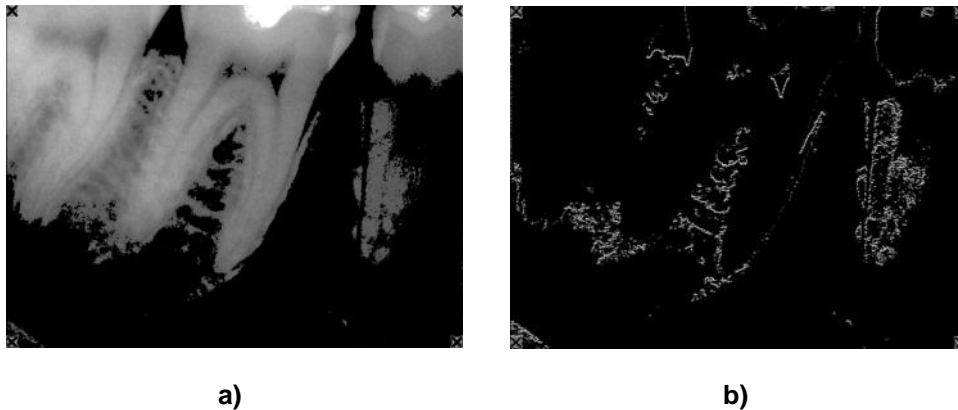
Fig. 2.8: (a) Imagen original de radiografía dental, (b) Detección con operador de Prewitt original.

Al aumentar el brillo en la radiografía dental y posteriormente aplicar la detección de bordes, los resultados son muy malos ya que no detectan ver Fig. 2.9.



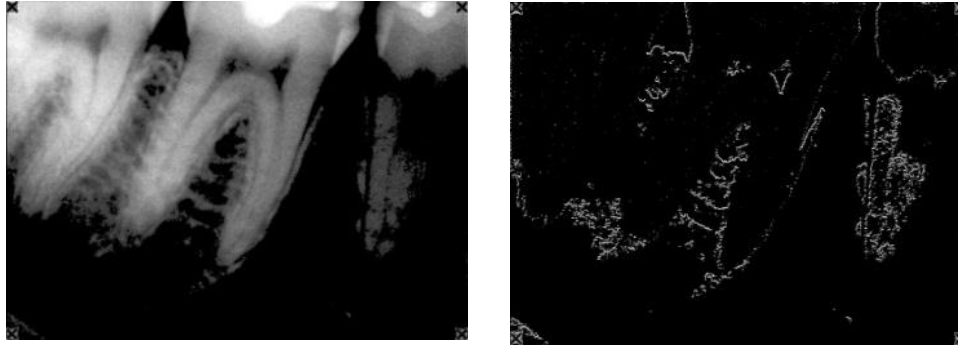
**Fig. 2.9. a) Radiografía dental, b) Operador de Prewitt con aumento de brillo.**

Al incrementar el radio en la radiografía dental y después aplicar el método de detección de bordes de Prewitt, el resultado obtenido ha sido notablemente mejorado, mostrando un mayor número de bordes y detalles. Esto se ilustra en la Fig. 2.10.



**Fig. 2.10. a) Imagen dental con aumento de radio, b) Detección con operador de Prewitt y con la variante de aumento de radio.**

Otra de las pruebas realizadas fue aumentar el radio y contraste al mismo tiempo. Los resultados no proporcionan gran diferencia con respecto a la Fig. 2.10, sin embargo, elimina algunos detalles que pueden ser significativos e influir en el resultado (ver Fig. 2.11).



a)

b)

**Fig. 2.11. a) Aumento de brillo y radio en imagen de radiografía, b) Detección de bordes con aumento de brillo y radio.**

### CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos al realizar las pruebas bajo el operador de Prewitt para la detección de bordes utilizando imágenes generales, funciona eficientemente, sin embargo, para la detección de bordes en imágenes con plantas o radiografías sus resultados son deficientes si no se agrega variantes como el aumento de radio, aumento de brillo y restricción para ángulo de gradiente. El resultado de esta investigación será de gran utilidad en investigaciones posteriores referente al área odontológica.

### REFERENCIAS.

1. Sarrías Erdozin, Jorge. Académica-e UPNA. *Detección de lunares en la piel mediante procesado digital de imágenes*, (2012).
2. Hernández Navarrete, Rodrigo. *Procesamiento Digital de Imágenes de Ultrasonido*, (2010).
3. Velázquez González, Jesús S. *Sistema de diagnóstico asistido por computadora para la detección de la retinopatía diabética no proliferativa usando la red neuronal de retropropagación*, (2011).
4. Kleinberg Jon, Tardos Éva, *Algorithm Design*. (Pearson,USA), 864, (2006).
5. Bontrager, Kenneth L., Lampignano, John P. *Proyecciones radiológicas con correlación anatómica*. (Elsevier, Madrid), (2006).
6. Paz, Jenaro C. *Procesamiento digital de imágenes, "8"*. Textos Universitarios/Serie Docencia. 376-430, (2006).

## **10.2 Evaluación de características en el dominio del tiempo como indicadores de la fatiga muscular en señales de EMG.**

Cifuentes González Irving Aaron<sup>1</sup>, Heredia López Francisco José<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Regionales “Dr. Hideyo Noguchi”, Universidad Autónoma de Yucatán.

[Irving.aacg@gmail.com](mailto:Irving.aacg@gmail.com), [hlopez@uady.mx](mailto:hlopez@uady.mx)

### **RESUMEN.**

En este trabajo se presenta un análisis utilizando la técnica de regresión logística para comparar parámetros en el dominio del tiempo contra uno de los indicadores más populares para identificar la fatiga muscular, la frecuencia media de las señales de electromiografía (EMG). Los parámetros analizados son el número de cruces por cero (ZC) y la longitud de forma de onda (WL). Se ha mencionado que el ZC y WL están estrechamente relacionados con la frecuencia de la señal de EMG, y a diferencia de la frecuencia media (FM), estos parámetros son más fáciles de calcular y consumen menos tiempo de cómputo, lo que los hace idóneos para aplicaciones en tiempo real. Actualmente el cálculo de la FM de las señales de EMG representa uno de los principales indicadores de la fatiga muscular. La detección de la fatiga muscular puede ser útil en muchas aplicaciones, principalmente para el monitoreo de personas que no son capaces de sentir fatiga o que son sometidas a terapias de rehabilitación debido a alguna lesión, en las que el cuidado de los músculos en recuperación es crítico; sin embargo, esta tarea se vuelve compleja debido a la naturaleza subjetiva del fenómeno. El objetivo de este trabajo es evaluar y comparar la razón de momios del modelo de regresión logística de la fatiga muscular, usando varios parámetros en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia (FM), para posteriormente seleccionar el que represente el mejor ajuste. Se tiene la hipótesis de que alguno de los parámetros estudiados, tales como el ZC y WL, tiene un nivel de asociación significativo de tal forma que pudiera ser utilizado en vez de los parámetros frecuenciales, los cuales son computacionalmente mucho más complejos. El desarrollo del trabajo consiste en registrar señales de EMG de un sujeto voluntario saludable, durante una serie extensiones isométricas de la pierna. Posteriormente, se realizará un análisis offline de los datos utilizando el software Matlab y el paquete estadístico Minitab. Al finalizar el experimento se analizará y discutirá el valor de la razón de momios producida por la regresión logística.

### **1. INTRODUCCIÓN.**

La fatiga muscular localizada se ha definido como la reducción en la capacidad de mantener una contracción muscular sostenida o como la incapacidad de alcanzar un nivel de fuerza inicial en contracciones intermitentes y suele estar acompañada por cambios en la actividad eléctrica muscular [1][2]. Se presenta cuando realizamos actividades físicas exhaustivas sin proporcionar un adecuado periodo de descanso. Un cuadro típico de fatiga muscular puede presentar entumecimiento en los músculos, sensaciones de dolor y calambres, así como alteraciones en el ritmo cardiaco y respiratorio; todo esto puede ocasionar la falla de la coordinación en los movimientos, irritabilidad, alteraciones del sueño, pérdida de peso, falta de la concentración y atención o desgarres musculares. Estas complicaciones pueden continuar incluso días después de haberse realizado la actividad física y varían dependiendo de la condición física y hábitos alimenticios de la persona. El origen de la fatiga muscular está estrechamente ligado a la producción metabólica del ATP. El ATP (Adenosín trifosfato), es la sustancia que genera la energía necesaria para ejecutar el movimiento realizado por el sistema musculo-esquelético, misma que al metabolizarse, libera energía química en el proceso, la cual es transformada en energía mecánica. El ATP requiere de combustibles para poder ser generado (principalmente azúcares y grasas), ya sea mediante vías metabólicas aeróbicas o anaeróbicas. Los metabolismos aeróbicos tienden a

ser utilizados en ejercicios de larga duración y de baja intensidad, un ejemplo de esto es la caminata. Los principales combustibles utilizados durante este proceso son las grasas y los carbohidratos. Cuando se consumen carbohidratos por vía aeróbica, se produce dióxido de carbono, agua y ATP. Los metabolismos anaeróbicos son usados por las células para producir energía en ausencia de oxígeno cuando realizamos actividades cortas pero muy intensas, un ejemplo de este tipo de actividad es la carrera de velocidad. Cuando se consume la glucosa mediante procesos anaeróbicos, se produce como desecho el ácido láctico y ATP. Se sabe que el consumo de energía por parte de las células del sistema musculo-esquelético se incrementa de manera drástica durante el ejercicio intensivo. Esta demanda de energía excede las capacidades aeróbicas de las células musculares, por lo que gran parte del ATP requerido es obtenido mediante mecanismos anaeróbicos. Este ejercicio intensivo también conduce a la fatiga muscular, por lo que se piensa que existe una relación entre los metabolismos anaeróbicos y la fatiga muscular[3]. La descomposición anaeróbica de la glucosa trae consigo una acumulación intracelular de ácidos inorgánicos, de los cuales, el ácido láctico se presenta en mayor cantidad. Este hecho ha llevado a pensar que este ácido es la principal causa de la fatiga muscular [3]. Además, la acumulación intramuscular de iones de hidrogeno ( $H^+$ ) y el decremento en el pH durante los ejercicios de alta intensidad, han demostrado perjudicar la contracción muscular, haciendo difícil el reclutamiento de unidades motoras adicionales para mantener la tasa metabólica requerida [4]. Sin embargo, en la actualidad se continúa con los estudios para establecer la relación entre los residuos de la descomposición de la glucosa y la generación de energía con la fatiga muscular.

Durante muchos años, la detección de la fatiga muscular ha estado ligada a la electromiografía. La Electromiografía (EMG), consiste en el registro de los potenciales generados por la actividad eléctrica de los músculos mediante el uso de electrodos, ya sean superficiales (Electromiografía de superficie) o electrodos de aguja (Electromiografía invasiva) [5]. La principal diferencia entre estas técnicas radica en la precisión de los potenciales eléctricos que pueden ser registrados. Con la electromiografía invasiva es posible obtener el potencial eléctrico de una sola motoneurona, sin embargo, esta técnica es bastante dolorosa para el paciente ya que los electrodos son insertados de manera intramuscular y por lo general se requiere de supervisión médica. En la segunda técnica, la electromiografía de superficie (sEMG), los electrodos son colocados en la superficie de la piel alrededor del músculo a monitorear. No presentan dolor al paciente y no requiere supervisión médica, sin embargo, los potenciales eléctricos registrados representan el promedio de los potenciales producidos por las motoneuronas que se encuentran en la zona de medición de los electrodos. Los registros de sEMG tienen un ancho de banda de 15 a 500Hz y una amplitud en el orden de 500uV [5]. Estas señales son del tipo no estacionarias y presentan una alta variabilidad de persona a persona. Un registro de EMG presenta un decremento en la frecuencia de disparo de los potenciales eléctricos de las motoneuronas y un aumento en la amplitud de las señales cuando la fatiga muscular se presenta. Se ha sugerido que el incremento en la amplitud de la señal de sEMG durante ejercicios de cargas constantes está asociado a reclutamiento adicional y progresivo de unidades motoras grandes para mantener la fuerza por las fibras fatigadas [4]. A esta disminución en frecuencia e incremento en amplitud suele llamarse compresión del espectro de EMG [6]. El cálculo de la frecuencia media (MF) de las señales de EMG es un índice de fatiga muy utilizado. Stulen y De Luca [7] mostraron que las frecuencias características del espectro de potencia de la señal de EMG, tales como la frecuencia media y la frecuencia mediana (FMN), son linealmente proporcionales a la velocidad de conducción. Por esta razón, el progreso de la fatiga muscular puede ser identificado mediante el monitoreo de los cambios de las características en las frecuencias del espectro de EMG. A continuación se describe el cálculo de la frecuencia media y frecuencia mediana.

#### Frecuencia media (FM)

La frecuencia media es la frecuencia promedio del espectro de potencia y es definida como su momento de primer orden [6].

$$FM = \frac{\int_{f_1}^{f_2} f \cdot PS(f)df}{\int_{f_1}^{f_2} PS(f)df} \quad (1)$$

Donde PS(f) es el espectro de potencia de la señal de EMG calculado usando la transformada de Fourier y f1 y f2 determinan el ancho de banda de la señal, siendo f1 la frecuencia más baja y f2 la frecuencia más alta [8].

#### Frecuencia mediana (FMN)

La frecuencia mediana es el valor de frecuencia que separa el espectro de potencia de la señal en dos partes de igual energía [8].

$$\int_{f_1}^{FMN} PS(f)df = \int_{FMN}^{f_2} PS(f)df \quad (2)$$

Donde PS(f) es el espectro de potencia de la señal de EMG calculado usando la transformada de Fourier y f1 y f2 determinan el ancho de banda de la señal, siendo f1 la frecuencia más baja y f2 la frecuencia más alta [8].

Sin embargo, la obtención de la frecuencia media y mediana representa un alto costo en términos de tiempo de procesamiento por parte de la computadora. Por otro lado, existen otros parámetros que están relacionados con la frecuencia de la señal de EMG y que son mucho más sencillos de calcular, estos parámetros son la longitud de forma de onda o solo forma de onda (WL) y el número de cruces por cero (ZC), estos parámetros reciben el nombre de parámetros en el dominio del tiempo.

#### Longitud de forma de onda (WL)

Se refiere a la longitud de onda acumulada a lo largo del segmento. Ofrece una media de la amplitud, frecuencia y duración de la señal [9].

$$WL = \sum_{i=1}^{N-1} |x_{i+1} - x_i| \quad (3)$$

Donde x es la señal de EMG y N es el tamaño del segmento o ventana que se está analizando.

#### Cruces por cero (ZC)

Es el número de veces que la señal pasa por cero, es decir, el número de veces que la señal cambia de signo en un segmento dado [9]. Ofrece una estimación de la frecuencia. Se debe de incluir un umbral en amplitud para evitar los cruces por cero producidos por el ruido de la señal. Si se tienen dos muestras,  $x_{i+1}, x_i$ , entonces se contará un cruce por cero si:

$$\{x_i > 0 \wedge x_{(i+1)} < 0\} \text{ or } \{x_i < 0 \wedge x_{(i+1)} > 0\} \text{ and } |x_{(i+1)} - x_i| \geq \epsilon$$

Donde  $\epsilon$  es el umbral definido en amplitud y  $x_i$  es la señal de EMG en la muestra  $i$ .

En este trabajo se realizará una comparación entre dos parámetros extraídos de la señal de EMG, el cruce por cero (ZC) y la longitud de onda (WL) para evaluar la fatiga muscular, ya que se ha dicho que estos parámetros se encuentran estrechamente relacionados con la frecuencia de la señal [9], esto con el fin de buscar una alternativa computacionalmente menos costosa en lugar del cálculo de la FM y FMN. El objetivo es encontrar cuál de estos dos parámetros representa de mejor forma la fatiga muscular. Para hacer esto, se utilizará un modelo de regresión logística y se evaluará y discutirá la razón de momios.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS.

La metodología para realizar el experimento se dividió en las siguientes etapas: adquisición de datos, segmentación de datos, extracción de parámetros y finalmente, el análisis estadístico.

### 2.1 Adquisición de datos.

Las señales EMG se registraron a partir del músculo recto femoral utilizando electrodos de superficie de Ag / AgCl como se muestra en la Figura 1. La ubicación del electrodo se eligió de acuerdo con las especificaciones del SENIAM. Con el fin de proporcionar un mejor contacto entre las superficies adhesivas de los electrodos, la piel fue limpiada con alcohol y el vello fue removido. La adquisición de datos se realizó con un sistema inalámbrico FreeEMG 300 (BTS Bioengineering, Garbagnate Milanese, Italia) utilizando una frecuencia de muestreo de 1 kHz con 16 bits de resolución. Las señales de EMG fueron registradas durante sesiones de ejercicios de flexión y extensión de piernas. El experimento se detiene cuando el sujeto ha alcanzado la fatiga muscular y ya no puede continuar con la rutina. La digitalización de los datos se llevó a cabo utilizando la tarjeta USB-6009 (National Instruments, Austin Texas) a una frecuencia de muestreo de 1 kHz con 12 bits de resolución. Los datos fueron registrados de un participante voluntario de 24 años de edad, saludable y sin antecedentes de enfermedades neuronales o musculares. El participante dio su consentimiento por escrito de acuerdo a la Declaración de Helsinki.



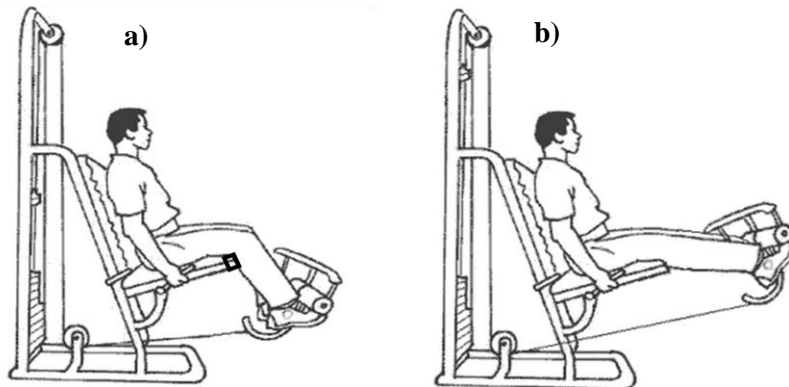
**Figura 1. Localización de los electrodos de superficie en el sujeto de estudio.**

**Protocolo experimental.**

El experimento consiste en realizar ejercicios de flexión y extensión de la pierna. Para realizar estos ejercicios se usó una máquina de extensión de piernas (Leg Extensión ROM, Technogym) la cual permite variar el peso levantado por el sujeto. El protocolo fue dividido en dos días. En el primer día se realizó la prueba de máxima carga (MRL). En el segundo día se realizó el experimento de flexión y extensión de pierna.

Día 1: En el primer día, el sujeto debe realizar un ejercicio para encontrar la máxima carga que es capaz de levantar sin problemas (MRL de *Maximum Reachable Load*). El primer paso consiste en posicionar al sujeto en la máquina de extensión de piernas en la posición inicial, Figura 6 a). Posteriormente se procede a realizar varias extensiones de piernas con diferentes cargas. La carga deberá ser mantenida durante 5 segundos Figura 6 b). Se comenzará con una carga de 10kg y se irá incrementando por 5kg cada vez. Este proceso se detendrá cuando el sujeto no pueda realizar la extensión completa en el tiempo establecido. Este valor de carga alcanzado corresponderá al MRL y se usará como valor de referencia.

Día 2: En el segundo día, el sujeto debe realizar un ejercicio con el 30% de la MRL. El ejercicio consiste en realizar una contracción isométrica y mantenerla durante 7 segundos, seguido de un intervalo de 5 segundo de descanso, posteriormente se continúa con 10 repeticiones dinámicas de flexiones isotónicas de pierna y finalmente con un segundo periodo de descanso de 5 segundos, esta secuencia de ejercicios se llevará a cabo hasta que el sujeto no sea capaz de continuar, lo cual será un indicador de que ha alcanzado la fatiga muscular. Durante estas pruebas se registrarán las señales de EMG.



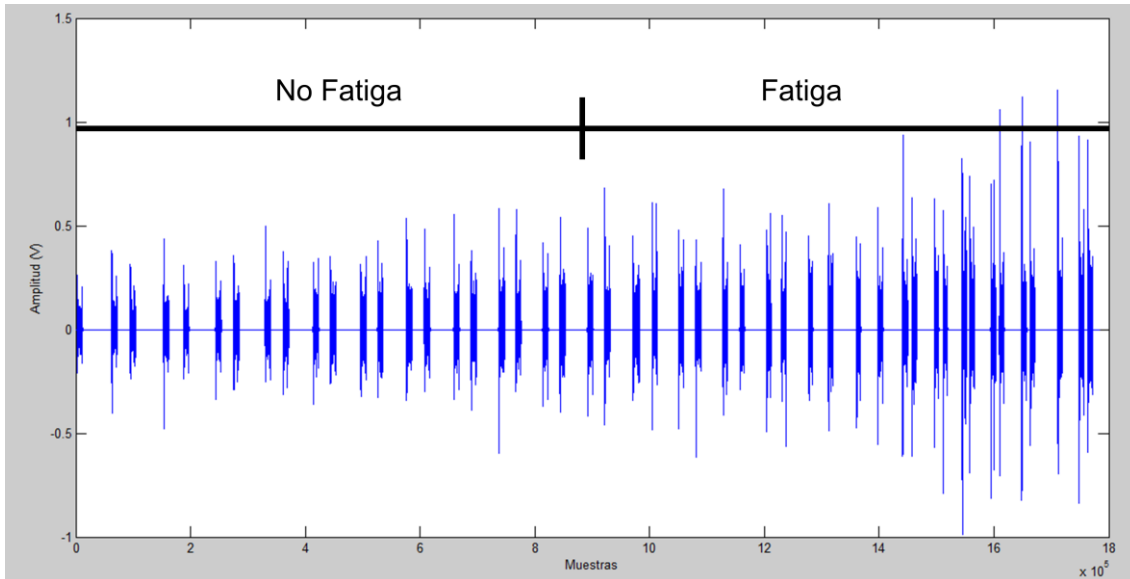
**Figura 2. Experimento de extensión y flexión de la pierna usando la máquina de extensión de piernas.**

**2.2 Segmentación de datos.**

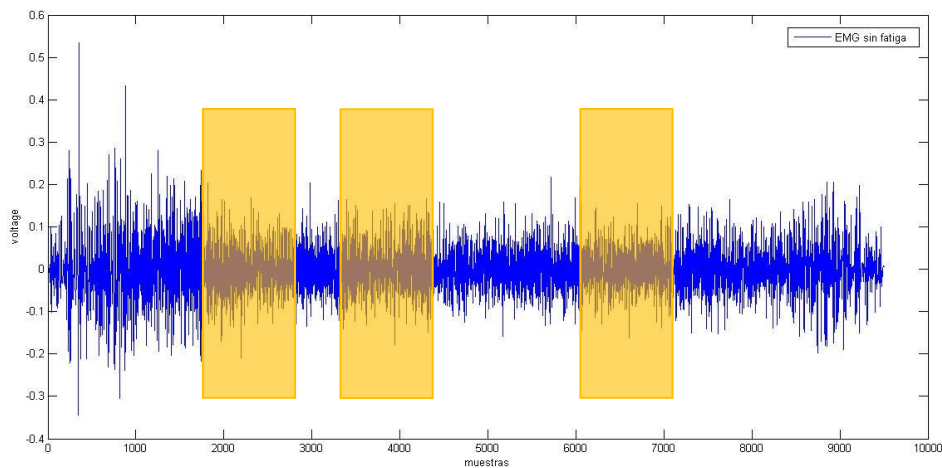
Se realizó un pre-procesado offline usando el software Matlab. Las señales de EMG adquiridas fueron filtradas usando un filtro digital Butterworth de orden 4 pasa-bandas de 20-350Hz. Luego del pre-procesamiento de las señales, se procedió a identificar la fatiga muscular. En este trabajo se consideraron dos estados: No fatiga y Fatiga. Para obtener estos dos estados, se dividió en dos partes iguales todo el conjunto de datos que representa el registro de las señales de EMG durante todo el experimento. La primera mitad corresponde a los datos donde aún no se ha presentado la fatiga muscular y la segunda mitad representa los datos con fatiga muscular, esto se realizó suponiendo que la fatiga muscular comienza a manifestarse después de la mitad del ejercicio, ya que después de este punto, las capacidades para mantener las contracciones se ven disminuidas.



Se seleccionaron únicamente los segmentos de la señal que corresponden a las flexiones isométricas (Figura 3). Posteriormente, se procedió a seleccionar 3 ventanas aleatorias de 1 segundo de duración dentro de cada uno de los segmentos que corresponden a las flexiones isométricas, Figura 4.



**Figura 3. Clasificación de los datos de EMG en No fatiga y Fatiga. Los datos registrados durante todo el experimento fueron divididos en 2 partes iguales, la primera mitad corresponde a los datos donde aún no se ha presentado la fatiga muscular y la segunda mitad representa los datos con fatiga muscular.**



**Figura 4. Selección aleatoria de 3 ventanas de 1 segundo de duración. Estos segmentos serán utilizados para la extracción de los parámetros (ZC, WL y FMN).**

### 2.3 Extracción de parámetros

Los parámetros ZC, WL y FM fueron calculados sobre cada una de las ventanas de 1 segundo de duración extraídas de las señales de EMG correspondientes a las flexiones isométricas. En total se obtuvieron 48 segmentos isométricos, lo que nos da un total de 144 ventanas. Para el caso de la extracción de los parámetros de ZC, se utilizó un umbral  $\epsilon = 0.05$ , el cual fue seleccionado empíricamente para evitar el ruido basal presente en la señales de EMG.

### 2.4 Análisis estadístico

La regresión logística es una técnica de modelado estadístico ampliamente utilizada en la cual la probabilidad  $P$  de un evento con salida dicotómica es relacionada a un conjunto de variables explicatorias de la siguiente forma [10]:

$$\ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = \beta_0 + \beta_1 \quad (5)$$

Donde  $\beta_0$  representa el intercepto y  $\beta_1$  es el coeficiente asociado con la variable explicatoria. En nuestro caso, esta variable será sustituida por los parámetros analizados: ZC, WL y FM. En general, la regresión logística impone menos restricciones que la regresión lineal ordinaria, ya que no es necesario asumir linealidad entre la variable explicatoria (independientes) y la variable respuesta (dependiente) y también no se requiere que las variables tengan una distribución normal [10].

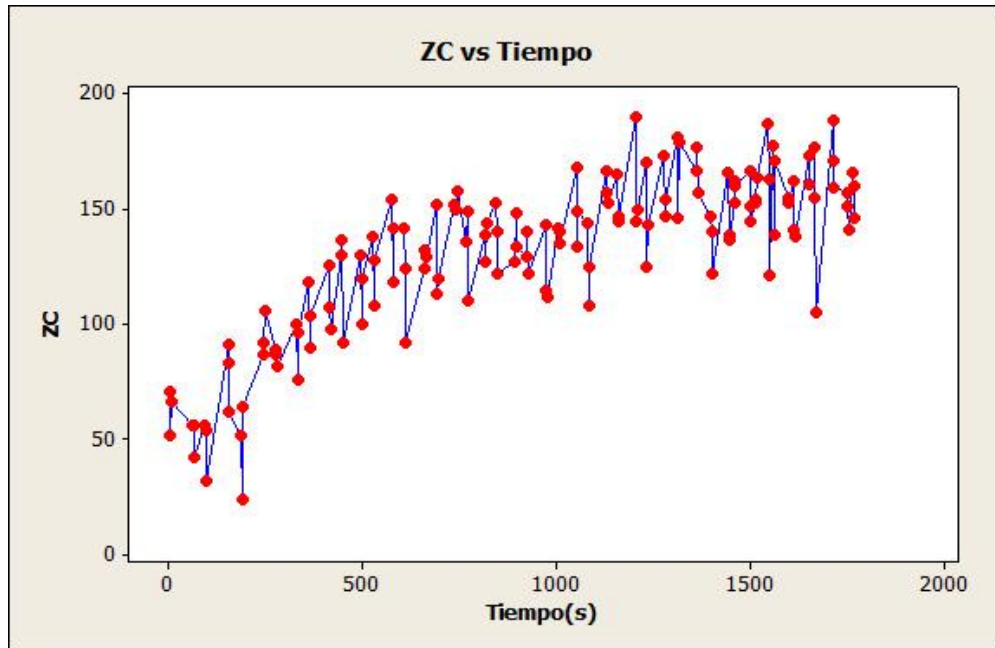
Una variable dicotómica se refiere a aquella que puede tomar únicamente dos valores, comúnmente codificados como 0 y 1. En el área de las ciencias de la salud es muy común encontramos con variables de este tipo, por ejemplo: vivo/ muerto, infectado/no infectado, saludable/ no saludable etc. En nuestro caso, la variable respuesta se refiere al estado de Fatiga o No fatiga (0 = sin presencia de fatiga y 1= con presencia de fatiga). Dada la naturaleza dicotómica del problema estudiado, se ha considerado el modelo de regresión logística como el más adecuado.

Un factor importante en el análisis de regresión logística, es la llamada razón de momios o el *odds ratio*. El *odds ratio* indica el riesgo de pertenecer o no pertenecer a cierto estado, en nuestro caso, el riesgo de padecer fatiga muscular. Por lo tanto, aquel parámetro del dominio del tiempo que presente un *odds ratio* más elevado, indicará una mejor sensibilidad a la fatiga muscular. Este indicador nos servirá para estimar el riesgo relativo de padecer “Fatiga muscular” con respecto a no padecerla si se usa cualquiera de los parámetros planteados: WL, ZC o FM.

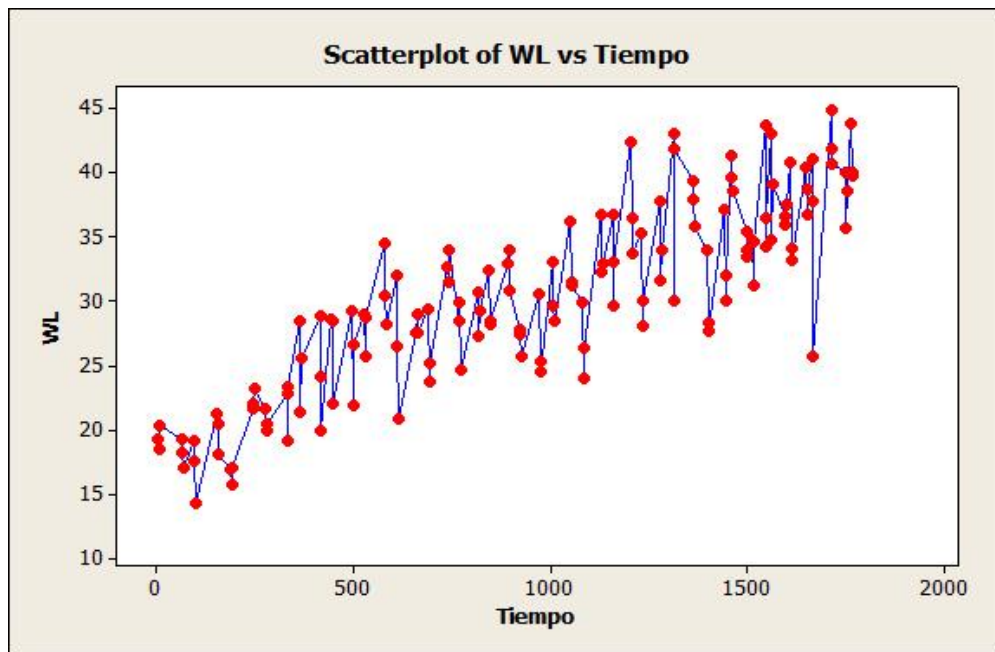
### 3. RESULTADOS.

Como se mencionó con anterioridad, se seleccionaron 3 ventanas aleatorias de tamaño de 1 segundo por cada registro de EMG correspondiente a una flexión isométrica. El ejercicio completo tuvo una duración de 1784.873 segundos, este tiempo corresponde al periodo desde que el sujeto comenzó la rutina hasta que fue incapaz de continuar con ella. A continuación se muestran las graficas de los parámetros extraídos durante toda la sesión del ejercicio (Figuras 5-7). La gráfica de la variable de ZC muestra una tendencia decreciente en relación al tiempo. El mismo comportamiento puede ser observado en el caso de la variable WL, sin embargo, es posible observar como este último parámetro muestra una tendencia más lineal que el parámetro ZC, lo cual puede verse reflejado con el coeficiente de correlación presentado en la Tabla I, 0.8579 para WL y 0.8049 para la variable ZC. Por otro lado, la tendencia que presenta la variable FM es decreciente, lo cual concuerda con la literatura, la cual indica que la frecuencia media tiende a disminuir con la aparición de la fatiga muscular. Sin embargo, el coeficiente de correlación de la FM con respecto al tiempo resultó ser mucho más bajo que para las otras dos variables (-0.712),

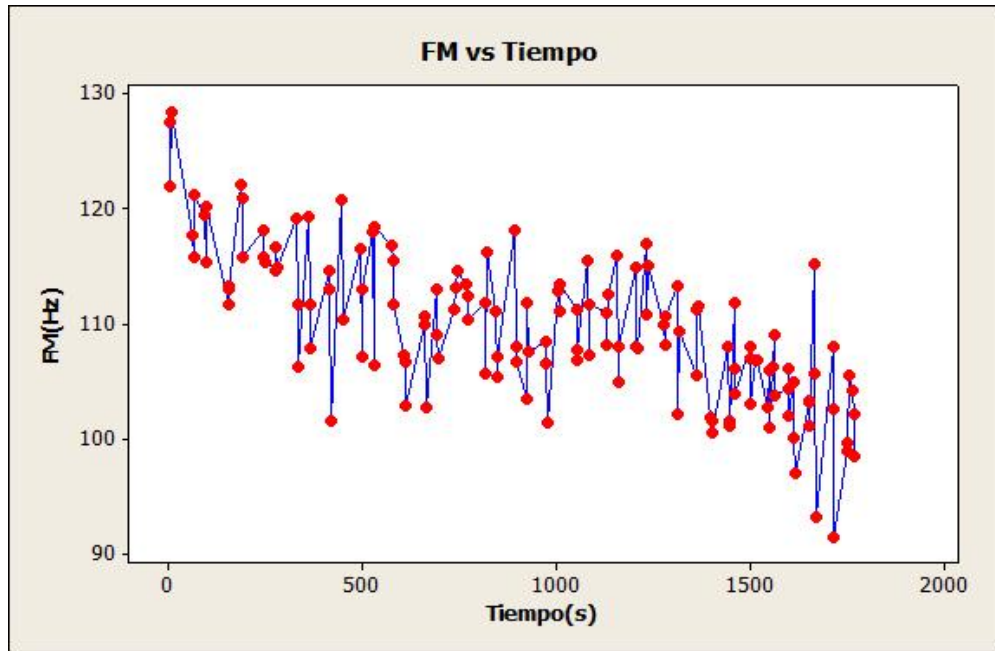
destacando de nuevo su naturaleza no lineal, Tabla I. Una observación importante es que aunque se ha dicho que estos parámetros (WL y ZC) se encuentran relacionados con la frecuencia, su comportamiento es creciente, mientras que el de la frecuencia media es decreciente.



**Figura 5. Gráfica de los parámetros de ZC extraídos durante todo el experimento. Se observa una tendencia creciente.**



**Figura 6. Gráfica de los parámetros de WL extraídos durante todo el experimento. Se observa una tendencia creciente.**



**Figura 6. Gráfica de los parámetros de FM extraídos durante todo el experimento. Se observa una tendencia decreciente.**

**Tabla I**

	ZC	WL	FM
Coeficientes de correlación	0.8049	0.8579	-0.712

**Tabla I. Coeficientes de correlación entre las variables analizadas y el tiempo.**

**Regresión logística.**

Los resultados obtenidos de la regresión logística se presentan en la Tabla II. Es posible observar que la variable WL presenta el *odds ratio* más elevado. Esto significa que el parámetro WL explica mejor el proceso de fatiga muscular y por lo tanto, tiene un mayor nivel de asociación que cualquiera de los otros dos parámetros, este resultado también podría interpretarse como un valor de sensibilidad para la detección de la fatiga. Sin embargo, estos resultados son aún preliminares y se sugiere realizar el mismo experimento usando una muestra de población mucho mayor para validar esta hipótesis.

**Tabla II.**

	Intercepto	Coeficiente	Odds ratio	Intervalo de Confianza del 95%	Valor P
Modelo ZC	-12.088	0.088	1.09	(1.06-1.13)	<0.05 *
Modelo WL	-13.558	0.444	1.56	(1.35-1.81)	<0.05 *
Modelo FM	23.699	-0.2161	0.81	(0.74-0.87)	<0.05 *

**Tabla II. Resultados de la regresión logística. Todos los coeficientes resultaron ser significativos (\*).**

#### 4. CONCLUSIONES.

En este trabajo se analizó el uso de los parámetros ZC y WL para explicar la fatiga muscular como alternativa al método tradicional, el cual utiliza la frecuencia media. La desventaja del cálculo de la frecuencia media es el tiempo que tarda la computadora en calcularla, ya que requiere de varias operaciones matemáticas. En cuanto a los parámetros en el dominio del tiempo (ZC y WL), es posible resaltar que ambos presentan una buena relación con la aparición de la fatiga muscular, sin embargo, se prefiere el uso del WL debido a que su cálculo no requiere la calibración de algún parámetro adicional, como en el caso del ZC en el cual se debe de encontrar un valor de umbral  $\epsilon$  el cual depende del nivel de ruido de la basal. Los resultados obtenidos muestran que la razón de momios (*odds ratio*) obtenida para el parámetro de WL fue mucho mayor que la del ZC, 1.56 y 1.09 respectivamente. De este modo, se observó que, para este experimento en particular, el parámetro WL es capaz de explicar la fatiga mucho mejor que los otros dos parámetros estudiados (FM y ZC), también se observó que presenta un comportamiento mucho más lineal con el tiempo, obteniendo un coeficiente de correlación de Pearson de 0.8579. Sin embargo, es necesario realizar experimentos más extensos y con una muestra de la población mucho más grande para verificar estos mismos resultados. Esto ayudaría a generar algoritmos de detección de la fatiga muscular mucho más rápidos, lo que simplificaría su implementación en sistemas embebidos.

#### 5. SUGERENCIAS Y TRABAJO FUTURO.

Se sugiere realizar un análisis de regresión logística multivariado utilizando todos los parámetros analizados en este trabajo (WL, ZC y FM) para generar un modelo que pueda explicar la fatiga muscular y el cual podría ayudar a predecir su aparición. También se recomienda realizar el mismo análisis pero con un tamaño de muestra mucho mayor. La obtención de un parámetro que explique la fatiga muscular es un pequeño paso para la creación de un modelo que permita la detección automática y evaluación objetiva de la fatiga muscular. Esta aplicación podría tener múltiples usos sobre todo en el área de rehabilitación y medicina del deporte.

#### 6. REFERENCIAS.

- [1] M. R. Al-Mulla, F. Sepulveda, and M. Colley, An autonomous wearable system for predicting and detecting localised muscle fatigue., *Sensors (Basel)*., vol. 11, no. 2, pp. 1542–57, 2011.
- [2] N. a. Dimitrova and G. V. Dimitrov, Interpretation of EMG changes with fatigue: facts, pitfalls, and fallacies., *J. Electromyogr. Kinesiol.*, vol. 13, no. 1, pp. 13–36, 2003.
- [3] H. Westerblad, D. G. Allen, J. Lännergren, H. Westerblad, D. G. Allen, and J. Lännergren, Muscle Fatigue : Lactic Acid or Inorganic Phosphate the Major Cause?, *Physiology*, vol. 17, pp. 17–21, 2002.
- [4] E. B. Fontes, A. H. Okano, B. D. P. Smirmaul, L. R. Altimari, R. O. Triana, and A. C. Moraes, Can neuromuscular fatigue threshold be determined by short and non-exhaustive bouts?, *Brazilian J. Kinanthropometry Hum. Perform.*, vol. 14, no. 3, pp. 254–263, 2012.
- [5] P. P. Roberto Merletti, *Electromyography - Physiology, Engineering adn Noninvasive Applications*, Wiley-IEEE., p. 520, 2004.
- [6] H. Xie and Z. Wang, Mean frequency derived via Hilbert-Huang transform with application to fatigue EMG signal analysis., *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 82, no. 2, pp. 114–20, May 2006.

- [7] F. B. Stulen and C. J. DeLuca, Frequency parameters of the myoelectric signal as a measure of muscle conduction velocity., *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 28, no. 7, pp. 515–23, Jul. 1981.
- [8] M. González-Izal, A. Malanda, E. Gorostiaga, and M. Izquierdo, Electromyographic models to assess muscle fatigue., *J. Electromyogr. Kinesiol.*, vol. 22, no. 4, pp. 501–12, Aug. 2012.
- [9] E. J. Rechy-ramirez and H. Hu, Stages for Developing Control Systems using EMG and EEG Signals : A survey, *Tech. Rep. CES-512 ISSN 1744-8050*, 2011.
- [10] A. Subasi and E. Erçelebi, Classification of EEG signals using neural network and logistic regression., *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 78, no. 2, pp. 87–99, May 2005.

## 11. SEMICONDUCTORES, DISEÑO DE CIRCUITOS ANÁLOGOS Y SISTEMAS DIGITALES.

### 11.1 EFECTO DEL $ZnSO_4$ EN LA PREPARACIÓN POR BAÑO QUÍMICO DEL SEMICONDUCTOR ZnS.

I.J. González-Chan, J. E. Corona, A. I. Oliva

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida, Departamento de Física Aplicada, A.P. 73.Cordemex, 97310 Mérida Yucatán México.

E-mails: igch10@gmail.com; jecorona@mda.cinvestav.mx, oliva@mda.cinvestav.mx

Tel: +52 999 9429436

#### RESUMEN.

El sulfuro de zinc ( $ZnS$ ) es un semiconductor que posee una energía de banda prohibida de 3.7 eV, muy adecuado para usarse como ventana óptica en dispositivos solares, además de tener propiedades de alta transparencia y anti-reflectancia. Su uso se extiende para la preparación de sensores ópticos por sus propiedades electroluminiscentes en la región UV del espectro. Su preparación en tecnología de capa delgada por la técnica de baño químico es atractiva por su bajo costo, sencillez y capacidad para obtener grandes áreas. En este trabajo se estudian los efectos sobre las propiedades físicas de este material cuando se varía la concentración de la sal de sulfato de zinc ( $ZnSO_4$ ) en su preparación. Para ello, se depositaron capas delgadas de  $ZnS$  sobre sustratos de vidrio Corning usando la técnica de baño químico a la temperatura de 90 °C usando hidróxido de potasio (KOH), nitrato de amonio ( $NH_4NO_3$ ) y tiourea ( $CS_2(NH_2)_2$ ) como reactivos químicos. Se realizaron diferentes series de depósitos en las cuales la concentración del  $ZnSO_4$  fue variada en un rango desde 0.005 M hasta 0.03 M. Las capas depositadas se caracterizaron óptica, morfológica y estructuralmente usando las técnicas de espectrofotometría UV-VIS, microscopía de fuerza atómica y difracción de rayos X, respectivamente. Se discute la influencia de la concentración del  $ZnSO_4$  sobre dichas propiedades de las muestras. Los resultados indican que la concentración de 0.02 M de  $ZnSO_4$  proporciona las mejores propiedades ópticas de las capas alcanzando una energía de banda prohibida promedio de 3.7 eV similar al valor estándar, con una superficie uniforme de 17 nm de rugosidad y un espesor de 105 nm. La estructura cristalina obtenida de las capas depositadas corresponde a la cúbica con orientación preferencial (111).

#### 1. INTRODUCCIÓN.

El sulfuro de zinc ( $ZnS$ ) es un semiconductor perteneciente a la familia II-VI con una energía de banda prohibida de 3.7 eV [1]. Es debido a este valor que tiene un amplio potencial para preparar dispositivos en capa delgada como sensores, diodos emisores en el azul y dispositivos emisores y moduladores en optoelectrónica. No obstante, dado que el material es prácticamente transparente para todas las longitudes de onda del espectro solar, destaca su importancia como ventana óptica en celdas solares  $Cu(In,Ga)Se_2$  donde se han reportado eficiencias del 18% [2].

Las capas delgadas de  $ZnS$  son obtenidas usando diferentes técnicas destacando la evaporación térmica, el rociado por pirólisis, el método de capas iónicas obtenidas por adsorción y reacción y el depósito por baño químico (chemical bath deposition, CBD) [3], entre otras. Entre ellas, el CBD destaca por el bajo costo y simpleza en su instrumentación. El depósito de la capa delgada se lleva a cabo por medio de la precipitación sólida del compuesto deseado. La reacción para la formación

del precipitado toma lugar en la disolución de los agentes precursores en una solución acuosa a bajas temperaturas (30 a 90°C). Tiourea, tioacetamina y sulfuro de sodio son usados comúnmente como precursores de los iones azufre, mientras que cloruro de zinc, acetato de zinc y sulfato de zinc son los precursores metálicos del Zn más utilizados [4]. Para el control del pH se utiliza un hidróxido (KOH, NaOH) y como agente complejante el  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

Las propiedades de las capas delgadas obtenidas dependen en gran medida de los parámetros que pueden ser controlados y ajustados en la solución del baño químico tales como: el tiempo y temperatura de depósito [5], el pH de la solución [6], la temperatura de los sustratos [7], los agentes complejantes [8], entre otros.

El objetivo de este trabajo es estudiar las propiedades ópticas, morfológicas y estructurales de las capas delgadas de ZnS depositadas por la técnica de baño químico cuando se utiliza la sal soluble de  $\text{ZnSO}_4$  como precursor metálico con diferentes concentraciones.

## 2. SISTEMA EXPERIMENTAL.

Las capas delgadas de ZnS fueron depositadas sobre sustratos de vidrio Corning de 15 x 25 mm<sup>2</sup> de área. Para conseguir una buena adherencia de la capa delgada con el sustrato es necesario realizar un estricto proceso de limpieza de los mismos. El proceso de limpieza consistió en una serie de etapas de lavado en un baño ultrasónico que incluyen agua jabonosa, tricloroetileno, acetona y alcohol isopropílico. Al final de cada etapa de las muestras son enjuagadas con agua destilada y secadas con aire a presión.

El baño químico para el depósito de ZnS está compuesto de los siguientes volúmenes y reactivos químicos: 80 ml de  $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$ , 80 ml de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , 200 ml de KOH y 80 ml de  $\text{ZnSO}_4$ . Las concentraciones de los diferentes depósitos (nombrados A a E) se muestran en la Tabla 1.

La mezcla de los reactivos preparados para la formación del baño se realiza en el siguiente orden: el  $\text{ZnSO}_4$ , el KOH y el  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . La solución formada es agitada magnéticamente para homogeneizarla y calentada a 90°C. Una vez alcanzada esta temperatura se añade finalmente el reactivo  $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$ .

**Tabla 1. Concentraciones utilizadas para el depósito de capas delgadas  
De ZnS por la técnica de CBD.**

Depósitos	Concentración (M)			
	$\text{ZnSO}_4$	KOH	$\text{CS}(\text{NH}_2)_2$	$\text{NH}_4\text{NO}_3$
A	0.005	1.00	0.200	1.50
B	0.010	1.00	0.200	1.50
C	0.015	1.00	0.200	1.50
D	0.020	1.00	0.200	1.50
E	0.030	1.00	0.200	1.50

Cada depósito consta de 5 muestras y con el objetivo de obtener diferentes espesores, fueron retiradas una por una a los 60, 70, 80, 90 y 100 min de tiempo de depósito. Cuando la muestra es retirada de la solución, se somete a un proceso de limpieza en un baño ultrasónico en agua destilada con el fin de eliminar residuos superficiales y un secado con aire a presión. Posteriormente, las muestras son colocadas en una caja de Petri para su conservación.



La morfología superficial de las muestras fue estudiada con un microscopio de fuerza atómica (AFM, Ambios Universal). La estructura cristalina fue obtenida mediante difracción de rayos X (Siemens D-5000). Las propiedades ópticas se obtuvieron a partir de las curvas de absorción óptica obtenidas con un espectrofotómetro en el rango UV-Vis (Agilent 8453) mientras los espesores fueron medidos con un perfilómetro de punta de diamante (Dektak 8) a través de un escalón formado con una solución de HCl al 10%.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### 3.1 Propiedades ópticas

Por la aplicación solar de las capas delgadas de ZnS, la absorción y la energía de banda prohibida ( $E_g$ ) son propiedades físicas que juegan un papel de suma importancia. Dado que el ZnS es un semiconductor de energía de banda prohibida directa, su valor puede ser determinado por medio de la relación:

$$\alpha^2 = A^2(h\nu - E_g) \quad (1)$$

Donde  $\alpha$  es el coeficiente de absorción,  $A$  es una constante y  $h\nu$  es la energía de la luz incidente. De la Ec. (1) puede notarse que la dependencia entre  $\alpha^2$  y  $h\nu$  es lineal por lo que si hacemos una gráfica con coordenadas ( $h\nu$ ,  $\alpha^2$ ) y definimos una recta cuya intersección con  $\alpha^2=0$ , podemos obtener el valor de  $E_g$ , sabiendo que  $h\nu=E_g$ . Esto nos permite determinar el valor de la energía de banda prohibida del ZnS. La Figura 1 muestra lo descrito anteriormente para cada uno de los depósitos realizados.

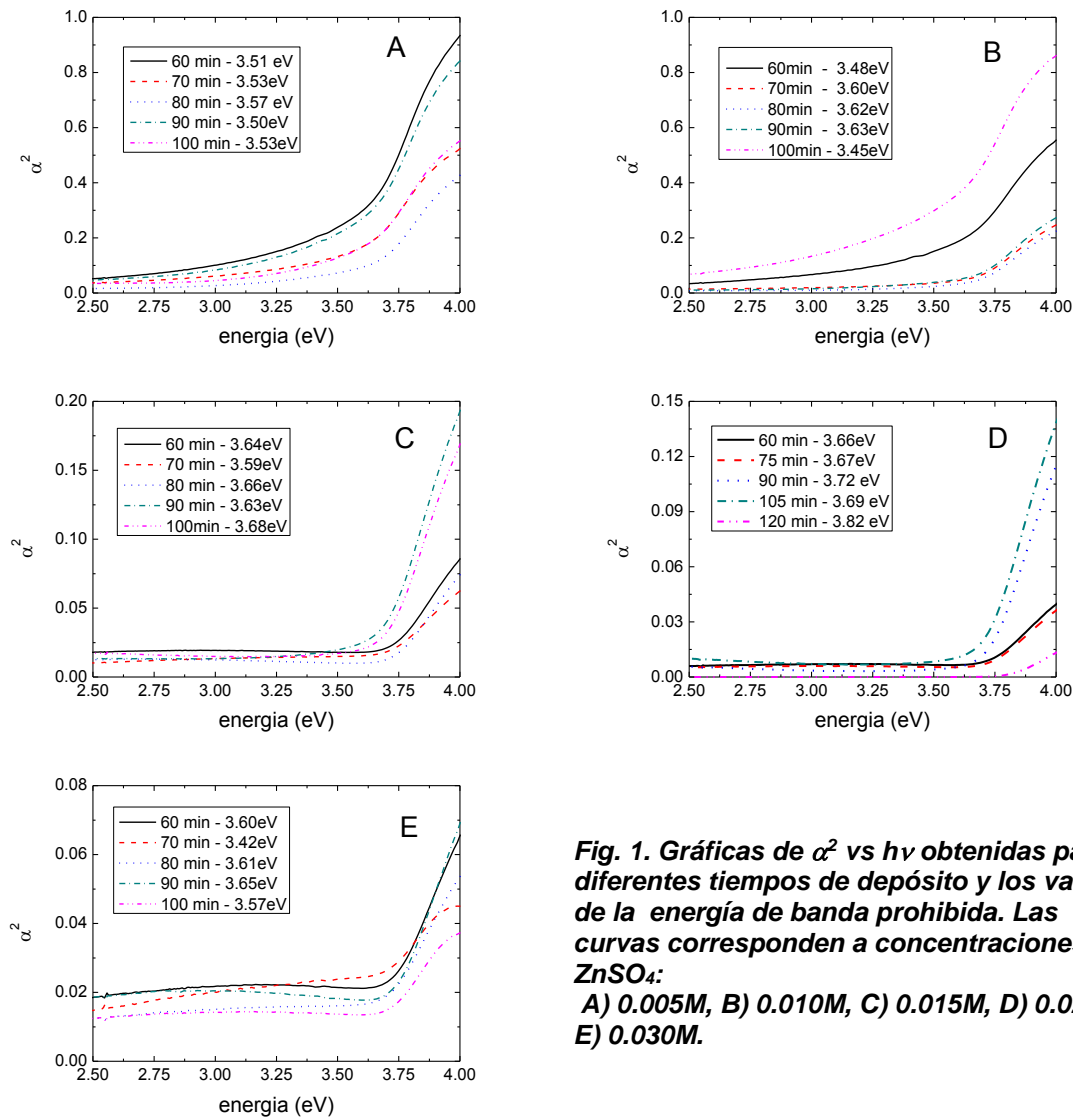
Las gráficas de la Figura 1 (A-E) muestran las curvas de absorción típicas de los diferentes depósitos del ZnS obtenidos con diferentes tiempos. La abscisa de las curvas, la energía, tiene la misma escala en todas las gráficas, pero la ordenada, muestra escalas diferentes. Se observa que al aumentar la concentración del  $ZnSO_4$ , decrece la absorción, lo que implica que la película tiene un espesor reducido. De manera similar, todas las muestras presentan una baja absorción en el rango de energía de 2.5 a 3.25 eV que corresponde a 500 y 350 nm de longitud de onda del espectro electromagnético. Esto significa que en este rango la capa delgada de ZnS absorbe la luz incidente. Respecto al tiempo de depósito, no se observa una secuencia de crecimiento para cada baño realizado. Se esperaba que al aumentar el tiempo de depósito, aumente la absorción y por consiguiente el espesor de la película; sin embargo, este comportamiento sólo se observa en el depósito C correspondiente a 0.015M de  $ZnSO_4$ .

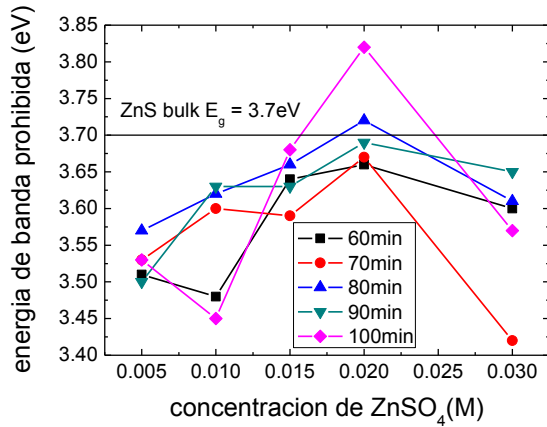
Es de esperarse que la muestra depositada durante 100 min tenga el mayor coeficiente de absorción ya que es la muestra de mayor tiempo de depósito. La muestra de 100 min correspondiente a los depósitos A, B y C presentan este comportamiento; pero no así las de los depósitos D y E. Esto puede deberse a que los agentes precursores se han agotado dentro del baño provocando que inicie un proceso de re-depósito. Los valores de la energía de banda prohibida para los depósitos realizados están en un rango de entre 3.40 y 3.85 eV como se muestra en la Figura 2.

Se puede notar que existe un comportamiento tipo gaussiano de los valores de la energía de banda prohibida, es decir, existe un incremento de los valores de  $E_g$  conforme se aumenta la concentración de la sal de zinc, llegando a un valor máximo correspondiente a 0.020 M y decreciendo nuevamente en 0.030 M. Las muestras obtenidas con el depósito D (concentración de 0.020 M) son las que mejor se aproximan al valor de referencia de 3.7 eV seguidas por las del

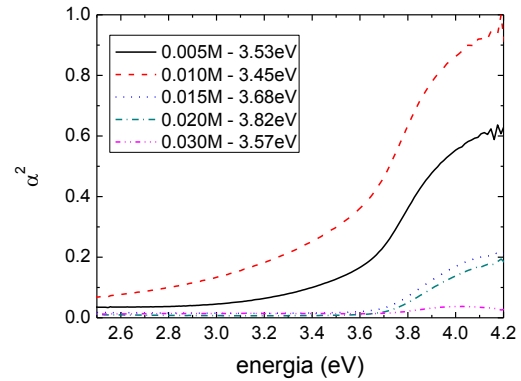
depósito C. El valor de la energía de banda prohibida del ZnS es incluido (línea horizontal) como referencia.

Consideremos el grupo de muestras depositadas durante 100 min en cada uno de los depósitos para efectos comparativos, tal como se muestra en la Figura 3. Se puede notar que el borde de absorción se hace más notable al aumentar el valor de la concentración de la sal de zinc. De igual forma el valor de la energía de banda prohibida aumenta acercándose al valor estándar de 3.7 eV. Los menores valores de la energía de banda prohibida obtenidos en los depósitos A y B se podrían deber a que su estructura cristalina no es del todo ordenada ya que se espera que con una estructura cristalina bien ordenada, el valor de la energía de banda prohibida esté más cercano al valor de un poli-cristal de ZnS. Para ello, las muestras de 100 min de los depósitos A y B fueron analizadas por difracción de rayos X con 0.5° de incidencia rasante. Los resultados se muestran en la Figura 4.

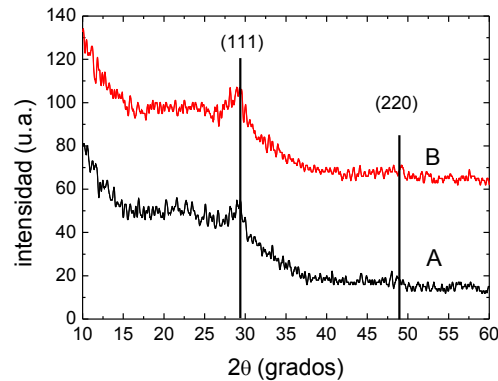




**Fig. 2. Gráfica de  $E_g$  vs  $[ZnSO_4]$  para distintos tiempos de depósito.**



**Fig. 3. Gráfica de  $\alpha^2$  vs  $h\nu$  para las muestras depositadas durante 100 min y distintas concentraciones de  $ZnSO_4$ .**



**Fig. 4. Difractogramas de rayos x correspondientes a los depósitos: A (0.005 M) y B (0.010 M) para 100 min de depósito.**

Las muestras presentan una orientación principal (111), correspondiente al pico ubicado en  $2\theta=29.5^\circ$ . Sin embargo, no presentan picos en la orientación (220) correspondiente a  $2\theta=48.6^\circ$  que representa a un pico secundario. Con la obtención del pico principal se confirma que la capa depositada es ZnS con una estructura cristalina cúbica. Debido a la baja intensidad del pico principal y a la ausencia de picos secundarios, la estructura cristalina se considera poco orientada.

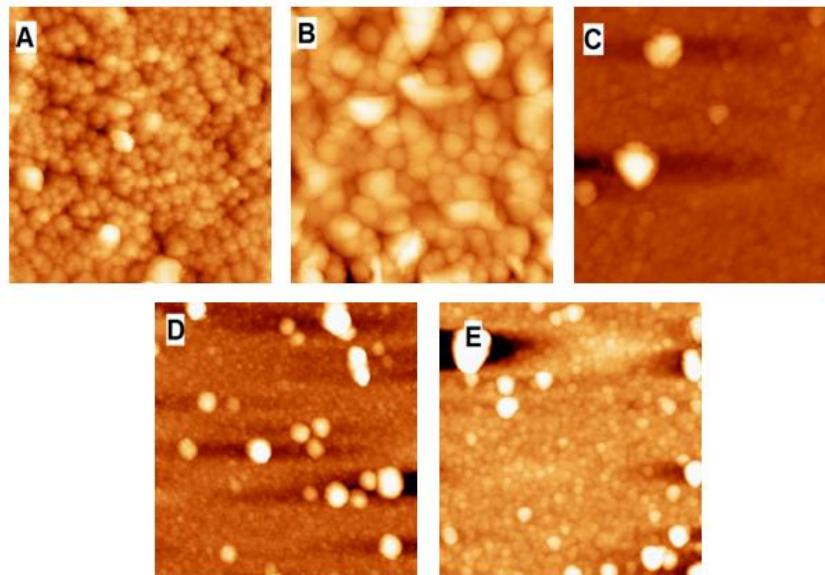
### 3.2 Propiedades morfológicas.

Para el estudio morfológico se consideraron las muestras de 100 min de cada grupo de muestras depositadas. Dichas muestras fueron analizadas en el microscopio de fuerza atómica y en el perfilómetro para obtener imágenes de la superficie de la película y el espesor de ésta, respectivamente.

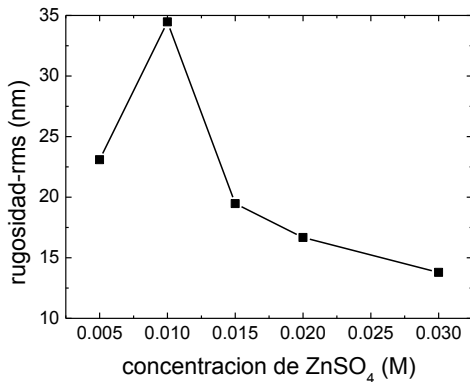
De la Figura 5 puede observarse la variación del tamaño de grano al aumentar la concentración del  $ZnSO_4$ , al mismo tiempo que la superficie de las muestras se va haciendo más homogénea. Las muestras de los depósitos A y B correspondientes a 0.005 M y 0.010 M de  $ZnSO_4$  son las que presentan mayor tamaño de grano en la superficie. La muestra del depósito A tiene un tamaño de grano uniforme, mientras que la del depósito B presenta variaciones en el tamaño de grano. No obstante las muestras de los depósitos C, D y E presentan una superficie bastante uniforme y un tamaño de grano pequeño y similar entre ellas, aunque se muestran algunos cúmulos de material presentes de manera aleatoria a lo largo de la superficie. Tanto la distribución como el tamaño de grano medidas en todas las muestras están acorde con las propiedades ópticas presentadas por las muestras. Las muestras de los depósitos A y B presentan un menor valor de energía de banda prohibida debido al mayor espesor y tamaño de grano, contrario a lo medido en las muestras de los depósitos C, D y E que al tener una mayor uniformidad en la distribución y tamaño del grano presentan mejor valor de energía de banda prohibida, aunque menor espesor.

Un parámetro que se obtiene a partir de la imagen del microscopio de fuerza atómica es la rugosidad media cuadrática ( $R_{rms}$ ). Este valor representa una medida de las fluctuaciones de las alturas observadas en una determinada región de barrido con respecto a la altura promedio calculada para dicha área. La Figura 6 muestra los valores  $R_{rms}$  obtenidos. Puede notarse que hay dos comportamientos que están de acuerdo a lo observado en las imágenes de AFM. Primero, un incremento de la rugosidad entre las muestras de los depósitos A y B y segundo un decremento de este valor en las muestras de C, D y E. Asumimos que el decremento se puede deber a que para mayores concentraciones de  $ZnSO_4$  todavía existen iones de zinc disponibles en la solución del baño por lo cual los granos pueden irse compactando y tomar tamaños uniformes.

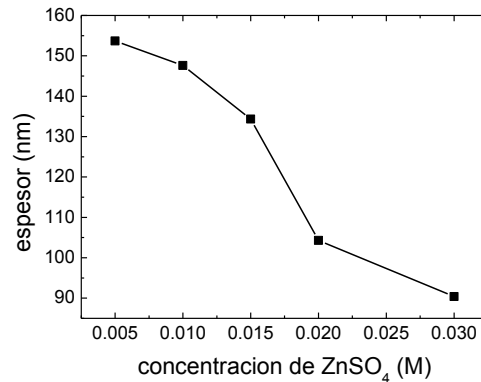
Contrario a lo que pudiese ocurrir con concentraciones bajas en las cuales al no haber suficientes iones de zinc los granos pueden tomar distintos tamaños y colocarse de manera no uniforme sobre la superficie. Los espesores correspondientes de dichas muestras se muestran en la Figura 7. Al disminuir la concentración de la sal de zinc se puede observar un aumento del espesor de la película de ZnS. Esto es consistente con lo observado en las curvas de  $\alpha^2$  vs  $h\nu$  ya que conforme disminuye la concentración de  $ZnSO_4$  la absorción aumenta. De manera similar, la medición es congruente con el comportamiento presentado ya que entre las muestras de los depósitos A y B hay un cambio brusco en el espesor y la absorción en comparación con las muestras de C, D y E.



**Fig. 5. Imágenes AFM ( $3 \times 3 \mu\text{m}^2$ ) de capas delgadas de ZnS y diferentes concentraciones de  $\text{ZnSO}_4$ : A) 0.005 M, B) 0.010 M, C) 0.015 M, D) 0.020 M, y E) 0.030 M. Tiempo de depósito: 100 min.**



**Fig. 6. Gráfica de rugosidad ( $R_{rms}$ ) vs concentración de  $\text{ZnSO}_4$  para las muestras de 100 min.**



**Fig. 7. Espesor vs concentración de  $\text{ZnSO}_4$  de las capas de ZnS obtenidas por CBD.**

#### 4. CONCLUSIONES.

Se estudiaron las propiedades ópticas, morfológicas y estructurales de capas delgadas de ZnS depositadas por baño químico cambiando la concentración de la sal precursor de  $\text{ZnSO}_4$ . Se observó que al aumentar la concentración de la sal de zinc el valor de la absorción en las muestras decrece. Los valores de la energía de banda prohibida presentan un comportamiento tipo gaussiano conforme aumenta la concentración de  $\text{ZnSO}_4$  teniendo un valor cercano al valor estándar las muestras depositadas con concentración de 0.020 M. Las películas muestran una superficie y tamaño de grano no homogéneo cuando la concentración de  $\text{ZnSO}_4$  es baja, no obstante que el espesor de las muestras son mayores. Para las concentraciones de  $\text{ZnSO}_4$  mayores se obtiene una distribución más uniforme y tamaños de grano similares en la superficie de la muestra, aunque con menor espesor de la capa depositada. Para los fines de aplicación y uso como ventana óptica en dispositivos solares en capa delgada, las muestras depositadas con concentración de 0.020 M de  $\text{ZnSO}_4$ , presentaron las mejores propiedades ópticas y morfológicas.

**Agradecimientos:** Los autores agradecen el apoyo de los proyectos FOMIX-Yucatán No. 2008-108160 y Conacyt LAB-2009-01 No. 123913, así como el apoyo técnico de Daniel Aguilar, Wilian Cauch, Mauricio Romero y Dora Huerta por las mediciones de rayos x, espesores y microscopia electrónica realizados.

#### 5. REFERENCIAS.

- [1] S. Yamaya, A. Yoshokawa, H. Kasain, J. Cryst. Growth **86**, 252, (1998).
- [2] A. Pudov, J. Sites, T. Nakada, Jpn. J. Appl. Phys. **41**, 672-674, (2002).

- [3] P. O'Brien, J. McAleese, J. Mater. Chem. **8**, 2309-2314, (1998)
- [4] R.S. Mane, C.D. Lokhande, Mater. Chem. Phys. **65**, (2000), 1-31.
- [5] B. Noikaew, P. Chinvetkitvanich, I. Sripichai, C. Chiyuttakan, J. Metals, Materials and Minerals **18**, 49-52, (2008).
- [6] T. Ben Nars, N. Kamoun, M. Kanzari, R. Bennaceur, Thin Solid Films **500**, 4-8, (2006)
- [7] F. Long, WM. Wang, Z. Cui, LZ. Fan, Chem. Phys. Lett. **462**, 84-87, (2008).
- [8] J. Cheng, D. Fan, H Wang, B. Lui, Y. Zhang, H. Yan, Semicond. Sci. & Technol. **18**, 676-679, (2003).

## **11.2 ZnS FILMS DEPOSITED BY CHEMICAL BATH: EFFECTS OF THE ANNEALING PROCESS.**

**D. A. Cauich-López, A.I. Oliva**

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida, Departamento de Física Aplicada. Km 6 Ant. Carretera a Progreso. A.P. 73-Cordemex, Mérida Yucatán México.

E-mails: daniel.cauich@gmail.com, oliva@mda.cinvestav.mx

Tel.: +52 999 942 9436

### **ABSTRACT.**

Zinc sulfide (ZnS) is a promising semiconductor material for solar cells applications. Given its wide band gap energy value ( $E_g=3.67$  eV) and its antireflective properties [1] presents greater advantages as optical window than cadmium sulfide (CdS) ( $E_g= 2.42$  eV). However, the ZnS films preparation by the chemical bath deposition (CBD) technique is not an easy task in comparison with the CdS films [2]. Different works on CBD-ZnS films reports the amorphous structure of the as-grown samples and a post-annealing process is normally required for improving its crystalline structure [3]. In this work, films of ZnS were prepared on Corning glass substrates by the chemical bath technique at 80 °C and 120 min as deposition time.  $ZnCl_2$ , KOH,  $NH_4NO_3$ , and thiourea ( $CS(NH_2)_2$ ) were used as chemical reagents for the bath. The deposited samples were annealed at 100, 200 and 300 °C into a vacuum oven with argon atmosphere. The annealing times changes from 0.5 to 2 h with steps of 0.5 h. Samples were optically characterized by spectrophotometry for observing changes in the bandgap energy as a function of the annealing temperature and the annealing time. Results indicate that the films change from whiteness to pale-yellow color; meanwhile the absorption edge and the band gap energy values reduce from 3.70 to 3.12 eV with the annealing temperature and deposition time. The crystalline structure of the ZnS films with (111) as preferential orientation was obtained by x-ray diffraction and remains constant with the annealing process, meanwhile an increase of the grain size was observed by atomic force microscopy.

### **1. INTRODUCTION.**

Nowadays, the most efficiency solar cell is fabricated based on the  $Cu(In,Ga)Se_2$  (CIGS) structure. These cells generally present a type-structure of  $MgF_2/ZnO:Al/ZnO/CdS/CIGS/Mo/substrate$  in which the primary function of the CdS film is to act as a buffer layer [4]. Due to the problem of toxicity and recycling of Cd, a Cd-free compound as buffer layer has been searched for replacing the CdS layer. Zinc sulfide (ZnS), with a large band gap value of 3.7 eV, becomes a highly efficient luminescent material, when is doped with manganese, copper or other ions [5]. Because ZnS is relatively an easy material to handle and to deposit in thin films, it also becomes a valuable prospect for replacing the CdS film as buffer layer.

Due to the optical properties of these materials, both ZnS and CdS thin films have been deeply investigated and studied as semiconductor buffer layers on the (CIGS)-based solar cells. The highest efficiency for ZnS/ $Cu(In,Ga)Se_2$  solar cells has been reported to be as higher as 18.6%, when they are prepared by the chemical bath deposition, meanwhile a highest efficiency of 19.9% was obtained for solar cells with CdS [1,6].

There exist different techniques by means the ZnS films can be prepared, such as molecular beam epitaxy, sputtering, metal-organic chemical vapor deposition, electrodeposition, spray pyrolysis, atomic layer deposition, and chemical bath deposition (CBD) [5].

The chemical bath deposition technique for thin films preparation presents different advantages including simplicity in operation, low cost for equipment and operation, large area of substrate, and low energy consumption.

CBD technique is an attractive technique which includes the possibility of controlling the ZnS films thickness and crystallinity [7]. This process typically involves the decomposition of suitable

precursors in alkaline solutions, such as a chalcogenide source in the presence of a metallic salt. The chemical reaction takes place between the dissolved reactants, generally in aqueous solution, and low temperatures of the bath (typically within the range from 298 to 353 K).

Basically, the process utilizes a controlled chemical reaction to produce deposition by precipitation. Substrates are immersed in a solution containing the chalcogenide source ( $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$ ), the metallic ion ( $\text{ZnCl}_2$ ), a basic solution ( $\text{KOH}$ ) to modify the solution pH, and a complexing agent ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) [8]. The rate of deposition may be controlled by adjusting the temperature of the bath, the pH, the stirring rate and the relative concentration of the reagents within the solution (chalcogenide source, chelating agent and/or metallic ion). The film deposition occurs in solution, the solubility product of the compound (at least in part) maintains the stoichiometry of the deposited material. The controlled physico-chemical factors for successful CBD are the super-saturation of the solution and the kinetics of the growth process. The ZnS thin films deposition are grown normally with poor crystallinity and a further annealing process is required to obtain better properties [9, 10].

In this work, ZnS films were deposited by the CBD technique on glass substrates at 80 °C. With a post-thermal treatment of films from 100 to 300 °C, the physico-chemical properties were studied on their morphology, bandgap energy, crystalline structure, and stoichiometry as a function of the annealing temperature.

## 2. EXPERIMENTAL.

For the experimental part, several chemical baths were used to prepare films on cleaned substrates of Corning glass (3 cm × 1.5 cm, area) in order to produce reproducible, adherent and uniform films manner. Substrates were cleaned according to a established protocol, in which they are washed by steps with aqueous soap, de-ionized water, trichloroethylene, acetone and isopropyl alcohol, followed by de-ionized water in every step for rinsing in an ultrasonic bath and air-drying. After the cleaning process, substrates were immediately introduced into the chemical bath with Teflon holders.

All the chemical baths for the ZnS films preparation were composed by the following chemical reagents: 80 ml of  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (0.85 M), 80 ml of  $\text{ZnCl}_2$  (0.02 M), 80 ml of  $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$  (0.2 M) and 200 ml of  $\text{KOH}$  (0.8 M). For each batch of samples, five substrates were vertically supported by individual substrate holders made of Teflon. A glass vessel was used as container of the chemical solution. The  $\text{KOH}$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  and  $\text{ZnCl}_2$  solutions were poured into the container with the substrates, in the mentioned order. The formed chemical solution with the soaked substrates, was magnetically agitated by a Teflon-coated magnetic stirrer and heated at 80°C with an electrical hot-plate. The temperature of the bath was maintained constant with a home-made controller. Once the work temperature is reached, the  $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$  (thiourea) solution is added to the container, promoting the formation of the ZnS and its deposition on the immersed substrates. The pH value of the chemical bath was measured with a digital pH-meter (Oakton pH700) with compensation of temperature, both at the beginning (when the thiourea is added) and at the end of the deposition (after the samples were removed from the bath). During the ZnS films deposition, the chemical bath container was covered to avoid evaporation losses and changes in concentration. After 120 min of deposition the five samples were retired. After that, the samples were cleaned in an ultrasonic device of in deionized water during 3 min in order to eliminate the residuals on the surface of samples. Afterwards, samples were dried and kept in a sealed-pack for further annealing and characterization. The annealing process of samples was done into a vacuum oven with argon gas flow as inert atmosphere. The annealing temperatures of films were 100, 200, and 300 °C and the annealing times were 0.5, 1.0, 1.5, and 2.0 h.

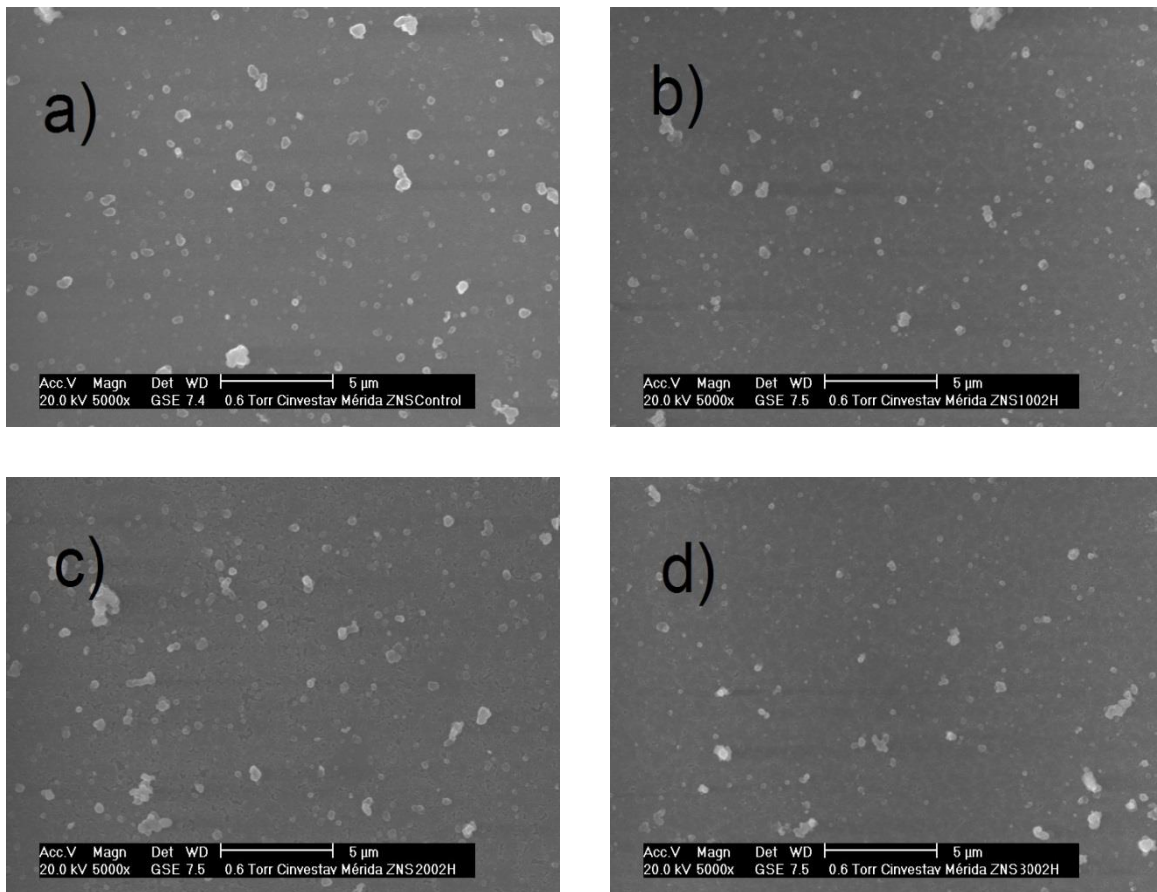
The morphology of the deposited ZnS films before and after the annealing process was investigated by atomic force microscopy (AFM, Ambios Universal,) and scanning electron microscopy (SEM, JEOL- 5700). The bandgap energy was measured with the UV-VIS spectrophotometry technique (Agilent 8453) and the crystalline structure in an x-ray diffractometer (XRD, Siemens D-5000).



### 3. RESULTS.

#### 3.1 Morphology.

The ZnS films present changes of color from whiteness to yellow-pale with the annealing process. Surfaces of the as-deposited ZnS films and analyzed by SEM technique present homogenous, adherent and high transparency. Figure 1 presents the SEM images of the ZnS/glass films treated with different annealing temperatures. The SEM images show smooth surfaces with small grains of material uniformly distributed on them. Non important differences were observed at this magnification. Higher magnified images of the ZnS surfaces were obtained by the AFM technique. Figure 2 presents AFM images for the ZnS films for the same annealing time but different temperatures, from 100 to 300 °C. Small grain size can be observed for minor annealing temperature, but an increase of isolated grains was observed at higher temperatures. In this way, the rms-roughness measured from the AFM images does not present a clear behavior with the annealing temperature. Different plots of the rms-roughness value vs annealing time obtained for the CBD-ZnS surfaces at different annealing temperatures are presented in Fig. 3. Normally, the surface roughness is reduced when the annealing time is reduced, but a different behavior was observed in this work. However, optical and structural properties are also of our interest.



**Figure 1. SEM images of the CBD-ZnS films for different annealing temperatures: a) as-deposited, b) 100 °C, c) 200 °C, and d) 300 °C. Deposition time: 120 min.**

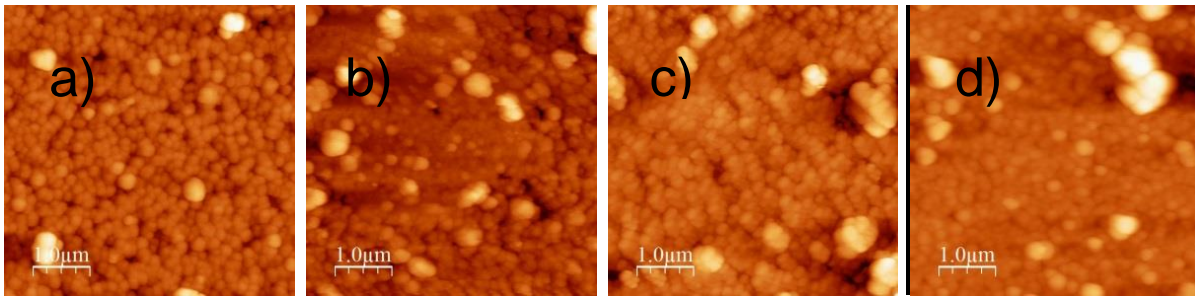


Figure 2. AFM images ( $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ ) of the CBD-ZnS films for the different annealing temperatures: a) as-deposited, b) 100 °C, c) 200 °C, and d) 300 °C. Deposition time: 120 min.

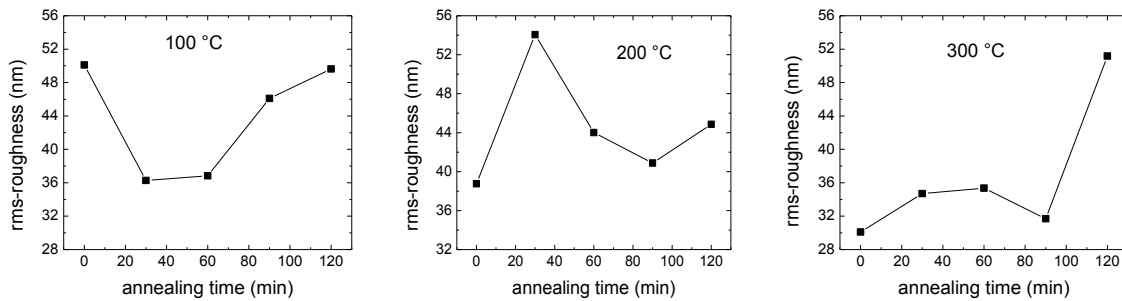
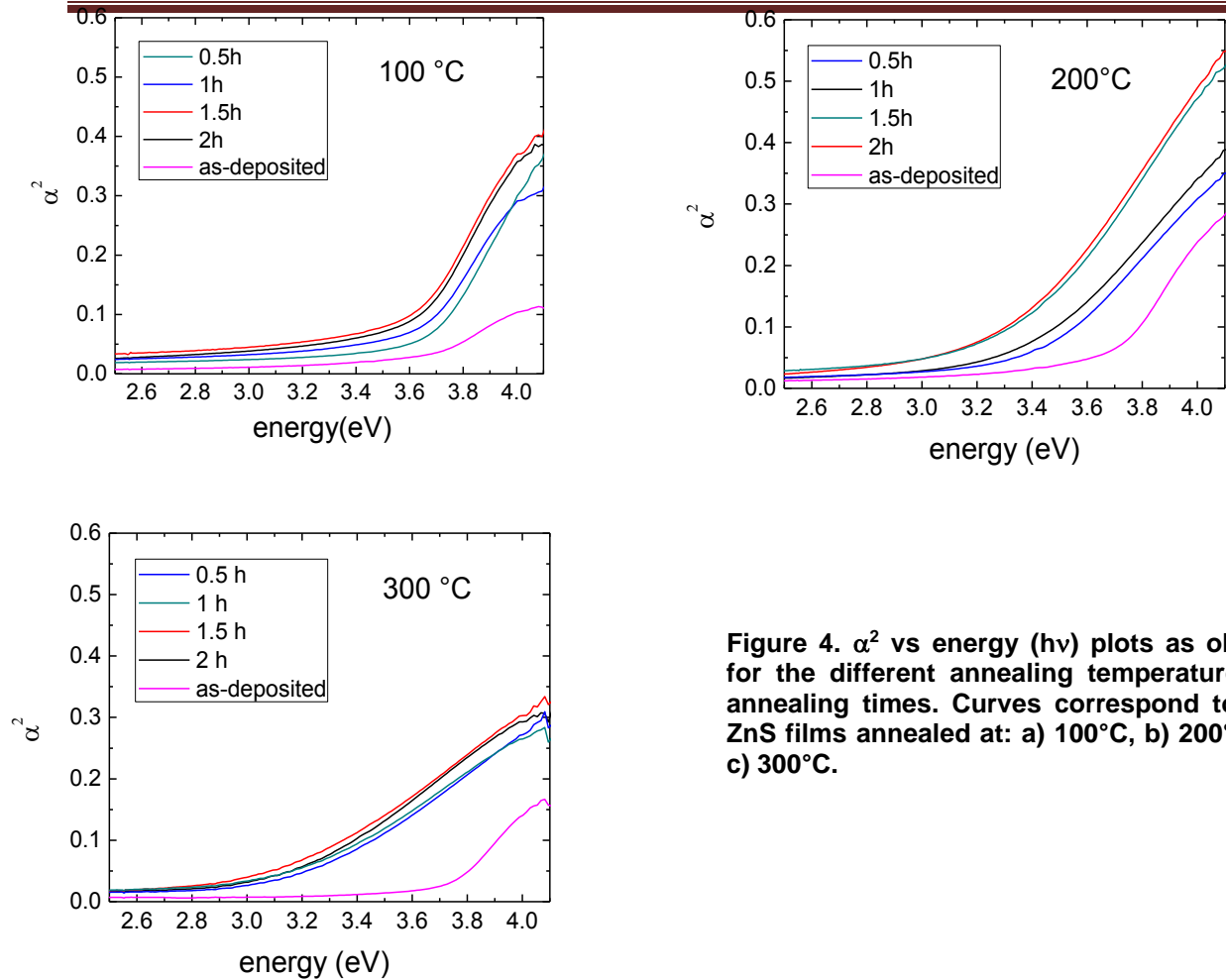


Figure 3. Rms-roughness vs annealing time of the CBD-ZnS films for different annealing temperatures.

### 3.2 The bandgap energy.

The direct bandgap energy ( $E_g$ ) of the deposited CBD-ZnS films can be estimated from the absorption curves obtained in the UV-VIS wavelength range. The ZnS is a semiconductor with direct bandgap energy such that the  $E_g$  value can be estimated from the  $\alpha^2(h\nu) = A^2(h\nu - E_g)$  relation, where  $\alpha$  is the absorption coefficient,  $A$  is a constant,  $h$  is the Planck's constant,  $h\nu$  is the energy of the incident light, and  $\nu$  is the light frequency. By plotting  $\alpha^2$  vs  $h\nu$ , the bandgap energy of the ZnS films can be estimated from the initial absorption edge line when  $\alpha=0$ . The corresponding  $\alpha^2$  vs  $h\nu$  plots for the different annealing temperatures and times are showed in Figure 4. Note that the plots have similar scales for comparison. Higher values in  $\alpha^2$  imply higher film thickness. Additionally, it can be observed that the absorption borders tend to diminish with the increase of the annealing temperature, which can be interpreted as formation of oxides as a result of the high temperature. In this way, the bandgap energy values will tend to diminish with the annealing temperature. The corresponding  $E_g$  values estimated from the plots are reported in Table 1 for the different annealing times and their reported values confirm the previous explanation.



**Figure 4.  $\alpha^2$  vs energy ( $h\nu$ ) plots as obtained for the different annealing temperatures and annealing times. Curves correspond to CBD-ZnS films annealed at: a) 100°C, b) 200°C, and c) 300°C.**

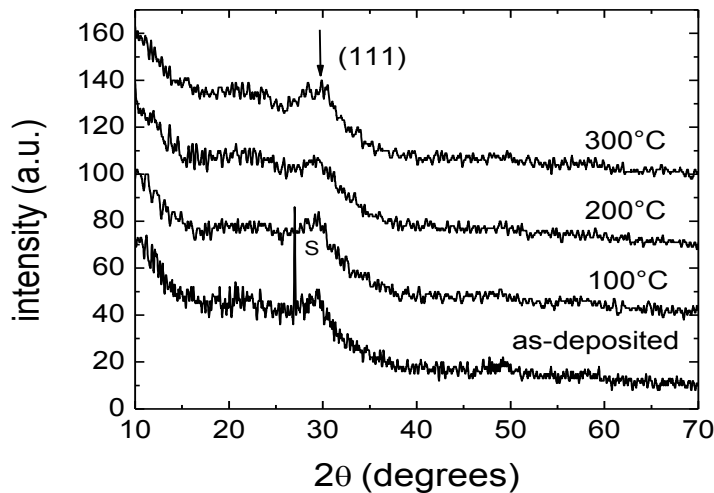
**Table 1. Values of the bandgap energy for the different CBD-ZnS films after an annealing process at different temperatures and times.**

100 °C		200 °C		300 °C	
Annealing temperature	Bandgap energy (eV)	Annealing temperature	Bandgap energy (eV)	Annealing temperature	Bandgap energy (eV)
2 h	3.54	2 h	3.25	2 h	3.12
1.5 h	3.54	1.5 h	3.28	1.5 h	3.17
1 h	3.57	1 h	3.33	1 h	3.07
0.5 h	3.63	0.5 h	3.36	0.5 h	3.10
As-deposited	3.58	As-deposited	3.63	As-deposited	3.70

### 3.3 The crystalline structure.

In order to study the crystalline structure of the deposited ZnS films, four annealed samples corresponding to the as-deposited, 100 °C, 200 °C and 300 °C as annealing temperature and 2 h were analyzed. The corresponding diffractograms are detailed in Figure 5. As can be observed, the as-deposited sample presents a unique peak corresponding for S. After the annealing treatment at different temperatures, the peak of S disappears and almost amorphous films are observed given

the absence of the diffraction peaks. The small peak (111) at  $2\theta=29^\circ$  indicates a cubic crystalline structure of the deposited ZnS films.



**Figure 5. X-ray diffraction results for the CBD-ZnS films for the as deposited sample and for samples annealed at different temperatures. A small peak with (111) orientation in the films was observed after the annealing process.**

#### 4. CONCLUSIONS.

ZnS thin films were prepared by the chemical bath deposition technique at  $80^\circ\text{C}$  on glass substrates. All samples were deposited under similar bath concentrations and deposition times. Groups of five CBD-ZnS films were prepared in each bath in order to further apply an annealing process on each group at different temperatures and times. The surface morphology seems more homogeneous for the ZnS films annealed at  $300^\circ\text{C}$ , according to SEM and AFM images. The bandgap energy ( $E_g$ ) values of the ZnS films show a tendency to decrease while the annealing temperature increases. With the annealing time, the bandgap energy values decreases, from 3.63 to 3.06 eV. Improved optical and morphological properties were obtained on ZnS films at 2 h as annealing time, being the best annealing temperature at  $300^\circ\text{C}$ . All the deposited ZnS films shows a (111) as preferential orientation which correspond to a cubic structure.

**Acknowledgements:** Authors thank the technical help of Daniel Aguilar, J.E. Corona, Wilian Cauich, and Dora Huerta.

#### REFERENCES.

- [1] S. Tec-Yam, R. Rojas, V. Rejon, A.I. Oliva. *Mat. Chem Phys.* **136**, 386, (2012).
- [2] I. J. Gonzalez-Chan, P.E. Martin-Varguez, A.I. Oliva. *J. Electrochem. Soc.* **161**, D181, (2014).
- [3] G. Hodes. *Chemical solution deposition of semiconductors films.* (2002) Marcel Dekker, New York.
- [4] W. Liu, C. Yang, S. Hsieh. *Appl. Surf. Sci.* **264**, 213, (2013).
- [5] H. Abdullah, N. Saadah, S. Shaari. *Appl. Sci. J.* **19**, 1087, (2012).
- [6] A. Pudov, J. Sites, T. Nakada. *Japn. J. Appl. Phys.* **41**, L672, (2002)
- [7] N. Kamoun Allouche, T. Ben Nasr, N. Turki Kamoun, C. Guasch. *Mater. Chem.Phys.* **123**, 620, (2010).
- [8] A. Bayer, D. S. Boyle, P. O'Brien, *J. Mater. Chem.* **12**, 2940, (2002).
- [9] T. Ben Nasr, N- Kamoun, C. Guasch. *Appl. Surf. Sci.* **254**, 5039, (2008).

### 11.3 “ESTABLECIMIENTO DE UNA COMUNICACIÓN ENTRE UN MICROCONTROLADOR Y UN GLUCÓMETRO CONVENCIONAL”.

Erwin Sosa López, José R. Atoche Enseñat, Freddy A. Ix Andrade, José A. Hernández Benítez

Instituto Tecnológico De Mérida

sosalopezewin@gmail.com, jhernand72@yahoo.com.mx, jratoche@gmail.com,  
freddy.ix.andrade@gmail.com

#### RESUMEN.

En este artículo se describe como establecer una comunicación serial entre un microcontrolador Microchip y un glucómetro OneTouch. Se presenta el hardware necesario para la comunicación y la forma de solicitar información al glucómetro, así como el método para interpretar las tramas recibidas.

**Abstract-**This article describes how to establish serial communication between a Microchip microcontroller and OneTouch glucometer. Hardware necessary for communication, how to request information from glucometer and method for decoding the frames are also presented.

#### INTRODUCCIÓN.

De acuerdo a cifras en internet <sup>[1]</sup>, hasta inicios del año 2014 383 millones de personas en el mundo tenían diabetes y para el 2035, el número aumentará hasta 592 millones. Además, el 80 por ciento de las personas con diabetes viven en países de ingresos medios y bajos.

Para evitar que el paciente esté acudiendo al médico de manera consecutiva (que en ocasiones es un gasto que muchas personas no pueden costear) existen glucómetros de fácil uso que permiten al paciente monitorear su salud desde su propia casa.

Casi todos los médicos que diagnostican diabetes, le indican a su paciente comprarse un medidor de glucosa o le brinda uno de forma gratuita <sup>[2]</sup>.

El interpretar los datos leídos del glucómetro puede causar confusión en el paciente ya que son diversos rangos los que debe cuidar dependiendo de la situación en que se tomen las mediciones. Para no dar lugar a malas interpretaciones se han desarrollado dispositivos que permiten detallar al paciente los resultados de su medición y las medidas correctivas a tomar.

Entre los artículos existentes en el mercado que ayudan al paciente a interpretar las lecturas de glucosa están los siguientes:

- **Telcare.-** Este dispositivo mostrado en la figura 1, envía la medición vía wireless y permite llevar un historial de las mediciones anteriores para dar mensajes de motivación al usuario <sup>[3]</sup>.



**Fig. 1.- Dispositivo Telcare**

- **iHealth.-** Este dispositivo es desarrollado por iHealth Lab y se conecta a un iPhone o una iPad por medio de Bluetooth. Como se nota en la figura 2 el dispositivo tiene una pantalla que muestra el resultado de la medición y también funciona con una aplicación gratuita compañera desarrollada por iHealth Lab que muestra las lecturas de glucosa en sangre en 7 días, 14 días, o promedios de 30 días. Los usuarios también pueden utilizar la aplicación para recordarles que deben tomar sus lecturas, gestionar sus registros de medición, programar recordatorios de medicamentos y resultados de pruebas de acciones con los proveedores de atención [4].



**Fig. 2.- iHealth y una muestra de la aplicación para iPhone**

- **Gmate smart.-** Este dispositivo también está diseñado para el iPhone por lo que requiere que se descargue una aplicación para que funcione. Este glucómetro ha sido catalogado como el glucómetro más pequeño del mundo. El medidor utiliza el dispositivo iOS a través de la toma de auriculares, como interfaz para mostrar los resultados y monitorizar las lecturas (ver figura 3). El mismo glucómetro también sería compatible con otros teléfonos inteligentes, siempre y cuando se desarrolle una aplicación adecuada [5].



**Fig. 3.- Dispositivo Gmate Smart conectado a un Iphone.**

En este artículo se presenta la manera de establecer la comunicación entre un glucómetro convencional OneTouch y un microcontrolador, para aplicarlos en proyectos para el monitoreo de glucosa.

**Hardware necesario.**

Para una mayor comprensión del documento se describen los dos elementos que interactúan en la comunicación descrita en este artículo: el microcontrolador y el glucómetro.

- **Glucómetro OneTouch UltraMini.-** Es un glucómetro de bajo costo, moderno, fácil de usar y portátil. Los resultados de una medición están listos en 5 segundos usando una gota mínima de sangre. Cuenta con una pantalla fácil de leer (ver figura 4) y es capaz de almacenar 500 mediciones con fecha y hora. Se eligió este glucómetro ya que es un

glucómetro común (se encuentra en la mayoría de las farmacias) y su uso es muy intuitivo, además nos permite comunicarnos con él vía serial y el fabricante ofrece una documentación especial para desarrolladores [6].



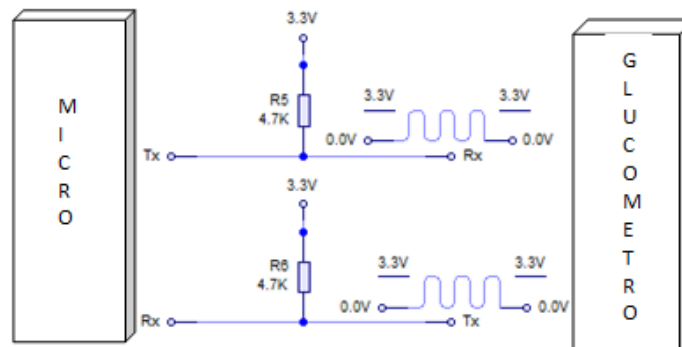
**Fig. 4.- Glucómetro usado en éste artículo (One Touch UltraMini).**

- Microcontrolador PIC 18F66J50.- Este microcontrolador (mostrado en la figura 5) fue elegido principalmente por 2 razones que lo distinguen de otros dispositivos: cuenta con 2 módulos de comparación internos que nos permiten adecuarnos a offsets en la comunicación con dispositivos periféricos y tiene la capacidad de soportar USB dando la ventaja de poder establecer una comunicación con la PC. Entre otras características de este microcontrolador se pueden mencionar: módulos UART, I2C, 5 timers, 8 canales ADC de 10 bits y una velocidad de CPU de hasta 12 MIPS [7].



**Fig. 5.- El microcontrolador empleado fue un PIC 18F66J50.**

Dado que el glucómetro OneTouch cuenta con batería interna, únicamente es necesario conectar las líneas de transmisión con el microcontrolador y tener una referencia común. Es importante aclarar que para que la comunicación funcione de manera correcta es necesario agregar una resistencia de 4.7KΩ en cada línea de la comunicación RS-232 como se aprecia en la figura 6.



**Fig. 6- Hardware para la comunicación serial.**

El glucómetro emplea una comunicación con un offset de 1.6V aproximadamente por lo que es necesario usar un módulo comparador de voltaje para que el microcontrolador lo pueda interpretar. En nuestro caso el microcontrolador incluye un módulo de comparación interno, por lo que no fue necesario hardware adicional.

### Parámetros de la comunicación serial

La comunicación que ofrece el glucómetro como se había mencionado anteriormente es una comunicación RS-232 y los parámetros de dicha comunicación son los siguientes <sup>[8]</sup>:

- Baud rate 9600 bps
- Bits de parada 1
- Control de flujo ninguno
- Bits de datos 8
- Paridad ninguna

Estos parámetros se configuran en el microcontrolador para que se pueda establecer de manera correcta la comunicación.

Es decisión de quien implementa la comunicación serial si se realizará por software o por hardware ya que el microcontrolador soporta ambas configuraciones.

En nuestro caso se implementó una comunicación serial por software ya que sabemos cuando el glucómetro nos va a enviar información y no requerimos hacer uso de una interrupción para recibir los datos. Otra ventaja de la comunicación por software es que no estamos restringidos a unos pines para comunicarnos con el glucómetro ya que cualquier pin que sea I/O puede ser usado para la comunicación serial.

### Solicitud de datos al glucómetro

El microcontrolador será quien inicie la comunicación con el glucómetro, por lo que será su responsabilidad especificar que datos quiere recibir. Existen varias tramas de acuerdo a lo que se quiere que el glucómetro realice, por ejemplo borrar mensajes, obtener lecturas, leer el número de serie del dispositivo, etc. Pero todas las tramas siguen la estructura mostrada en la tabla I.

**Tabla I. Estructura de las tramas del glucómetro <sup>[8]</sup>.**

<b>Start of message indicator</b>	STX
<b>Length Byte</b>	Size of packet
<b>Control Byte</b>	Link control information
<b>Data portion</b>	Application data
<b>End of message indicator</b>	ETX
<b>Check characters</b>	CRClow CRChigh

Para fines demostrativos se solicitó la última lectura que está en el glucómetro haciendo uso de la trama mostrada en la tabla II.



**Tabla II. Trama para solicitar última lectura <sup>[8]</sup>.**

<b>STX</b>	0x02
<b>Len</b>	0x0A
<b>Link</b>	0x03
<b>CM1</b>	0x05
<b>CM2</b>	0x1F
<b>Record 1</b>	0x00, 0x00
<b>ETX</b>	0x03
<b>CRC low</b>	0x4B
<b>CRC high</b>	0x5F

**Interpretación de la respuesta del glucómetro**

Cuando el glucómetro recibe la trama de solicitud, inmediatamente envía una trama de acknowledge la cual se aprecia en la tabla III seguida de la trama con la última medición, mostrada en la tabla IV.

**Tabla III. Trama de acknowledge <sup>[8]</sup>.**

<b>STX</b>	0x02
<b>Len</b>	0x06
<b>Link</b>	0x05
<b>ETX</b>	0x03
<b>CRC low</b>	0x9E
<b>CRC high</b>	0x14

**Tabla IV. Trama con la última lectura <sup>[8]</sup>.**

<b>STX</b>	0x02
<b>Len</b>	0x10
<b>Link</b>	0x01
<b>RM1</b>	0x05
<b>RM2</b>	0x06
<b>DT1</b>	0xAC
<b>DT2</b>	0x86
<b>DT3</b>	0x55
<b>DT4</b>	0x68
<b>GR1</b>	0x4C
<b>GR2</b>	0x00
<b>GR3</b>	0x00
<b>GR4</b>	0x00

ETX	0x03
CRC low	0x86
CRC high	0x0B

Para poder leer la trama enviada del glucómetro al microcontrolador primero se busca el inicio de trama (0X02) y se almacenan los bytes recibidos en el puerto serial hasta encontrar el fin de transmisión (0X03), después del fin de transmisión se reciben dos bytes más que corresponden al CRC. Con la trama obtenida se puede extraer la última lectura y la fecha en que se realizó para posteriormente aplicarlas en los proyectos que lo requieran.

La trama que nos responde el glucómetro con la última lectura se interpreta de la siguiente manera:

1. DT4 a DT1 es la fecha en hexadecimal, en nuestra respuesta de la tabla 4 685586AC = 16:05 20 Junio 2025.
2. GR4 a GR1 es el valor de la glucosa medida también en hexadecimal. En el ejemplo el valor fue 4C = 76 en decimal.

### CONCLUSIONES.

En este artículo se describió como establecer una comunicación serial entre el glucómetro OneTouch UltraMini y el microcontrolador PIC 18F66J50, también se presentó un hardware funcional para ser implementado en un PCB y se analizó la trama que se envía así como la que se recibe. Como resultado de los puntos presentados en este documento se estableció una comunicación exitosa con el glucómetro y se pudo obtener la última lectura para ser procesada en el microcontrolador. Los resultados presentados en este documento pueden ser utilizados para implementarlos en dispositivos electrónicos que ayuden a las personas diabéticas en la interpretación de sus lecturas tomadas y también pueden ser usados para llevar un control más preciso de su historial de niveles de glucosa para presentarlos cuando requieran una valoración médica.

### REFERENCIAS.

1. Vive con diabetes [En línea] <<http://www.vivecondiabetes.com/basicos-de-diabetes/estadisticas>> [Consulta: 10 de abril de 2014]
2. Frequent Blood Sugar Testing is the Key to Active Management [En línea] <[http://www.ehow.com/way\\_5230667\\_many-diabetics-test-blood-sugar\\_.html#ixzz2ySaC0ult](http://www.ehow.com/way_5230667_many-diabetics-test-blood-sugar_.html#ixzz2ySaC0ult)> [Consulta: 10 de abril de 2014]
3. Wireless Glucose Meter. How it Works [En línea] <<http://www.telcare.com/how-it-works/>> [Consulta: 15 de abril de 2014]
4. WIRELESS SMART GLUCO-MONITORING SYSTEM [En línea] <<http://www.ihealthlabs.com/wireless-smart-glucose-monitoring-system-bg5.htm>> [Consulta: 15 de abril de 2014]
5. GMate Blood Glucose Monitoring System [En línea] <<http://www.gmate.com/default.asp>> [Consulta: 15 de abril de 2014]
6. LifeScan Inc. "OneTouch UltraMini. Blood Glucose Monitoring System. User Guide." Julio 2009. Milpitas, CA USA 95035. Pág 1-5.

7. Microchip Technology Inc. *"PIC18F87J50 Family Data Sheet"*. USA 2009. 480 Páginas.
8. LifeScan a Johnson and Johnson Company. *"OneTouch® UltraMini™ / UltraEasy™ Blood Glucose Meter RS-232 Communication Protocol"*. © LifeScan, Inc. 2007. 15 Pág.

## **12. TECNOLOGÍA EDUCATIVA**

### **12.1 “DESARROLLO E IMPLEMENTACION DEL TALLER DE LECTURA EN VOZ EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MÉRIDA”.**

Br. Ocaña López Jesús, Ing. Melo García Jacqueline.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MÉRIDA

[jo152@hotmail.com](mailto:jo152@hotmail.com), [jmelogitm@hotmail.com](mailto:jmelogitm@hotmail.com)

#### **RESUMEN.**

La lectura es una herramienta imprescindible para la formación a lo largo de toda la vida de una persona, repercutiendo en el aprendizaje de todas las áreas y en el desarrollo de las capacidades de comprensión lectora, lo que implicará que sean competentes, reflexivos, críticos y analíticos a cualquier tipo de texto. Cada día resulta más urgente fomentar la lectura y escritura, además de desarrollar destrezas básicas de búsqueda de información y uso de fuentes de información con sentido crítico.

Al llegar a la primaria se alfabetiza al individuo, aprende a leer y escribir, pero eso no desarrolla el hábito de la lectura, es por ello que al llegar al nivel de Educación Superior, debe continuarse el fomento a la lectura, en la que se deben presentar textos más complejos, capaces de desarrollar la reflexión, para así preparar al alumno a leer en el área científica en la que se esté desarrollando.

Se presenta el taller de Fomento a la lectura, la implementación e impacto en las habilidades lectoras de los jóvenes que participaron en el segundo semestre de 2013 en el Centro de Información del Instituto Tecnológico de Mérida, Campus Norte.

#### **ABSTRACT.**

Reading is an essential tool for training throughout the life of a person, implications for learning in all areas and the development of reading comprehension skills, implying that they are competent, reflective, critical and analytical any type of text. Every day it is more urgent to promote reading and writing, and develop basic skills in finding information and using information sources critically.

Upon reaching the primary is the individual literacy, learning to read and write, but that does not develop the habit of reading, which is why to get to the level of higher education, should continue the promotion of reading, in which must present more complex texts capable of developing reflection, thus preparing students to read in the scientific field in which this development.

Workshop to Promote Reading, implementation and impact on the reading skills of young people who participated in the second half of 2013 into Instituto Tecnológico de Mérida Lybrary's, North is presented.

## 1. CARACTERÍSTICAS Y ELEMENTOS FÍSICOS.

Al desarrollar el taller se definieron los siguientes objetivos:

Objetivo general.

Realizar lecturas de temas variados mediante una sesión semanal, donde se observe y corrija el hábito de la lectura de cada estudiante, de manera que se mejore su hábito de lectura con voz, además de mejorar la comprensión. De ser posible, promoverle al hábito de leer por gusto.

Objetivos.

- Desarrollar actitudes positivas en torno a la importancia del fomento de la lectura.
- Propiciar el concepto de la biblioteca como centro de promoción de fomento de la lectura.
- Presentar diferentes materiales, técnicas y estrategias que faciliten la consolidación de hábitos de lectura.
- Integrar y propiciar la búsqueda de información, además del uso de las tecnologías de la información y la comunicación como recurso fundamental en el desarrollo de prácticas lectoras.

Objetivos específicos.

a) Objetivos conceptuales.

- Conocer y realizar prácticas orientadas al fomento de la lectura.
- Distinguir actividades para el uso y dinámica del fomento a la lectura.
- Promover en el alumno el conocimiento de técnicas e instrumentos que ayuden en la evaluación diagnóstica, procedimental y cuantitativa de las prácticas lectoras.
- Utilizar las tecnologías de la información y comunicación como medio para favorecer las prácticas lectoras.

b) Objetivos procedimentales.

- Despertar y aumentar el interés por la lectura en el alumnado.
- Fomentar el desarrollo de la competencia lectora del participante en cada una de las áreas: dicción, comprensión, análisis, habilidad verbal, comunicación y vocabulario.
- Interpretar la biblioteca como un espacio de relación y una alternativa para el fomento de la cultura, por medio de la lectura en los jóvenes y usuarios.

c) Objetivos actitudinales.

- Lograr que los estudiantes descubran la lectura como un elemento de disfrute personal.
- Hacer conciencia de la importancia de la formación lectora y los beneficios que conlleva.
- Valorar la lectura como instrumento de apoyo al aprendizaje.
- Tomar una actitud reflexiva y crítica en la comunidad educativa participativa en el Taller respecto al fomento de la lectura.

El taller se conforma de 2 partes:

1. Taller sesión, con duración de 6 semanas (del lunes 23 de septiembre al lunes 11 de noviembre, del 2013).
2. Trabajo final, inmediato a los talleres sesiones. Los estudiantes cuentan con 2 semanas para leer un libro y redactar una reseña al respecto (se sugirió que realizaran la lectura con más anticipación). El trabajo se limitó hasta el día 15 de noviembre de 2013.

Grupos.

De acuerdo a la disposición de horarios de cada estudiante, se organizaron los grupos correspondientes a lo largo de la semana. Sin embargo se tuvieron muchas complicaciones, donde quedaron 12 estudiantes, de los 84 inscritos, sin grupo asignado. La duración de la sesión es de 2 horas. De lo anterior, los grupos fueron:

Grupo 1	Lunes, de 11:00 a 13:00	Grupo 6	Jueves, de 11:00 a 13:00
Grupo 2	Lunes, de 13:00 a 15:00	Grupo 7	Jueves, de 13:00 a 15:00
Grupo 3	Martes, de 11:00 a 13:00	Grupo 8	Viernes, de 11:00 a 13:00
Grupo 4	Martes, de 13:00 a 15:00	Grupo 9	Viernes, de 11:00 a 13:00
Grupo 5	Miércoles, de 13:00 a 15:00	Grupo 10	Viernes, de 15:00 a 17:00

**Tabla 1. Grupos con horarios correspondientes.**

Con la experiencia dada, es recomendable primero asentar con compromiso los horarios disponibles de cada instructor, acordando ningún cambio ni otros compromisos que puedan perjudicar a los grupos (con excepción de las causas superiores, accidentes, etc.). Luego se deben sugerir grupos, de acuerdo a la disponibilidad de los estudiantes, procurando siempre acomodar un turno matutino y uno vespertino.

Además, por lo observado entre los grupos, para un trabajo más eficiente y productivo es conveniente grupos pequeños de entre 5 y 8 estudiantes. Sin embargo, por los problemas de horario, hubo grupos desde 4 hasta 12 estudiantes.

Sesiones y lecturas.

Se hicieron 6 sesiones en la *Tabla 2* se observan las fechas y la temática utilizada. Además, se enlistan las literaturas seleccionadas.

	<b>Periodo de trabajo.</b>	<b>Temática utilizada.</b>
<b>Sesión 1</b>	23 de septiembre – 27 de septiembre	<u>Cuentos cortos.</u> La Post-revolución, La región más transparente. Pasaje – Carlos Fuentes. Sennin – Ryunosuke Agutagawa. Los deseos ridículos. Pasaje de la historia de Blas y Fanchón – Charles Perrault. El amigo fiel – Oscar Wilde.
<b>Sesión 2</b>	30 de septiembre – 4 de octubre	<u>Cuentos de terror.</u> Nacido de hombre y mujer – Richard Matheson. Rosa de la noche – John Collier. Esa maldita cosa – Ambrose Bierce
<b>Sesión 3</b>	7 de octubre – 11 de octubre	<u>Fragmentos de novelas de historia mexicana.</u> Otoño Azteca – Gary Jennings. El Filibustero – Eligio Ancona. México ante Dios – Francisco Martín Moreno.
<b>Sesión 4</b>	14 de octubre – 18 de octubre	<u>Cuentos de escritores latinoamericanos.</u> El que inventó la pólvora – Carlos Fuentes. Como un ladrón – Mario Benedetti.

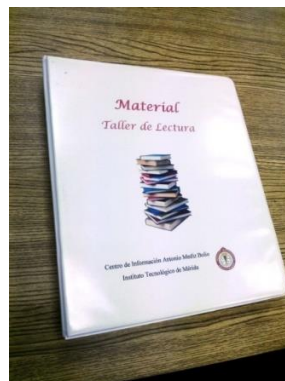
		<p>Historia de cronopios y de famas. Fragmento – Julio Cortázar.</p> <p>El abuelo – Mario Vargas Llosa.</p> <p>El padre Las Casas – José Martí.</p> <p>El ahogado más hermoso del mundo – Gabriel García Márquez.</p> <p>Casa tomada – Julio Cortázar.</p>
<b>Sesión 5</b>	21 de octubre – 25 de octubre	<p><u>Fragmentos de novelas de ciencia ficción.</u></p> <p>1984 – George Orwell.</p> <p>20,000 leguas de viaje submarino – Julio Verne.</p> <p>Yo, Robot – Issac Asimov.</p>
<b>Sesión 6</b>	28 de octubre – 31 de octubre (Grupos del viernes se pospusieron para la siguiente fecha: 8 de noviembre de 2013).	<p><u>Artículos de revistas científicas.</u></p> <p>Ingeniería y biomateriales – revista Ingenierías, 2013.</p> <p>Mártires de la ciencia: la vida por el saber – revista Muy Interesante, 2012</p> <p>Retrato de los asesinos seriales – revista Muy Interesante, 2012</p>

**Tabla 2. Sesiones con fechas y lecturas correspondientes.**

De acuerdo a la experiencia obtenida en semestres anteriores, es preferible variar la temática del contenido de las lecturas. De esta manera, los estudiantes podrán identificar algún género de su agrado o conocer otros que también podrían gustar. Lo anterior ha sido evidente durante los momentos de reflexión y crítica, promoviendo una participación más regular.

El tiempo no siempre es suficiente para leerlas todas (sea por la lentitud de los lectores o la extensión del tiempo de comentarios, entre otros). Sin embargo la variedad de títulos permiten a los instructores y estudiantes seleccionar las que sean de mejor agrado o que llamen la atención.

Se utilizaron carpetas que tienen una portada, identificándolas como material del Taller de Lectura, del Centro de Información Antonio Mediz Bolio del Instituto Tecnológico de Mérida.



**Imagen 1. Fotografía de la carpeta del Material Taller de Lectura.**

Lugares para sesión.

Puede utilizarse cualquier espacio con silencio y suficientes asientos para todas las personas de sesión. Es preferible que todos los estudiantes y el instructor se encuentren sentados en círculo o alrededor de una sola mesa, de manera que puedan verse y puedan comentar las lecturas.

Debido a las diferentes actividades de la Biblioteca, los lugares variaron para el Taller. Procurando laborar en lugares silenciosos y cómodos, los lugares de sesión fueron los siguientes:

- Sala de usos múltiples, Sala de círculo de lectura, Cubículos de Servicios Especializados.

## 2. Descripción .

Control y reporte de las sesiones y forma de calificación de los instructores. La imagen2 muestra el formato utilizado para controlar y reportar las sesiones.

### Reporte de Sesión


Responsable: XXXXXXXXXX

① Grupo: 4

Horario: Miércoles, 13:00 - 15:00

No. de sesión: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_



Instituto Tecnológico de Mérida  
Taller de Lectura

Evaluación de la lectura

Nombre	Volumen	Articulación	Fluidez	Emoción	Repeticiones	Pausas	Recomendadas	Ignora signos de puntuación	Sustituciones	Omitidos	Observaciones
1. <u>XXXXXXXXXX, XXXXX</u>											
2. <u>XXXXXXXXXX, XXXXX</u>											
3. <u>Hernández Negro, Julia C.</u>											
4. <u>XXXXXXXXXX, XXXXX</u>											
5. <u>XXXXXXXXXX, XXXXX</u>											
6. <u>XXXXXXXXXX, XXXXX</u>											
7. <u>XXXXXXXXXX, XXXXX</u>											
*Notas:											

**Imagen 2. Reporte de sesión.**

- Datos generales de la sesión. Incluye:
  - El nombre del instructor responsable del grupo.
  - Número del grupo, que facilita la identificación de entre los demás grupos.
  - Horario, especificando el día y las horas que corresponde sesionar al grupo.
  - Número y fecha de sesión que se reporta.
- Lista de los estudiantes, ordenando alfabéticamente por apellido.
- Evaluación de la lectura, donde se describe y se califica a los estudiantes que leen (por ello es importante que todos participen). La evaluación está dividida en columnas, cada una correspondiendo a lo siguiente:
  - **Volumen**, indicando el volumen de sonido suficiente para ser escuchado. También afecta a qué tan claro lee el estudiante.
  - **Articulación**, se entiende por la facilidad en que puede leerse las palabras. Se calificará como insuficiente cuando el estudiante lea las palabras sílaba por sílaba.
  - **Fluidez**, que es la velocidad constante, o ritmo, con la que puede leer la oración. Sin embargo debe calificarse como una lectura mala cuando el estudiante varía la velocidad de lectura, algunas veces leyendo muy rápido y en otros casos muy lento (usualmente acudiendo a la mala articulación) o cuando varía entre las velocidades.



- **Entonación**, que es el tono en el que los estudiantes leen las oraciones interrogativas, exclamativas y, en algunos casos, la tonada para leer los diálogos de personajes que demuestran alguna emoción.
- **Repeticiones**, se entiende cuando el alumno repite las palabras y/o frases ya leídas (algunas veces demostrando inseguridad).
- **Pausas incontroladas**, a diferencia de la poca fluidez, se calificará como 'pausas incontroladas' cuando el estudiante pierda el hilo de la lectura en la mitad de una palabra, la oración, o cuando pierda el renglón que debe leer (o confundirlo con uno leído o uno por leerse).
- **Ignora signos de puntuación**, donde se califica si el estudiante respeta o no las puntuaciones de comas y puntos (se asocia con la Fluidez).
- **Sustituciones**, cuando el estudiante lee y cambia o interpreta las palabras escritas por otras que no son. Por ejemplo, que el texto diga "Es muy fácil proclamar ideales revolucionarios", y se sustituya por "Es muy fácil reclamar ideales revolucionarios", ó "Es muy fácil proclamar ideas revolucionarias".
- **Omisiones**, similar a las sustituciones, ocurre cuando el estudiante no lee algunas palabras. Por ejemplo, que el texto diga "La voz de la telepantalla seguía murmurando datos sobre el hierro y el cumplimiento del noveno Plan Trienal", y se sustituya por "La voz de la telepantalla seguía murmurando datos sobre hierro y cumplimiento del noveno Plan Trienal".

Estos puntos se calificarán numéricamente con una escala del 5 al 1, donde 5 es 'excelente' y 1 es 'muy malo'. Es importante que cada grupo tenga un único instructor, para que pueda hacerse un seguimiento con un sólo criterio del desempeño a lo largo del Taller. La calificación se coloca según la columna a calificar con el respectivo renglón del nombre de quien lee.

4. Observaciones (de los estudiantes). En algunos casos si se hace una observación al estudiante, o si se quiere o debe reportar algún incidente, se escribe brevemente. Puede ser algún comentario respecto a un problema de lectura, alguna falta de conducta o un comportamiento positivo y/o importante. Este espacio debe ser de importancia, pues es un registro de cualquier suceso.
5. Notas. Los instructores que desean dejar una observación o nota de manera general sobre el grupo deben utilizar este recuadro (o usar la página posterior si no hay espacio suficiente). Las notas pueden ser respecto al desempeño del grupo, algún trabajo/tarea pedido, si existen faltas y se explique la razón, etc.

Trabajo final: reseña de una lectura. Rúbrica de evaluación.

Los estudiantes realizaron una lectura de su gusto. Las únicas excepciones fueron:

- Lecturas de contenido técnico para fines académicos (aunque se permiten artículos científicos).
- Cuentos cortos (a excepción que sea un libro compendio de varios cuentos, aunque incluya alguno leído en el taller).

El trabajo final se anticipó desde el inicio del taller. El formato de la reseña fue entregado en la última sesión de cada grupo, explicando los puntos que la reseña debe contener y la manera que se evaluará. Se les dio 2 semanas de trabajo, limitando el periodo de entrega el día viernes 15 de noviembre de 2013.

#### **Calificación.**

Para obtener una calificación aprobatoria se requieren un mínimo de 70 puntos, de los 100 posibles, y no haber tenido inasistencias durante el curso. En caso de haber tenido faltas a las sesiones, se dio al alumno la oportunidad de asistir a otra sesión de la semana correspondiente a la falta (de manera que no perdiera las horas de lectura).

La ortografía deberá ser exigente, debido a que la escritura es indispensable para este taller. Respecto a la cantidad de faltas ortográficas, fue criterio del instructor evaluador, puesto que la variedad de temas, la extensión de la reseña, inclusive el vocabulario (sea científico, de lengua extranjera, etc.), afectan a la redacción. Por ejemplo, no es posible sancionar de la misma manera un trabajo de 15 páginas con 5 errores ortográficos, contra un trabajo de 5 páginas con la misma cantidad de errores. No hay que olvidar que se tratan de estudiantes de nivel superior, por lo tanto, como se dijo, se exigió mucha calidad ortográfica.

De los *criterios a calificar* son cinco posibles: Excelente, Muy bien, Bien, Regular y Deficiente. Los criterios ayudarán a determinar los puntos para la calificación (que se explica más adelante). Se debe calificar dependiendo de la importancia del concepto. Dichos conceptos son los siguientes:

- **Coherencia.** Es el contexto que permite que las ideas secundarias aporten información relevante para llegar a la idea principal o tema, de forma que el lector pueda encontrar el significado global del texto.
- **Análisis.** La forma del texto debe ser congruente con la intención comunicativa del autor. Al analizar es necesario tomar en cuenta que el texto (del tipo que sea) es una unidad de significado para la comunicación, en la que forma una estructura (por ejemplo: inicio, desarrollo, desenlace) y fondo (contenido), que deben estar relacionados. Si son congruentes y se corresponden entre sí para dar sentido al discurso, el análisis es correcto.
- **Síntesis.** Después de un previo análisis de la obra estudiada, la síntesis permite al estudiante sacar las ideas principales del texto, resumiendo de manera que el libro se pueda entender en pocas páginas, incluso pocas palabras.
- **Crítica.** Éstos son las opiniones o juicios a los que el lector llega, sea buena o mala. El instructor debe evaluar la crítica con mayor delicadeza, puesto que es la esencia de la verdadera opinión del estudiante hacia el libro y/o autor. Para comprender la crítica, es importante que se tenga claro el análisis y la síntesis.
- **Formato.** Se define a partir del modo en que se presenta la información al lector, éstas pueden ser de dos formas: texto continuo, el cual es formado sólo de oraciones que conforme avanzan dan forma al contexto; o texto discontinuo, que también realiza un análisis por medio de imágenes y gráficos que se acomodan entre las oraciones.
- **Autor.** Dentro de la reseña es importante destacar al autor, cual sea la manera (opinión buena o mala, expectativas, menciones, etc.). Básicamente se pide una biografía intelectual. Una biografía intelectual es aquella que no narra la vida del autor (como monografía), sino que describe los aspectos más importantes que lo hayan motivado a escribir lo que se leyó. Por ejemplo, experiencias de vida, opiniones del escritor, época y entorno que influyó, etc., que hayan dado razón a lo escrito.
- **Conclusión.** Son las ideas a las que se llega después de haber leído un libro, artículo, etc. Debe explicarse lo aprendido de la lectura, algunas opiniones para cerrar el texto o una crítica que motive a leerlo o no leerlo, según el gusto y criterio del estudiante.

#### **Criterios de evaluación.**

Como se dijo, los criterios son cinco posibles: Excelente, Muy bien, Bien, Regular y Deficiente. Cada instructor tenía seguimiento del grupo, con el que pudo determinar las capacidades y expectativas de los estudiantes. Esta escala ayudará a transformar la opinión de la reseña en una escala cuantitativa. De este seguimiento, el trabajo de cada estudiante se compara con los conceptos de evaluación; cada uno tiene diferentes valores, cuya suma da un total de 100 puntos.

**Tabla 3. Conceptos con valores de calificación para la Reseña (trabajo final).**

Concepto	Valor Total	Criterio	Concepto	Valor Total	Criterio
Coherencia	10 pts.	Excelente – 10 pts. Muy bien – 8 pts. Bien – 6 pts. Regular – 4 pts. Deficiente – 2 pts.	Análisis	20 pts.	Excelente – 20 pts. Muy bien – 18 pts. Bien – 12 pts. Regular – 8 pts. Deficiente – 4 pts.
Síntesis	10 pts.	Excelente – 10 pts. Muy bien – 8 pts. Bien – 6 pts. Regular – 4 pts. Deficiente – 2 pts.	Crítica	20 pts.	Excelente – 20 pts. Muy bien – 18 pts. Bien – 12 pts. Regular – 8 pts. Deficiente – 4 pts.
Formato	10 pts.	Excelente – 10 pts. Muy bien – 8 pts. Bien – 6 pts. Regular – 4 pts. Deficiente – 2 pts.	Autor	10 pts.	Excelente – 10 pts. Muy bien – 8 pts. Bien – 6 pts. Regular – 4 pts. Deficiente – 2 pts.
Conclusión	20 pts.	Excelente – 20 pts. Muy bien – 18 pts. Bien – 12 pts. Regular – 8 pts. Deficiente – 4 pts.	TOTAL 100 pts		

**Resultados.**

Control de instructores.

De acuerdo a los reportes de sesión, los instructores evaluaron las lecturas de sus grupos correspondientes asignando valores del 1 al 5 (como se explicó, la escala inicia desde 1, 'muy malo', hasta 5, 'excelente').

Las puntuaciones para cada criterio (Ver *Control y reporte de las sesiones y forma de calificación de los instructores*) son las siguientes:

- Excelente – 5 pts.
- Muy bien – 4 pts.
- Bien – 3 pts.
- Regular – 2 pts.
- Deficiente – 1 pts.

La máxima puntuación alcanzada son 45 puntos, mientras que la menor son 9 puntos. Haciendo un análisis de las evaluaciones de las sesiones se puede tener una estimación para calificar los desempeños de los lectores:

- Excelente – 40 pts o más.
- Muy bien – 35 a 39 pts.
- Bien – 30 a 34 pts.
- Regular – 25 a 29 pts.
- Deficiente – 25 pts o menos.

Lo anterior fue acordado entre instructores y pedagogos, haciendo varias observaciones de los criterios de acuerdo a la tabla de resultados de las 6 sesiones.

Matriz de resultados generales.

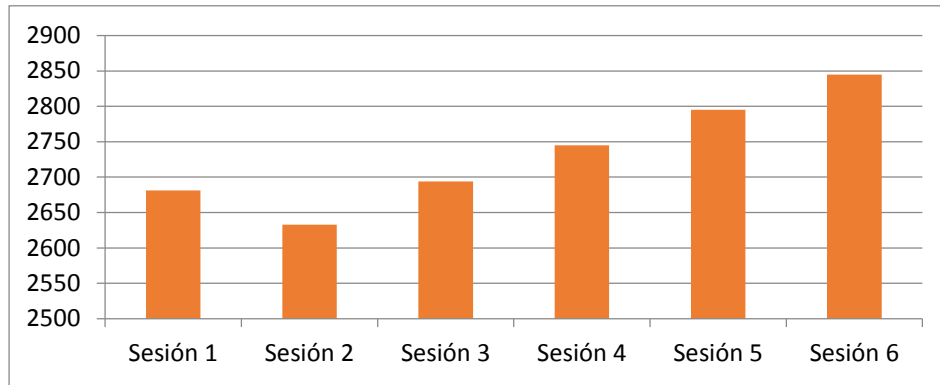
La siguiente tabla compara de resultados generales de todos los estudiantes (menos puntuación implicó menor desempeño). Se evaluaron 74 estudiantes e diferentes carreras de la Institución.

	Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3	Sesión 4	Sesión 5	Sesión 6	SUMA
Volumen	310	322	317	312	310	323	1894
Articulación	305	301	306	308	316	316	1852
Fluidez	300	293	302	307	319	314	1835
Entonación	293	288	296	310	313	312	1812
Repeticiones	288	293	286	297	302	309	1775
Pausas incontroladas	295	277	293	297	309	319	1790
Ignora signos de puntuación	298	293	299	308	314	318	1830
Sustituciones	298	276	293	300	304	316	1787
Omisiones	294	290	302	306	308	318	1818
SUMA	2681	2633	2694	2745	2795	2845	

**Tabla 5. Matriz de resultados generales.**

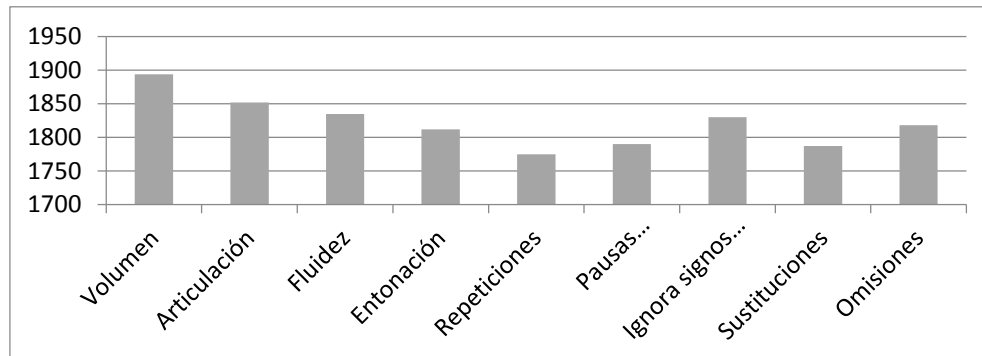
Todos los valores de los criterios de evaluación de la lectura con voz se sumaron entre todos los estudiantes, durante las diferentes sesiones (que pueden observarse en los reportes). Por ejemplo, durante la Sesión 2, en *Articulación*, los estudiantes obtuvieron 301 puntos.

Con el gráfico, se pueden observar notablemente un incremento en el desempeño de la buena lectura en voz.



**Gráfica 1. Gráfico comparando la Matriz de resultados generales.**

De acuerdo a las observaciones de los instructores y a la pedagogía realizada, se destacó a la Sesión 1 como “sesión piloto”, puesto que los estudiantes y sus instructores no tenían relación ni trato y existen factores que afectan los resultados. Se asumió que tanto como los estudiantes y los instructores, no realizaron un acople para obtener una calificación *real* en los reportes. Por lo que se concluyó que a partir de la Sesión 2 se tienen los resultados reales. En la *Gráfica 2* se comparan los 9 criterios de evaluación, notando las fortalezas y debilidades de los estudiantes al realizar las lecturas.



**Gráfica 2. Comparación de los nueve criterios de evaluación en la lectura con voz.**

De acuerdo a la *Gráfica 2*, las características de lectura de manera general son:

Fortalezas

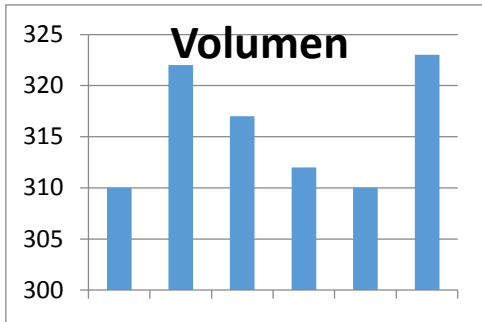
- Volumen
- Articulación
- Fluidez

Debilidades

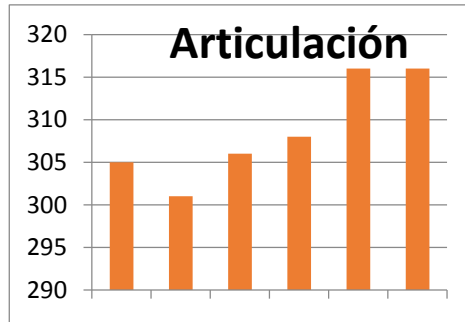
- Repeticiones
- Sustituciones
- Pausas incontroladas

En las gráficas 3, 4, 5, 6,7,8,9,10 y11 se observan los resultados de desempeño en cada criterio evaluado. Es importante aclarar y recordar que cada sesión trató con diferentes temas y contenidos, variando el grado de dificultad y complicación de lectura en cada estudiante. Sin

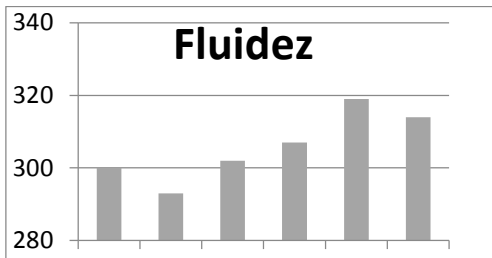
embargo, conforme se realizaban las lecturas hubo mejoras significativas. Las sesiones (de 1 a 6, barras de izquierda a derecha) se detallan a continuación.



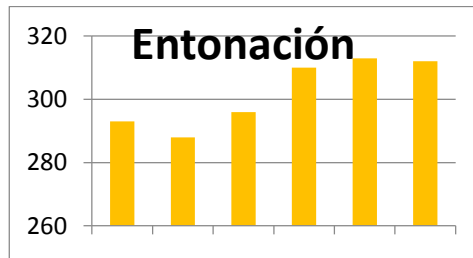
**Gráfica 3. Resultados de 'Volumen'.**



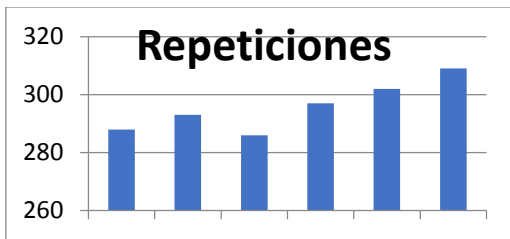
**Gráfica 4. Resultados de 'Articulación'.**



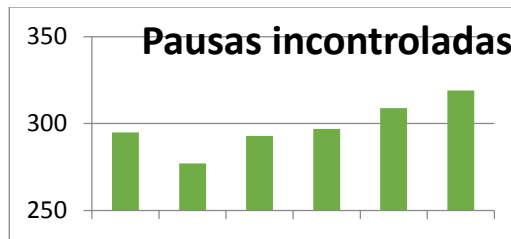
**Gráfica 5. Resultados de 'Fluidez'.**



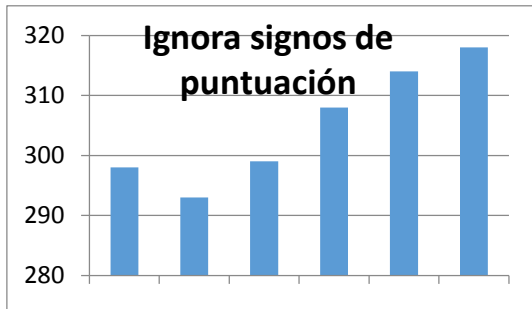
**Gráfica 6. Resultados de 'Entonación'.**



**Gráfica 7. Resultados de 'Repeticiones'.**



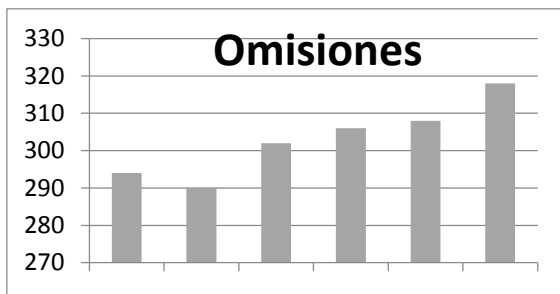
**Gráfica 8. Resultados de 'Pausas incontroladas'.**



**Gráfica 9. Resultados de 'Ignora signos De puntuación'.**



**Gráfica 10. Resultados de 'Sustituciones'.**



**Gráfica 11. Resultados de 'Omisiones'.**

Según los resultados obtenidos en las sesiones, se hizo un análisis para obtener la mejora (en porcentaje). Dicha mejora se hizo comparando la Sesión 2 con la Sesión 6. De esta manera se observa de manera general si existió una mejora en el Taller, por ende los participantes presentaron mejoras significativas en todos los rubros, mejorando su capacidad de reflexión, análisis de manera individual. Además cabe mencionar que 8 alumnos solicitaron convertirse en facilitadores para el siguiente semestre, lo cual permitirá atender a mayor número de alumnos.

<b>Criterios evaluación</b>	<b>de Mejora (%)</b>
Volumen	0.3
Articulación	4.7
Fluidez	6.7
Entonación	7.7
Repeticiones	5.2
Pausas incontroladas	13.2
Ignora signos de puntuación	7.9

---

Sustituciones	12.7
Omisiones	8.8
<b>GENERAL</b>	<b>7.5</b>

*Tabla 6. Mejoría de los criterios de evaluación.*

**REFERENCIAS.**

- (1) ARENZANA, Ana y Aureliano García, Espacios de lectura: estrategias metodológicas para la formación de lectores. México : FONCA, 1995. 175 p. “El llano sigue en llamas” en *Expansión*. (Sep.) México :Expansión, 1996. 152 p.
- (2) FERNÁNDEZ SANTILLÁN, Nancy Ileana y otros. *Análisis estadístico : Saber leer, factor determinante en el rendimiento académico*. [en línea] .La Laguna, Coahuila : Los autores, 2002. Disponible en Internet en <http://www.ciadet.edu.mx>.
- (3) INEGI. *Estadísticas sociodemográficas*. [en línea]. México : INEGI, 2002. Disponible en Internet en:<http://www.inegi.gob.mx/estadística>.
- (4) “Hay 6 millones de analfabetas en México : Fox.” En *Novedades México* (Ago. 30) [en línea]. México Novedades, 2002. Disponible en Internet en<http://www.novedades.com.mx>



## 13. TELECOMUNICACIONES.

### 13.1 Análisis descriptivo y funcional de las unidades básicas involucradas en un terminal óptico aplicado en una red de transmisión de datos.

José Gabriel Réding Domínguez, José Alonso Pérez Cruz, Benjamín Tass Herrera, Jorge Vázquez Torres.

Universidad Autónoma del Carmen

Calle 56 No. 4 esquina con avenida Concordia, C.P. 24180. Ciudad del Carmen, Campeche. México.

Teléfono (938) 381 10 18 extensión 1506

Instituto Tecnológico del Sur de Yucatán

Carretera Muna-Felipe Carrillo Puerto, tramo Oxkutzcab-Akil Km. 41 + 400 C.P. 97880, Yucatán, México.

*reding70@yahoo.com.mx, japerez@pampano.unacar.mx, btass@pampano.unacar.mx, vazquez\_70@yahoo.com.mx*

#### 1. INTRODUCCIÓN.

La capacidad técnica de los equipos de transmisión de línea óptica provee, comúnmente, de hasta dos *Terminales de Línea*, los cuales pueden alcanzar velocidades comerciales de 140Mbps para un sistema de enlace en comunicaciones por filamento óptico.

Los llamados *Terminales de Línea* efectúan la codificación y la conversión eléctrica-óptica de las señales que el multiplexor provee del extremo receptor; desde el lado del transmisor, en el extremo remoto, realiza la operación contraria decodificando las señales complejas mux recibidas desde la línea base.

Los equipos terminales proveen la interfaz requerida en el ámbito electrónico para realizar la conversión eléctrico-óptica necesaria para realizar el envío de datos empleando fibra óptica y su correspondiente señalización desde el lado origen, siguiendo un esquema drop-insert en cada instancia o nodo de la red analizada.

Fundamental e inicialmente, el *Equipo Terminal de Línea* (OLTE: Equipo Terminal de Línea Óptica) posee un módulo o unidad detectora de errores, cuyo objetivo es la gestión de las fallas generadas entre el enlace del equipo Terminal de Línea y el repetidor intermedio, ésta unidad posee la característica de disparo de mensajes audibles, visuales o vía red alterna del error para solicitar la atención inmediata del enlace. Para realizar su función, dicho módulo es conectado a una unidad de localización de fallas, lo que permite al operador técnico humano desarrollar estrategias para la supresión del error, buscando reducir los tiempos de impacto de las caídas de la red [1].

La unidad detectora de errores está, generalmente, provista con una interface de enlace telefónico para facilitar las comunicaciones entre los equipos o nodos fallidos de la red en cuestión.

Cabe indicar que la unidad detectora de errores es una unidad funcional única que supervisa ambas direcciones del enlace óptico, por lo que se asume que los módulos del equipo terminal son diseñados para atender la etapa de transmisión, de recepción y de suministro eléctrico.

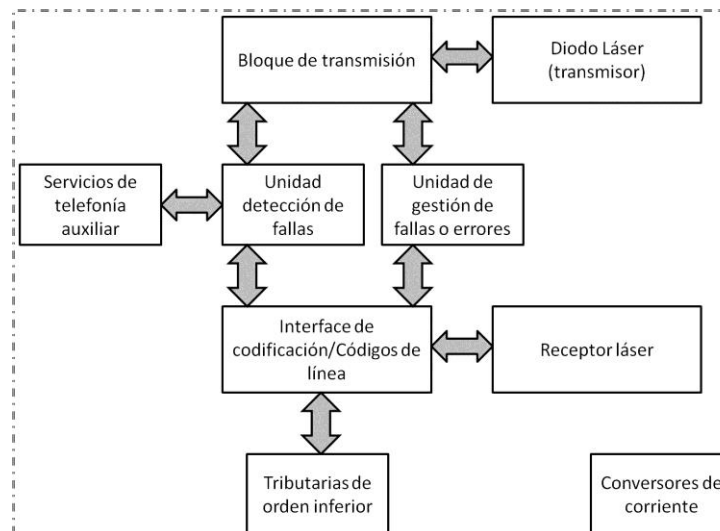
Los diseños modulares actuales de los *Terminales de Línea Óptica* (OLTE) incluyen secciones funcionales como:

1. Unidad de transmisión, por ejemplo, de 140 Mbps.
2. Unidad de recepción, por ejemplo de 140 Mbps.
3. Unidad de gestión de fallas o errores.
4. Convertidores de corriente, comúnmente de CD.
5. Unidad detectora de fallas.

Cada una de las secciones listadas serán analizadas en los párrafos posteriores, pretendiéndose dar a conocer de manera generalizada el objetivo de cada apartado dentro de un OLTE (Equipo Terminal de Línea Óptica).

Hacemos mención que como una buena práctica en el diseño original, los *Equipos Terminales de Línea Óptica* poseen unidades redundantes de conversión eléctrica (listado como el punto 4 de la relación anterior), lo que coadyuba a lograr una alta disponibilidad de los enlaces de comunicaciones vía fibra [2].

Al poseer, el terminal óptico, una unidad de transmisión y otra de recepción, se tiene la posibilidad de generar simultáneamente dos vías de comunicación sobre el path óptico principal, lo que se lleva a cabo empleando los diversos modos con que cuenta una fibra multimodo (altamente empleadas en la industria de las telecomunicaciones). La posibilidad del uso de vías ópticas dobles lo genera la inversión del código empleado en una dirección del tráfico, además de poseer la capacidad técnica del lado receptor para discernir entre señales normales e invertidas.



**Figura 1. Diagrama funcional a bloques de un terminal óptico.**

## **2. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LAS UNIDADES BÁSICAS DE UN OLTE.**

Convencionalmente y por especificaciones de diseño para sistemas de transmisión de datos en altas velocidades, se requiere una fuente redundante de energía, por lo que aquellos bastidores que soportan a los equipos funcionales OLTE contemplan dos fuentes de corriente, además de la infraestructura tradicional del banco de baterías y una planta generadora de corriente ubicados ambos en el edificio del nodo de telecomunicaciones correspondiente. Los esquemas de respaldo eléctrico anteriormente mencionados entrarán en funcionamiento cuando el suministro de la línea habitual comercial se vea interrumpido por alguna contingencia.

En otro bloque funcional, conocido tarjeta o etapa transmisora, la señal compleja bajo el esquema codificado CMI (Inversión de Marcas Codificadas) es regenerada, proceso que compensa pérdidas de hasta 12dB en señales con una frecuencia de 70MHz. Todo el bloque funcional dará en consecuencia una señal con características NRZ o no retorno a cero con un 100% del uso en el tiempo de bit, es decir, antes de proceder a una etapa de regeneración, amplificación y extracción de sincronía, el tren de pulsos deberá ser unipolar al ciento por ciento del tiempo de bit, proceso que facilita, electrónicamente, la regeneración del mismo.

La señal reconstruida y codificada a NRZ se convierte en un tren de aproximadamente 178 Mbaudios, aplicado a los terminales ópticos de 140Mbps, lo que permite al diodo láser actuar como un transductor eléctrico-óptico generando una señal de salida que es enviada a través del filamento y en la trayectoria del anillo o ruta de datos respectiva.

Este bloque funcional (Transmisión o Tx) posee la característica primaria de analizar y estabilizar la temperatura del láser a través de sensores y disipadores de calor, acción que permite a la etapa de transducción (eléctrica-óptica) contar con una eficiencia en el desempeño del láser duradera, cabe hacer mención que el sistema cuenta con sensores de monitoreo de degradación del diodo, activando la alerta respectiva en caso de violentar los límites normativos permisibles para su alta disponibilidad.

De manera lógica y conceptual, se podría generar en el bloque funcional de transmisión, una señal indicadora de alarma, conocida como AIS en el argot de las telecomunicaciones.

En la unidad receptora del equipo Terminal de Línea u OLTE, la señal de entrada es convertida en una señal eléctrica de aproximadamente 178 Mbaudios, misma que será amplificada, filtrada y remasterizada hasta obtener una señal regenerada con 178MHz de frecuencia en su temporización básica, lo cual se obtiene en equipos terminales ópticos de cuarto orden instalados en México (norma Europea).

En caso de ser necesario, se emplea un AGC o Controlador de Ganancia Automático para compensar las pérdidas o variaciones ópticas que se tienen por la actividad inusual provocada por el fenómeno de la atenuación óptica (tipificados como pérdidas de Fresnel y Rayleigh, entre otros), degradación de diodo láser, etc.

En el bloque receptor se lleva a cabo la decodificación de la señal mux óptica compleja, obteniéndose un tren CMI donde los canales extraídos son entregados al módulo o interface DCH (Canales de Datos), además las señales de localización de errores en el extremo receptor son canalizadas a través del módulo Detector de Fallas, bloque donde se lleva a cabo el análisis lógico de actuación del sistema para anunciar las alarmas respectivas.

El bloque funcional de las alarmas, que en el caso de los terminales ópticos es una etapa imprescindible, muestra las condiciones habituales de los parámetros del enlace, además de monitorear y controlar la inyección de la señal indicadora de alarma o una señal compuesta por 512 pulsos de estado lógico alto conocida con el nombre de AIS (Señal Indicadora de Alarma).

Una etapa de análisis del bloque en cuestión, provee de las condiciones lógicas de disparo para las indicaciones audibles o visibles del bastidor conocidas como urgentes, no urgentes y de recordatorio o latentes. El diseño funcional debe contemplar que al activarse la latencia o recordatorio de un fallo, la mayoría de los casos de alarma y sus manifestaciones serán suprimidas; ésta peculiaridad depende totalmente de las características propias del error y de la programación que se realice al OLTE.

En algunos sistemas de monitoreo del terminal óptico se controlan las indicaciones visuales y audibles del bastidor en cuestión, empleando pines (*straps*) o códigos programables en el microprocesador de la unidad de gestión de fallos.

### **2.1 Unidades de suministro de voltaje.**

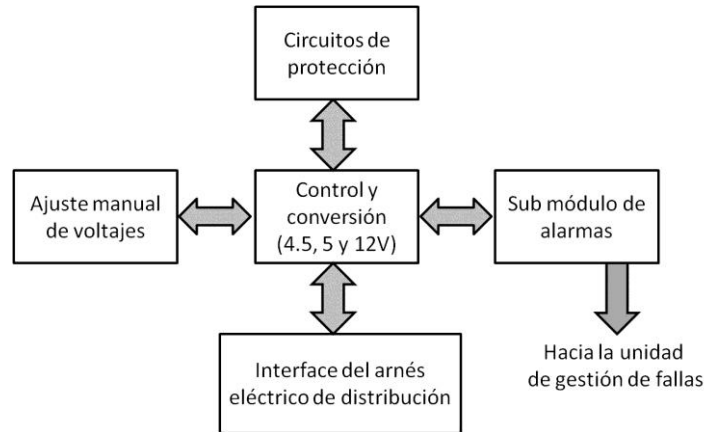
Como se ha mencionado en párrafos anteriores, el Terminal Óptico posee al menos una unidad de suministro de voltaje, pero en la mayoría de los casos se tiene una redundancia lógica. Por convención electrónica, las fuentes proveen al resto de los bloques, voltajes que oscilan entre 4.5, 5 y 12 volts de corriente directa. Los diseños de alta confiabilidad poseen puntos terminales de monitoreo por desgaste y medición de los voltajes entregados, por lo tanto ubican una interface de ajuste que posibilita al técnico a realizar una supervisión oportuna y corregir las desviaciones ocasionadas por desgaste prematuro de los dispositivos electrónicos involucrados en la unidad convertidora y/o en la fuente redundante.

La sección de control de la unidad de suministro, funciona aplicando los principios de un sistema cerrado con realimentación positiva manejando la frecuencia operacional del amplificador presente en la fuente de poder. La etapa de control provee la señalización eléctrica que habilita, mediante un transistor de conmutación, la transferencia de energía respectiva hacia el lado secundario del transformador principal, lo que proveerá de los niveles de voltaje requeridos por el bastidor hacia el resto de los módulos del OLTE.

En la etapa de conversión es muy común detectar un subsistema de censado, que permite comparar los voltajes de salida y realizar los ajustes respectivos; en forma electrónica dicho ajuste se realiza con un diodo zener (aprovechando los niveles de corte del elemento).

El sub módulo de *ajustes por variaciones* provee dispositivos de regulación (potenciómetros o pot), lo que permite la calibración técnica de los niveles de voltaje requeridos, además de integrar elementos visuales para el monitoreo y la calibración respectiva (visualizador o display). En el caso de los circuitos protectores, técnicamente se acostumbra instalar fusibles de ignición lenta, lo que da en consecuencia una alta disponibilidad del módulo de suministro de voltaje. El inconveniente de éste tipo de fusibles protectores, es la poca comercialización que se tiene, debiendo recurrir a la sustitución por fusibles de listón y de uso común.

El arnés de distribución eléctrica está conformado, básicamente por las rutas, puntos de interconexión y paneles de enrutamiento de los diversos niveles de voltaje requeridos para el rack o bastidor del OLTE, en consecuencia el arnés alimentará a todos los módulos respectivos (ver figura 1 línea punteada).



**Figura 3. Diagrama a bloques de la unidad de conversión eléctrica**

Por otro lado, la sección de alarmas está controlada por un relevador (lógicamente diseñado) que se activa en caso de presentarse un sobre voltaje, descargando a tierra los picos transitorios dañinos para el equipo. Debido a la posibilidad de sobre voltajes en el suministro eléctrico, se sugiere la instalación de un arreglo de tierras físicas independientes (tipo malla o delta) que no compartan ningún nodo con el cableado eléctrico convencional, lo anterior amplía la posibilidad de una alta permanencia en el enlace de datos, desde la arista técnica del suministro [3] [4].

Si llegase a presentarse un sobre voltaje que exponga al sistema a un daño parcial o total, el convertidor se desactiva y una alarma se manifiesta en el módulo respectivo. Lo anterior despliega una indicación de tiempo limitado para poder suprimir la falla o reemplazar la fuente causante del daño. La pertinencia de la conmutación de fuentes redundantes de suministro es de índole automático o manual, dependiendo del daño y de la configuración del sistema de monitoreo en el OLTE (Equipo Terminal de Línea Óptica).

Fundamentalmente, las unidades de suministro voltaico poseen las siguientes secciones:

- a) Sección de control y conversión.
- b) Sub módulo de ajuste manual de voltajes (desviaciones).
- c) Circuitos de protección (fusibles de ignición lenta).
- d) Sub módulo de alarmas.

### **2.2 Unidad de detección de fallas.**

El módulo conocido como unidad de detección de fallas provee de la interface requerida entre el sistema de localización de fallas y las señales de línea digital, es decir, actúa como un sistema sensor capaz de interpretar los códigos provenientes del enlace y como un generador de patrones que emplean el canal y los códigos respectivos para transmitir las secuencias sobre la línea óptica. De manera comercial la unidad de detección de fallas provee de tres sub bloques funcionales: *un bloque de modulación*, *un bloque microprocesador* y *una interface de servicio telefónico*. El primero de ellos modula la señal que contiene información sobre la localización de la falla, el microprocesador posee la función de conteo y comparación de la temporización con su reloj interno, lo que tiene como objetivo reportar el nivel de BER (Bit Error Rate) alcanzado en el enlace actual.

En tercer lugar, el contar con un servicio telefónico auxiliar facilita la acción correctiva a través de un enlace de voz de 4 hilos de telefonía habitual (-16dBm a 7dBm) y un discado de DTMF (Doble Tono de Multifrecuencias o teclado convencional).

De manera general, la unidad de detección de fallas está habilitada para realizar tres tareas principales:

1. Analizar la degradación del diodo láser empleado en el OLTE.
2. Concentración, distribución lógica y manifestación de las alarmas.
3. Monitoreo de banda base para localización de fallas.

### **2.3 Unidad de gestión de fallas o errores.**

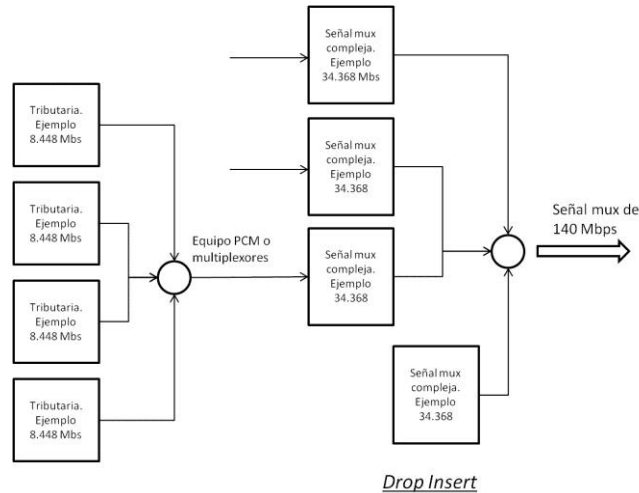
El sistema de supervisión se caracteriza por el continuo monitoreo de las condiciones de la señal entrante, empleando diferentes sub módulos cuyo objetivo general es alcanzar la alta disponibilidad del enlace, logrando la detección oportuna de la falla y la manifestación visual o auditiva de la alarma respectiva en caso de acontecer algún error.

En forma técnica, los diseñadores de equipos terminales u OLTE clasifican las alarmas en: *primarias* (causadas por pérdida de la señal de salida, un alto nivel de errores, falla de suministro y/o conversión de voltaje, degradación de diodo láser fuera de rango, nivel de jitter etc.), alarmas *resultantes* y *señales remotas* de caída del enlace (Señal Indicadora de Alarma o AIS). Ocasionalmente los equipos terminales denotarán las llamadas *de recordatorio*, mismas que podrán inhabilitar a otro tipo de alarmas una vez que éstas últimas ya han sido notificadas para su atención.

### **2.4 Bloque de transmisión / recepción del equipo OLTE.**

En forma práctica y desde cualquier norma ya sea europea o americana, los módulos de transmisión / recepción actúan de forma similar pero en sentido contrario, es decir, el análisis técnico de las interfaces se limita a la comprensión de las etapas principales del módulo respectivo, en todo caso se debe tener presente la actuación y el origen de los datos.

En el sentido de transmisión, se tendrán  $n$  interfaces idénticas que incluyen sus bloques correspondientes de regeneración, codificación (decodificación), supervisión de los canales o códigos de alarmas, extracción del reloj, memoria (dinámica elástica), etapas de control de justificación (comúnmente positiva), etc. El sistema de multiplexión integrará las tramas con los trenes provenientes de las tributarias entrantes, proveyendo la alineación del cuadro, la sincronía del reloj, la modulación de la señal (adecuación del código de línea) y la inherente amplificación de salida.



**Figura 3. Ingreso de tributarias de orden inferior y Drop Insert.**

El análisis de las tributarias entrantes debe considerar el *plesiocronismo* de las mismas, es decir, las tramas entrantes poseen – técnicamente – sus propios sincronismos, mismos que no son iguales para las afluentes de ingreso. De forma inicial, los flujos plesiócronicos deberán ser decodificados de manera interna en el módulo de transmisión, es decir, comúnmente las señales tributarias de entrada poseen un código de línea (por ejemplo el HDB<sub>3</sub>) mismo que provee ventajas técnicas al envío de señales, pero en el caso de la extracción del sincronismo y para alineamiento, se deberán codificar los trenes de datos a un esquema unipolar, siendo el NRZ (No Retorno a Cero) el de uso común, lográndose con ello la extracción exitosa de cada sincronía y el alineamiento de las señales tributarias de orden inferior (ver figura 3). En un sentido básico de transmisión, los datos de ingreso serán tratados bajo los principios físicos de señales en paralelo, con la correspondiente construcción de un flujo complejo multiplexado de bits seriados de orden superior.

La integración de una señal compleja se logra “alineando” de manera síncrona las tributarias, lo cual se obtiene aplicando el pulso generado por un reloj central del lado transmisor. Para el caso de México, la señal construida en un terminal óptico convencional será de 140Mbps y por lo tanto el periodo logrado como tiempo de bit saliente para un OLTE de cuarto orden será de 7.1806 nano segundos o  $7.1806 \times 10^{-9}$  segundos [7] [8], obteniéndose al despejar una relación básica de las comunicaciones:  $F \cdot P = c$ , siendo  $F$  la frecuencia,  $P$  el periodo y  $c$  una constante (para casos prácticos igual a 1).

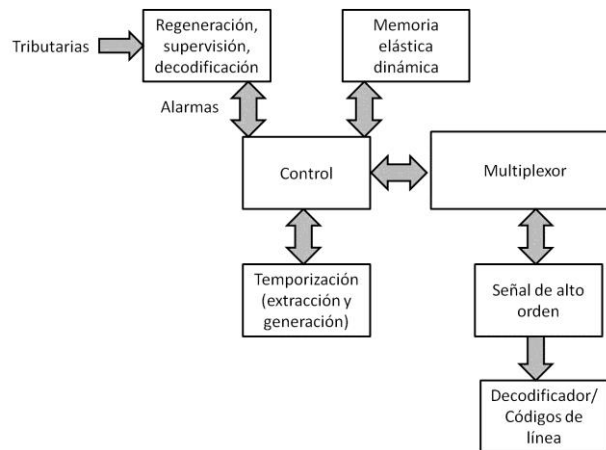
Al concluir la etapa de multiplexación de las señales tributarias entrantes de orden inferior, se tiene la codificación de los datos generados en el tren de alta velocidad formado por las secuencias originales, la señalización de alineamiento del cuadro y las alarmas consecuentes; al pasar a ésta etapa la señal mux compleja deberá ser adaptada a un código de línea, el cual comúnmente y para altas velocidades de transmisión se configura como el código CMI (Inversión de Marcas Codificadas) o el mBnB, ambos para comunicaciones vía fibra óptica.

El código CMI es ampliamente utilizado en el OLTE de cuarto orden (Norma Europea aplicada en México), mismo que genera una señal compleja de 139264Kbps [7] [8] en el nodo de salida del equipo de transmisión de orden superior. La Inversión de Marcas Codificadas aplica un plano de dos niveles que provee para los ceros lógicos una alternancia de dos niveles de amplitud de las señales, completando con ello el ciento por ciento de un intervalo unitario, es decir, para un cero se

tiene por norma una transición positiva en el punto medio del periodo o tiempo de bit del tren resultante.

En el sentido estricto y para proveer una congruencia técnica, el receptor proveerá de las mismas etapas que lo expuesto en el párrafo anterior, con la salvedad de que la extracción del reloj se lleva a cabo con un VCO (Oscilador Controlado por Voltaje); las salidas del módulo de recepción serán las tributarias alineadas y/o añadidas por la técnica *drop insert*. Los flujos de datos que han sido demultiplexados son ingresados en las memorias intermedias asignadas para cada canal de la tributaria (en sentido de la recepción), el VCO provee la velocidad de escritura en éstos dispositivos electrónicos y da pauta a la reconstrucción de la señal original de la trayectoria individual, es decir, cada componente del tren original se recombina en las memorias y posteriormente se entrega en el canal destino (registrado con una dirección hexadecimal en específico).

El proceso integral de demultiplexión involucra la extracción y eliminación de bits de justificación, códigos de señalización y alineamiento del cuadro tributario, lo que culminará con el enlace hacia las terminales locales del nodo o hacia un anillo óptico con características foráneas de la red.



**Figura 4. Sub módulos del transmisor receptor.**

Las memorias dinámicas elásticas, poseen la característica de almacenamiento e inserción de los datos de entrada, señales de control de flujo y alineamiento. En esencia, estos dispositivos ostentan tres objetivos primordiales:

1. Ingresar las palabras de sincronía de cuadro o trama.
2. Insertar las secuencias de justificación positiva (de uso común, existiendo también la negativa).
3. Los bits o9333 bloques de alarmas.

Descritos los módulos generales del OLTE, se tiene un panorama generalizado de las funciones y objetivos que cubren cada uno de los bloques participantes en el proceso de recepción, regeneración, inserción y transmisión de una señal multiplexada de alto orden. Los OLTE ganan terreno al ampliarse los requerimientos referentes a servicios digitales de los usuarios en la comunicación de datos.



---

### 3. REFERENCIAS.

- [1] Carlson, A.; Crilly, Paul B and Rutledge, Janet C. “*Sistemas de Comunicación*”. 2007, México: Mc Graw Hill.
- [2] Freeman. Roger L. (2002). “*Fiber optic Systems for telecommunications*”. Ed. John Wiley & sons.
- [3] Ángeles Herrera Salvador, Arredondo Ugalde Luis Carlos, Martínez Bárcenas Nadia Marlene. “*Diseño y optimización del enlace de comunicaciones entre Los Cabos y Puerto Vallarta por medio de fibra óptica submarina*”. Tesis del IPN capítulo 3.
- [4] Herrera Pérez, Enrique. “*Introducción a las Telecomunicaciones Digitales*”. 4ta. Reimpresión 2003. Ed. Limusa Noriega Editores. 410 págs.
- [5] McNurlin, B. and R.J. Sprague. “*Information Systems Management in Practice*”. 2a. ed. Vol. I. 2004, New York: Prentice Hall.
- [6] <http://www.buc.unican.es/content/union-internacional-de-telecomunicaciones-itu-normas-e-informes>
- [7] <http://www.gco.upv.es/es/webdocente/redes/transpar/ro7nuevo.pdf> (Redes ópticas, redes de larga distancia. Capítulo 7).
- [8] <http://www.sct.gob.mx/informacion-general/normatividad/telecomunicaciones/normas-oficiales-mexicanas/>

**13.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN  
POR FIBRA ÓPTICA PARA LA OBTENCIÓN DE SEÑALES RAMAN EN  
MUESTRAS LÍQUIDAS.**

MARÍA ASUNCIÓN PERALTA JERÓNIMO, RAÚL EFRAÍN CASANOVA CENTENO,  
AARÓN FLORES GIL, OLENA BENAVIDES, LELIO DE LA CRUZ MAY.

Universidad Autónoma del Carmen (UNACAR), Facultad de Ingeniería

mariaperalta@outlook.com; efrencass@hotmail.com

**RESUMEN.**

En este trabajo se presenta una propuesta de una sonda Raman a 90° para la obtención de espectros Raman en muestras líquidas. La sonda Raman consiste en un sistema de comunicación con fibras ópticas en combinación con elementos ópticos básicos, como lentes, espejos y filtro Notch. Se tiene como fuente de excitación un láser a 785 nm y, como sistema detector, un espectrógrafo QE65000 de Ocean Optics, teniendo así un sistema para la obtención de espectros Raman en sustancias líquidas; para esta investigación, las muestras consistieron en alcoholes, mieles y piridina.

**PALABRAS CLAVE:** Sonda Raman, láser a 785 nm, muestras líquidas.

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN OPTICAL FIBER COMMUNICATION SYSTEM TO GET  
RAMAN SPECTRUMS OF LIQUID SAMPLES.**

**ABSTRACT.**

In this work we present an approach of a probe to get Raman spectrums from liquid samples. The Raman probe consists in a communication system with multimodal optical fibers, and basic optical elements as lenses, mirrors and Notch filter. The excitation source is a 785 nm laser and the detector system is a QE65000 spectrograph by Ocean Optics. With this system we will be able to get Raman signals of liquid samples. We show Raman spectra of alcohols, honeys and pyridine.

**KEYWORDS:** Raman probe, 785 nm laser, liquid samples

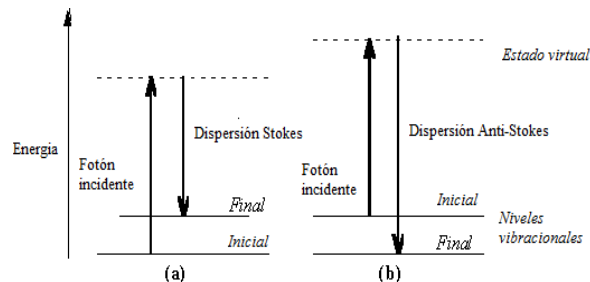
## 1. INTRODUCCIÓN.

El efecto Raman es un importante instrumento de investigación con aplicaciones en varias áreas, como lo son la física, química e ingeniería, por solo mencionar algunos campos de estudio.

El efecto Raman involucra dirigir la luz de alguna fuente de energía (en general un haz de luz láser) sobre una muestra (sólida, líquida o gaseosa) que será estudiada. Como resultado de la interacción del haz de luz sobre la muestra, se tiene una energía residual que emerge por múltiple dispersión de la muestra. En esta transferencia de energía entre la luz y la muestra hay información valiosa y única sobre las excitaciones internas de la propia muestra [1].

Cuando la luz se dispersa desde una molécula, la mayoría de los fotones son elásticamente dispersados. Los fotones dispersados tienen la misma energía y, por lo tanto, misma longitud de onda, como los fotones incidentes. Sin embargo, una pequeña fracción de la luz se dispersa a frecuencias ópticas diferentes, y por lo general, más bajas que la frecuencia de los fotones incidentes. El proceso que lleva a esta dispersión inelástica es denominado el efecto Raman. La dispersión de Raman puede ocurrir con un cambio en la energía de vibración y rotación de una molécula. La diferencia de energía entre el fotón incidente y el fotón dispersado de Raman es igual a la energía de vibración de la molécula dispersada. Al gráfico de la intensidad de la luz dispersada contra la diferencia de energía se le conoce como espectro Raman [2].

Siguiendo con el análisis de lo que ocurre con la luz al pasar a través de una muestra, podemos decir que la mayoría de la luz que pasa a través de una sustancia transparente sufre dispersión de Rayleigh. La dispersión de Rayleigh es un efecto elástico, lo que significa que la luz no gana o pierde energía durante la dispersión, por lo tanto se dice que tiene la misma longitud de onda, donde la de dispersión es fuertemente dependiente de la longitud de onda [3]. Los fotones de luz pierden o ganan energía durante el proceso de dispersión y, por lo tanto, incrementa o disminuye su longitud de onda respectivamente. Si la molécula es elevada desde un estado base a un estado virtual y luego cae de nuevo a un estado vibratorio donde el fotón dispersado tiene menor energía que el fotón incidente y por lo tanto una longitud de onda mayor, el fenómeno es llamado dispersión Stokes. Si la molécula pierde energía se presenta entonces la dispersión Anti-Stokes en la cual los fotones incidentes son desplazados a frecuencias más elevadas [4].



**Figura 1.- Diagrama de los niveles de energía para la dispersión Raman: a) Dispersión Stokes de Raman b) Dispersión Anti-Stokes de Raman.**

El enfoque del grupo de investigación consistió en diseñar y construir un sistema de comunicación a base de fibras ópticas y elementos ópticos básicos como lentes, espejos y filtro Notch para obtener los espectros Raman en alcoholes, mieles y piridina. El sistema de comunicación se basa en una sonda Raman a 90° el cual recibe este nombre por la posición en la que se encuentran los lentes a la entrada del láser y los espejos que son colocados perpendicularmente entre sí para recolectar la mayor cantidad posible de emisión Raman.

La sonda Raman empleada en este trabajo, fue elaborada basándose en los principios que deben de cumplir este tipo de sondas a 90° para garantizar la recolección de emisión Raman en muestras líquidas.

## 2. METODOLOGÍA.

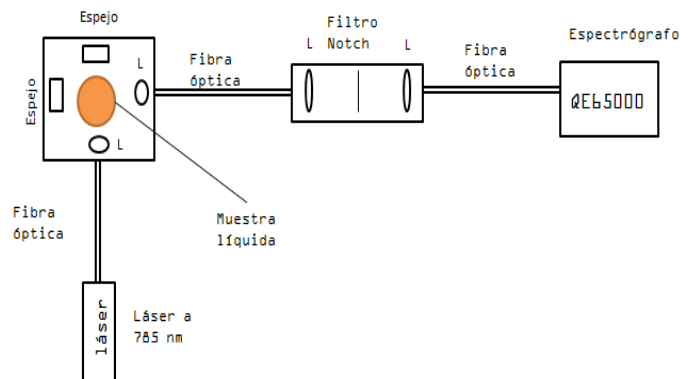
### 2.1 Materiales

Fibra óptica de 100  $\mu\text{m}$ , fibra óptica de 200  $\mu\text{m}$ , láser a 785 nm, espectrógrafo QE65000, sonda Raman a 90°, filtro Notch, interferómetro de Michelson, alcoholes, mieles y piridina.

**Para la Sonda Raman a 90°:** Placas de aluminio, lentes biconvexas, espejos, tuercas hexagonales.

### 2.2 Método

En la Figura 1, se muestra el esquema básico del sistema de comunicación para obtención de espectros Raman. Inicialmente se tiene una fuente de excitación láser a 785 nm que se conecta a través de una fibra óptica a la entrada de la sonda Raman a 90°, el haz láser pasa por el contenedor de líquidos induciendo la oscilación de las moléculas y posterior emisión Raman que emerge de la muestra. Esta señal Raman ahora se colectará por medio de una lente colocada a 90° con respecto a la entrada del láser. Adicionalmente se han colocan espejos perpendiculares entre sí para colectar la mayor cantidad posible de emisión Raman. A la salida de la sonda se coloca una fibra óptica más, que se conecta a otro modulo que contendrá un filtro Notch, el cual inhibe la contribución de la emisión Raleigh e incrementa la señal Raman a la entrada del detector.



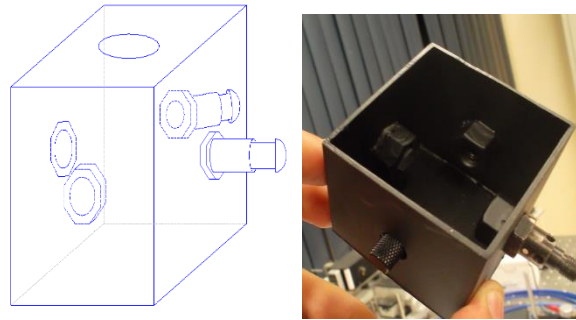
**Fig. 2 Montaje experimental para la obtención de señal Raman de muestras líquidas a través de una sonda Raman a 90°.**

### 2.3 Fabricación Sonda Raman a 90°

La fabricación de la sonda Raman consistió en formar un cubo con láminas de aluminio de 1/16" de grosor de 4 cm por cada lado. En las caras del cubo fueron hechas pequeñas incisiones donde se colocaron tuercas hexagonales que sirvieron como adaptadores para poder colocar dos lentes biconvexas colimantes de sílice de 5mm de diámetro con una distancia focal de 10 mm y dos espejos tipo Screw Plug de 7.5 mm con 3cm de distancia focal. Dentro de la sonda se coloca un filtro Notch para atenuar la contribución de la emisión Rayleigh proveniente del láser.

En la Figura 3a, se presenta el modelo de la sonda Raman a 90°. La posición de los espejos y lentes están colocados perpendicularmente entre sí para para recolectar la mayor cantidad de

emisión Raman de muestras líquidas. En la Fig.3b se aprecia la sonda construida con los materiales citados en el apartado 2.1



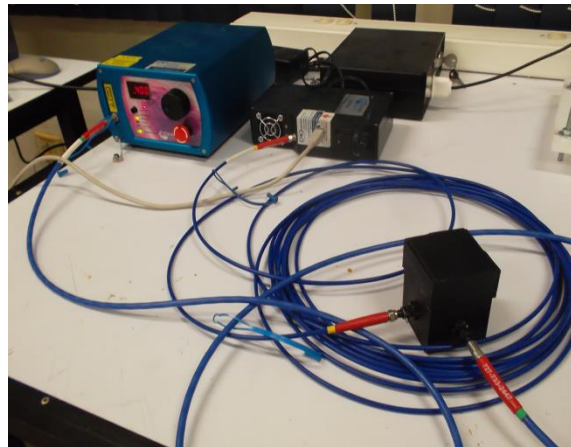
**Fig. 3a) Modelo sonda Raman (izquierda). b) Sonda Raman manufacturada con placas de aluminio, lentes biconvexas y espejos.**

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Las muestra líquidas empleadas para obtención de espectros Raman en este trabajo fueron alcohol, miel y piridina.

Se obtuvieron los espectros Raman de las muestras empleando un láser a 785 nm y como sistema detector el espectrógrafo QE65000 de Ocean Optics.

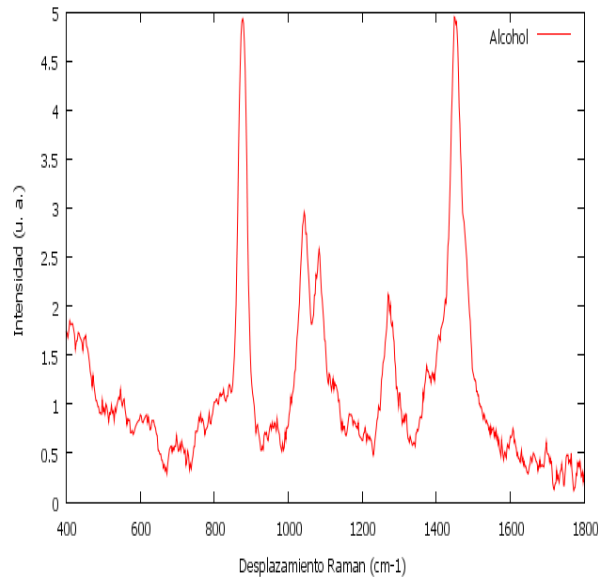
Los instrumentos empleados para la obtención de señales Raman en tiempo real se aprecian en la Figura 4 y hace referencia al montaje experimental de la Fig. 2 de la sección anterior.



**Fig. 4.- Montaje final para obtención de espectros.**

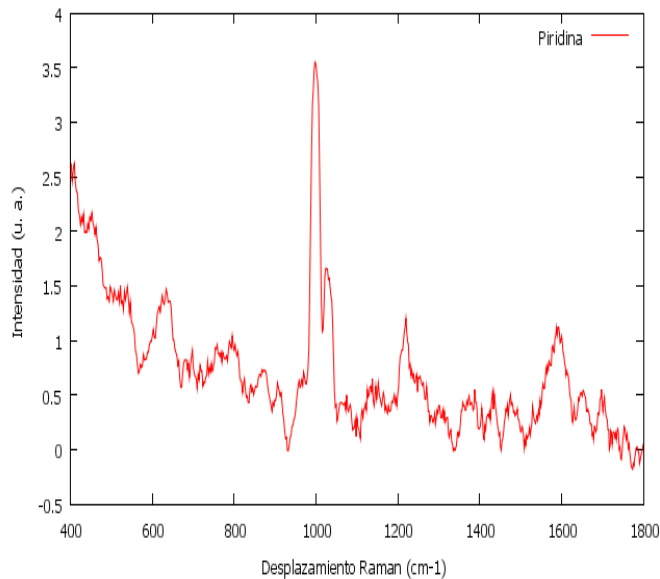
Para la obtención de las bandas Raman del alcohol se hizo variar la potencia del láser en un intervalo de 70 a 500 mW, en un tiempo de censado de 10 s, obteniendo 5 espectros por cada intervalo de tiempo. El tiempo, espectros de intervalo y la obtención de las bandas Raman del alcohol fueron manejados por el programa SpectraSuite, software proporcionado por el fabricante del espectrógrafo con el que se trabajó en este proyecto.

En la Figura 5, se muestra el espectro Raman del alcohol, en el cual se pueden apreciar las bandas características de esta muestra que son: 878, 1045, 1081, 1272, y 1452  $\text{cm}^{-1}$ .



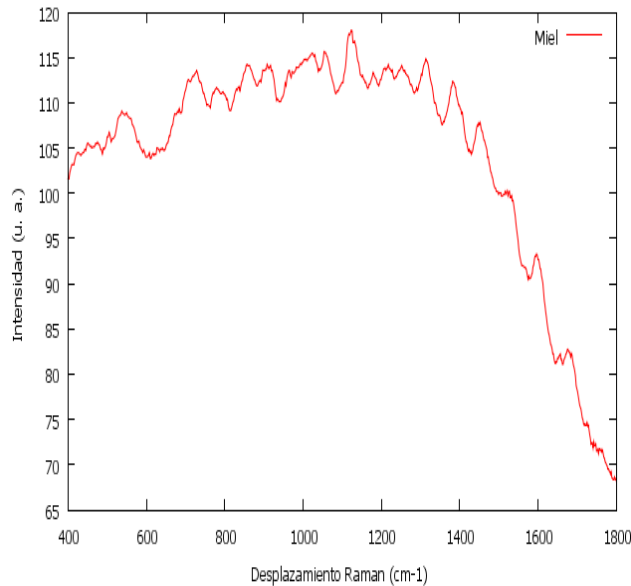
**Fig. 5.- Bandas Raman del alcohol.**

En la Figura 6, se muestra el espectro de la piridina, que es un compuesto que utilizan los químicos para sintetizar fármacos, se utiliza como disolventes, insecticidas, herbicidas, saborizantes, colorantes adhesivos, pinturas, explosivos, desinfectantes y químicos para el caucho. Para la obtención de estos espectros se utilizaron 400 mW de potencia del láser, 125 segundos de tiempo de exposición. Se pueden apreciar sus bandas características de esta muestra que son: 998, 1025, 1220 y 1587  $\text{cm}^{-1}$ .



**Fig.6.- Bandas Raman de la piridina.**

En la Figura 7, se muestra el espectro de la miel que es utilizada como remedio naturista y para consumo humano. Para obtener los espectros de esta muestra, se utilizaron 280 mW de potencia del láser, y 5 segundos de tiempo de integración. Se pueden apreciar sus bandas características de esta muestra que son: 1124, 1314, 1382, 1452  $\text{cm}^{-1}$ .



**Fig. 7.-Bandas Raman de la miel.**

Es importante mencionar que se emplearon diferentes tiempos de integración y potencia del láser dependiendo de la muestra de estudio, y las bandas que se muestran en las figuras representan el promedio de al menos 10 espectros, lo que garantiza la estabilidad de nuestra sonda, y además claramente se puede apreciar las bandas que marca la clara diferencia entre una muestra y otra.

#### **4. CONCLUSIONES**

El motivo fundamental de este trabajo fue la obtención de señales Raman en muestras líquidas, que nos permitiera obtener las bandas características de diferentes muestras con una sonda Raman a  $90^\circ$ . La sonda fue construida con elementos de fácil obtención y elementos ópticos básicos, pero con la gran importancia mantener a una distancia fija el contenedor de la muestra para que, a lo largo del experimento, las variaciones de las señales producidas por la alineación de la muestra con los espejos sea mínima. La sonda se construyó considerando la contaminación lumínica, de tal modo que es completamente cerrada y se mantiene aislada a la luz externa.

En este trabajo sólo mostramos algunos ejemplos prototipo, logrando con éxito la obtención de las bandas Raman. Pero se puede extender un análisis más detallado de cada una de las muestras, como por ejemplo, alteración, contaminación, mezclado o bien dopado de las mismas. Con este tipo de sistemas a  $90^\circ$ , también se logra disminuir la contribución de la fluorescencia que es otro efecto físico que en ocasiones aparecen en los espectros, pero en el sistema que construido para este sistema no hubo presencia de fluorescencia.

## 5. REFERENCIAS

- [1] Schrader, B. Infrared and Raman Spectroscopy; Schrader, B. ed., VCH Publishers Inc.: New York, 130-136 (1995)
- [2] Myers, A.B., Mathies, R.A. Biological Applications of Raman Spectroscopy: Volume 2: Resonance Raman Spectra of Polyenes and Aromatics, Spiro, T.G. ed., John Wiley and Sons: New York, 23-25, (1987)
- [3] Kerker, M., Wang, D.-S., Chew, H., Siiman, O., Bumm, L.A. Surface Enhanced Raman Scattering, Chang, R.K., Furtak, T.E. eds., Plenum Press: New York, pp. 109-128, (1982).
- [4] Herzberg, Spectra of Diatomic Molecules, Litton Educational Publishing, pp. 61ff and 66 ff (1950)



### **13.3 DESARROLLO DE UN GENERADOR DE TRÁFICO SINTÉTICO DE VoIP.**

Homero Toral-Cruz, G. Almeyda Torres, F. Chan Puc, J. Ortegón Aguilar, V. Sánchez Huerta, E. Torres Montalvo

Universidad de Quintana Roo, Av. Boulevard Bahía s/n, Col. Del Bosque, Chetumal  
Quintana Roo. Email: homerotorcruz@gmail.com

#### **RESUMEN.**

Voz sobre el protocolo de Internet (VoIP) es una tecnología en constante evolución, que permite transportar señales de voz sobre redes de datos, tales como Internet. Internet no ofrece garantías de QoS, en términos de ancho de banda, pérdida de paquetes, retardos y jitter; parámetros importantes que determinan la calidad de servicio (QoS) en aplicaciones en tiempo real como VoIP. Una técnica para poder hacer frente a estos desperfectos es mediante el análisis y caracterización de los parámetros de QoS, mediante mediciones de red. En este trabajo se describe el proceso de desarrollo de un generador de tráfico sintético de voz. El generador puede realizar una comunicación de voz sobre el protocolo de Internet y evaluar calidad de servicio, mediante el cálculo de los siguientes parámetros: retardos, pérdida de paquetes, MOS y factor R del modelo E.

#### **ABSTRACT.**

Voice over Internet Protocol (VoIP) is an evolving technology that allows transport voice signals over data networks, such as the Internet. Internet does not guarantees the QoS, in terms of bandwidth, packet loss, delay and jitter; which are important parameters that determine the quality of service (QoS) in real-time applications such as VoIP. A technique to deal with these impairments is through the analysis and characterization of the QoS parameters by means of network measurements. In this paper the process of development of a synthetic traffic voice generator is described. The generator may perform a voice communication over IP and compute the quality of service, by calculating the following parameters: packet loss, MOS and R factor of the E model.

#### **INTRODUCCIÓN.**

En un principio las redes de telecomunicaciones estaban separadas principalmente en dos diferentes redes, una para voz y otra para datos. Tradicionalmente cada red tenía el simple propósito de transportar un tipo específico de información. Para la transmisión de voz se creó la red de conmutación de circuitos (red telefónica pública conmutada - PSTN), mientras que para la transmisión de datos la red de conmutación de paquetes (red IP o Internet) [1].

El sistema telefónico actual está basado en la conmutación de circuitos, sin embargo hay que reconocer que su evolución ha sido muy lenta en los más de cien años de su historia. La forma de llamar por teléfono a principios de siglo XX era básicamente la misma que se utiliza ahora en el siglo XXI. Por otro lado, la llegada de la red IP ha transformado los diversos servicios de comunicaciones. La red IP surgió con la finalidad de dar soporte al intercambio de datos, sin embargo, al tratarse de una red versátil de bajo costo, poco a poco ha mostrado su potencial para intercambiar cualquier tipo de información, tales como: datos, voz, video y multimedia [2].

*Este trabajo fue apoyado por PROMEP-UQROO-PTC-110 y el proyecto interno UQROO/DCI/PI/02/13.*

El crecimiento exponencial de Internet en los últimos años, ha originado la posibilidad de proveer a los usuarios de la red de datos, servicios muy atractivos, tales como: la transmisión de voz en tiempo real o comúnmente conocido como voz sobre el protocolo de Internet (VoIP). Debido a que Internet no fue diseñada originalmente para comunicaciones en tiempo real, solo puede ofrecer un

servicio de mejor esfuerzo (best-effort), por tanto, las aplicaciones de VoIP tienen que competir por los recursos de la red y la calidad de servicio no está garantizada [3].

La calidad de servicio en VoIP depende de muchos parámetros, sin embargo, los parámetros de mayor impacto son: retardo, jitter y pérdida de paquetes. Por tal motivo, es importante estudiar el comportamiento de estos parámetros, y de esta manera implementar mecanismos de QoS para elevar el grado de satisfacción de los usuarios [4,5].

Motivados por las preocupaciones anteriores, en este trabajo se diseñó e implementó una aplicación VoIP mediante software, la cual permite generar tráfico sintético de VoIP, medir los parámetros de QoS antes mencionados y evaluar la calidad de servicio mediante el Modelo E y MOS.

## **1 VoIP y QoS**

Voz sobre el protocolo de Internet es una tecnología que permite transmitir voz a través de una red de datos bajo la pila de protocolos TCP/IP.

La tecnología VoIP funciona de la siguiente manera: en el transmisor, los flujos de voz se digitalizan y comprimen por medio de un codificador de audio y se hace llegar hasta el receptor en forma de paquetes, a través de una red IP. Una vez realizado el recorrido de los paquetes, en el receptor, se suprimen los encabezados IP y mediante un decodificador de audio se convierten los paquetes al flujo de voz original [6].

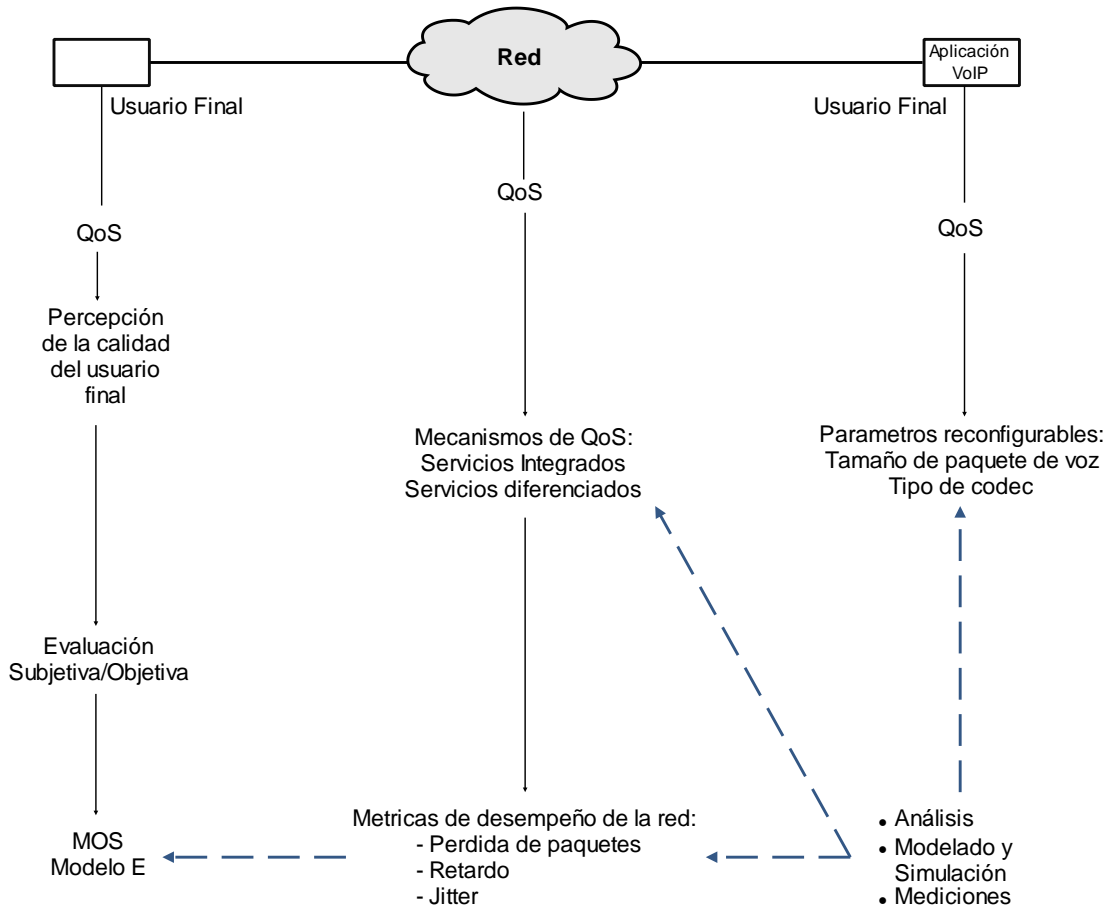
En los últimos años, VoIP se ha posicionado como uno de los servicios más atractivos de Internet. Para que este servicio sea exitoso y pueda competir con otros similares, la calidad deberá ser buena, por lo menos tan buena como la que ofrece la red telefónica pública conmutada. Sin embargo, VoIP enfrenta problemas propios de las redes de datos, que se manifiestan como degradaciones en la calidad de servicio.

La Figura 1 muestra una red punto a punto, en la cual se define la QoS en función del usuario, el desempeño de la red y la aplicación. El usuario final representa los dispositivos finales como teléfonos, computadoras y otros dispositivos finales de comunicación. La red es una red de paquetes o red IP que conecta los dos usuarios finales.

Desde el punto de vista del usuario, la QoS es la percepción de calidad que el usuario final recibe del proveedor de red para un servicio o aplicación en particular que puede ser voz, video o datos. La percepción del usuario está determinada por una evaluación subjetiva u objetiva en función de las métricas de desempeño de la red como son: retardo, pérdida de paquetes y jitter.

Desde la perspectiva de la red, la QoS se refiere a la capacidad de la red de proveer la calidad de servicio que espera percibir el usuario final. Para proveer calidad en una red IP se necesitan mecanismos de QoS, estos tienen la capacidad de proveer garantía de recursos y diferenciación de los mismos. Principalmente, dos mecanismos de QoS están disponibles para las redes IP: Servicios Integrados y Servicios Diferenciados.

Desde el punto de vista de la aplicación, la calidad del servicio se refiere a la capacidad de la aplicación de reconfigurar ciertos parámetros (tamaño de paquete de voz, tipo de códec) en función de las condiciones de la red, con el propósito de presentar buenos niveles de calidad de voz.



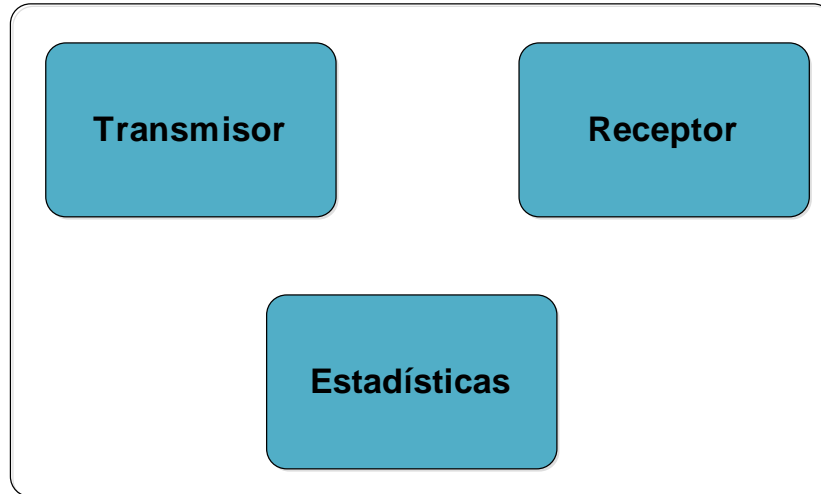
**Fig. 1.- Definición de QoS.**

## 2 DESARROLLO DEL GENERADOR DE TRÁFICO VoIP.

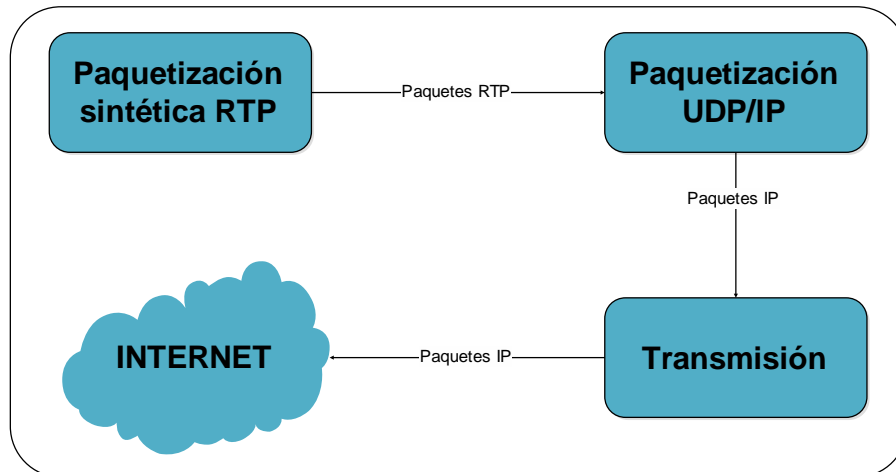
En esta sección se presentarán distintos diagramas, que mostrarán la arquitectura del sistema con el fin de ver y entender los componentes que lo integran.

Desde el punto de vista del usuario, el sistema propuesto es una aplicación y se puede dividir en bloques, los cuales cumplen ciertas tareas específicas; en esta propuesta, el sistema se compone de tres módulos, transmisor, receptor y estadísticas, como se observa en la Figura 2.

*Transmisor:* Es el encargado de crear los paquetes sintéticos RTP y transmitirlos. Un esquema a bloques más detallado donde se muestra el esquema de paquetización se ilustra en la Figura 3.



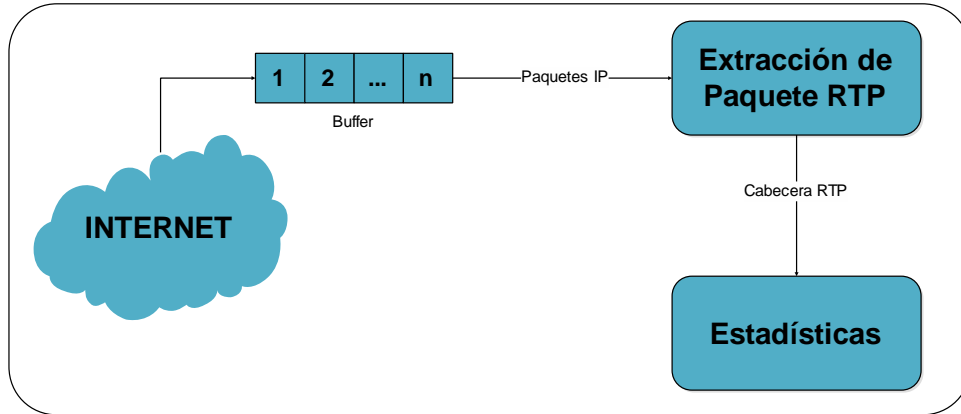
**Fig. 2.- Diagrama a Bloques del Sistema.**



**Fig. 3.- Bloque Transmisor.**

Como se observa en la Figura 3, el transmisor realiza la paquetización sintética RTP, en función del códec y el tamaño de paquete que el usuario defina y este a su vez se encapsula en un paquete UDP para ser transmitido a través de un socket a la red IP.

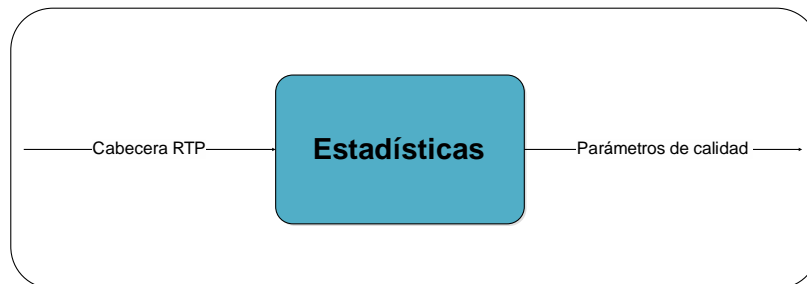
*Receptor:* Se encarga de recibir los paquetes por medio de un buffer, suprimir los encabezados, extraer las muestras de voz sintéticas y transferir el encabezado RTP al bloque de estadísticas, como se muestra en la Figura 4.



**Fig. 4.- Bloque Receptor.**

Este bloque realiza la función inversa del bloque transmisor. Este recibe los paquetes de la red extrayendo los datos necesarios para las estadísticas. Una vez extraídos los datos antes mencionados, son enviados al estimador para realizar los cálculos de los parámetros.

*Estadísticas:* En este bloque se recibe el encabezado RTP, del cual se extraen los datos necesarios para la estimación de los parámetros de QoS, tales como: paquetes transmitidos, paquetes recibidos, paquetes perdidos, secuencia recibida, OWD, jitter OWD, RTT, jitter RTT y MOS, ver Figura 5.



**Fig. 5.- Bloque de Estadísticas.**

El sistema fue desarrollado en C++, por lo cual se utilizó un paradigma orientado a objetos. La Tabla 1 enlista y define las clases que se desarrollaron para esta aplicación.

En la Tabla 2 se presenta una lista y su correspondiente descripción de todos los archivos desarrollados para la aplicación.

**Tabla 1.- Clases que conforman la aplicación.**

Nombre de la clase	Descripción
TQoSTester	Es la ventana principal del Sistema. Permite establecer una sesión de comunicación indicando el tipo de códec, tamaño de paquete y dirección IP destino. De igual manera se encarga de calcular los parámetros de QoS durante la llamada.
RTPPacket	Crea paquetes RTP y manipula su contenido y estructura.
Header	Define la cabecera de los paquetes RTP.

**Tabla 2.- Archivos que conforman la aplicación.**

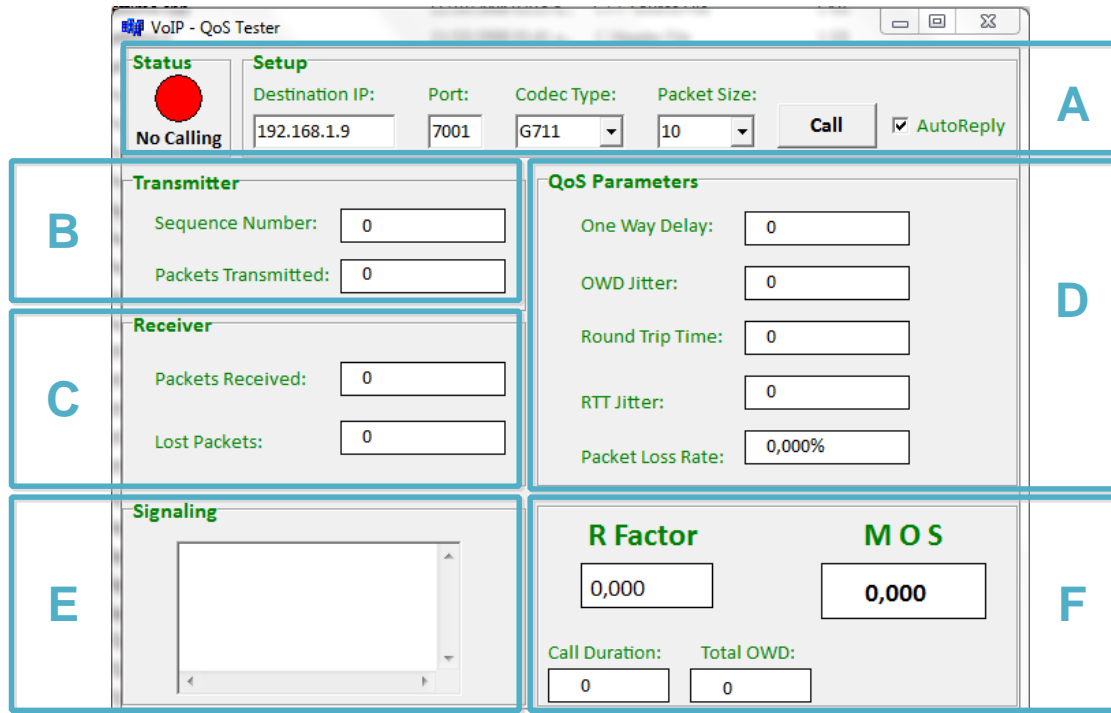
Nombre	Descripción
Unit1.h Unit1.ccp	Es la ventana principal del Sistema.
Signaling.h Signaling.ccp	Se encarga de la señalización de una llamada y el establecimiento de la misma.
RTPPacket.h RTPPacket.ccp	Se encarga de crear paquetes RTP y manipular su contenido.
UCodecs.h UCodecs.ccp	Establece los valores dependiendo del códec, de los parámetros utilizados para el cálculo del Factor R.
TQoS.h TQoS.ccp	Realiza el cálculo del factor R y su relación con el MOS.

Existen diversas formas para desarrollar la interfaz de un sistema, sin embargo se optó por desarrollar una interfaz bastante sencilla la cual se presenta a continuación:

La interfaz del sistema, cuenta con seis secciones como se puede observar en la Figura 6:

- A. Panel de configuración de llamada: Aquí se permite establecer o configurar los principales parámetros de la llamada, tales como: IP destino, número de puerto, tipo de códec, tamaño de paquete y contestación automática.
- B. Panel del transmisor: Muestra información referente al número de secuencia de los paquetes transmitidos y número de paquetes transmitidos.
- C. Panel del receptor: Muestra información referente al número de paquetes recibidos y número de paquetes perdidos.
- D. Panel de parámetros de QoS: Muestra en tiempo real, los valores de los principales parámetros de QoS de la comunicación en curso, los cuales, se actualizan cada segundo.

- E. Panel de señalización de la llamada: Muestra la señalización de la llamada.
- F. Panel de Factor R y MOS: Muestra los valores estimados del factor R y MOS de la comunicación en curso. También muestra la duración de la llamada en segundos y el retardo OWD promedio de la llamada.



**Fig. 5.- Interfaz del sistema.**

**CONCLUSIONES.**

En la actualidad, una gran cantidad de aplicaciones en tiempo real, tales como VoIP, están disponibles en las redes IP, con un costo de comunicación menor comparado con la PSTN. Sin embargo las redes IP de hoy en día solo ofrecen un servicio de “mejor esfuerzo”, y no garantizan la calidad de servicio en este tipo de aplicaciones. Una técnica para poder hacer frente a este problema, es mediante el análisis y caracterización de los principales parámetros de QoS, mediante mediciones de red.

Preocupados por el punto anterior, en este trabajo se diseñó e implementó un generador de tráfico sintético de VoIP que permite estimar los principales parámetros de QoS (paquetes perdidos, tasa de pérdida de paquetes, OWD, jitter OWD, RTT, jitter RTT) y evaluar la calidad de servicio mediante el MOS y el modelo E.

**REFERENCIAS.**

- [1] K. I. Park, QoS in Packet Networks. Boston, MA: Springer Science + Business Media, Inc (2005).
- [2] J. A. Carballar, VoIP: La telefonía de Internet, PARANINFO, 2007. ISBN 9788428329521.
- [3] C. Hernández, “Análisis de las métricas de desempeño de tráfico de paquetes de voz sobre el protocolo de Internet”, Tesis de Maestría, CINVESTAV Unidad Guadalajara, Diciembre 2007.
- [4] W. C. Hardy, VoIP Service Quality. McGraw-Hill, 2003.
- [5] J.A Argáez, “Software para el análisis de QoS en VoIP”, Tesis de Maestría, CINVESTAV Unidad Guadalajara, Julio 2009.
- [6] J. Anderruthy, Skype y telefonía IP: Llama gratis por internet, ENI, 2007.



### **13.4 ANÁLISIS MODAL DE PROPAGACIÓN DE SEÑALES ELECTROMAGNÉTICAS EN DUCTOS DE AIRE ACONDICIONADO.**

Ángel Vicente Pineda Carrasco, Jorge Roberto Sosa Pedroza, Fabiola Martínez Zúñiga.  
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Sección de Estudios de Posgrado e  
Investigación del Instituto Politécnico Nacional.

Unidad Profesional "Adolfo López Mateos", Col. Lindavista, C.P. 07738, Delegación  
Gustavo A. Madero, México, D.F., Edif. Z-4 Tercer piso.

Teléfono de contacto: 5729-6000 Ext. 54757

E-mail: [apinedac88@gmail.com](mailto:apinedac88@gmail.com); [jsosa@ipn.mx](mailto:jsosa@ipn.mx); [fmartinezzu@ipn.mx](mailto:fmartinezzu@ipn.mx)

#### **RESUMEN.**

El método alternativo propuesto en el siguiente artículo consiste en la utilización de ductos de aire acondicionado como guías de onda que permitan la propagación eficiente de señales de microondas dentro de edificios.

El proyecto consiste en tres etapas: primero, se analizará el comportamiento y los modos de propagación que presentan las ondas electromagnéticas emanadas de una frecuencia central de trabajo dentro de ductos de aire acondicionado, tratando de evitar la dispersión de potencia de la señal en más de un modo de propagación; segundo, se diseñará una antena transmisora de microcinta que inyectará señal dentro del ducto o guía de onda, y operará en un cierto ancho de banda tomando como referencia la frecuencia central de trabajo empleada en el análisis de la primera etapa del proyecto; y tercero, se diseñará una antena de ranura cuyas funciones serán tanto la de recolectar toda la energía distribuida a lo largo del ducto de aire acondicionado en el modo de propagación elegido en la primera etapa, como la de lograr la propagación de aquella hacia el medio, es decir hacia las áreas que conforman el edificio.

Las ondas electromagnéticas propagadas en medios confinados viajan a lo largo de éstos con la menor reducción posible de energía, consiguiendo una mayor eficiencia en su distribución comparado al de un medio abierto, evitando pérdidas. Los ductos de aire acondicionado son tubos metálicos huecos comúnmente distribuidos en todo el interior de un edificio, y al ser utilizados como guías de onda posibilitarían el transporte de las señales de microondas por todo el medio. Además con la ayuda de antenas de ranura se podrían propagar esas señales en todo el entorno.

Cabe mencionar que el presente artículo solamente se aborda la primera etapa del proyecto y por tanto se evidencian los resultados de simulaciones del comportamiento y los modos de propagación de las ondas electromagnéticas existentes dentro de un ducto metálico de 30 cm., de ancho, 20 cm., de alto y 100 cm., de largo.

Los modos de propagación son generados como productos de la alimentación de la guía de onda con señales a frecuencias puntuales de 1 GHz., 1.5 GHz., y 2.5 GHz. Este análisis se fundamenta bajo los principios existentes de la teoría sobre guías de onda, tomando como referencia las dimensiones físicas reales del ducto.

Los resultados de simulaciones expuestos en el presente artículo se han obtenido con ayuda de simuladores de electromagnetismo computacional.

## ABSTRACT

The proposed in the following alternative method is the use of air conditioning ducts as waveguides that allow the efficient propagation of microwave signals inside buildings.

The project consists of three stages: first, it is analyzed the behavior and propagation modes with electromagnetic waves emanating from a center frequency of working within ducts of air conditioning, trying to avoid the dispersion of signal power in more than one mode of propagation; second, a transmitting antenna of microstrip will be designed to injected signal into the duct or waveguide, and will operate in a certain bandwidth with reference to the center frequency of work used in the analysis of the first stage of the project; and third, a slot antenna will be designed whose functions will be to collect all the energy distributed along the duct air conditioning in the propagation mode chosen in the first stage, for to achieve the propagation of those to areas that make up the building.

Electromagnetic waves propagating in confined media travel along of this them with the lowest possible reduction of energy, achieving greater efficiency in distribution compared to an open environment avoiding losses. The air conditioning ducts are hollow metal tubes commonly distributed throughout the interior of a building, and when used as waveguides would enable transport microwave signals throughout the medium. Also with the help of slot antennas are those signals could propagate throughout the environment.

It is noteworthy that this article only the first stage of the project is discussed and therefore it is evidenced the results of simulations of the behavior and modes of propagation of electromagnetic waves existing inside a metal duct of 30 cm., long, wide 20 cm., and 100 cm., high.

Propagation modes are generated as products of the feeding of the waveguide at specific frequencies of 1 GHz., 1.5 GHz., and 2.5 GHz. This analysis is based on existing principles of the theory of waveguides with reference to the actual physical size of the duct.

Simulation results presented in this article were obtained using simulators of computational electromagnetic.

## 1. GUÍAS DE ONDAS RECTANGULARES.

### 1.1 Introducción.

En esta sección se expondrá la teoría de los modos de propagación que existen dentro de guías de ondas uniformes dando especial énfasis a las guías de ondas huecas rectangulares. Se utilizará un enfoque de problemas con valores de frontera, o sea que se obtendrán soluciones a las ecuaciones de Maxwell, sujetas a condiciones de frontera.

Para determinar la configuración del campo electromagnético presente dentro guías de onda, las ecuaciones de Maxwell deben ser resueltas sujetas a adecuadas condiciones de contorno en las paredes de la guía. Suponiendo que existe una conductividad perfecta en las paredes de la guía, las condiciones de contorno son que  $E_{tan}$  y  $H_{norm}$  serán cero en la superficie de los conductores. Para guías rectangulares las ecuaciones de Maxwell y las ecuaciones de onda se expresan en coordenadas rectangulares. Suponiendo que las variaciones en la dirección  $z$  de la guía pueden expresarse como  $e^{-\tilde{\gamma}z}$ , donde  $\tilde{\gamma} = \tilde{\alpha} + j\tilde{\beta}$ , las ecuaciones de Maxwell (para regiones libres de pérdidas dentro de la guía) se convierten en:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial H_z}{\partial y} + \bar{\gamma} H_y &= j\omega\epsilon E_x & \frac{\partial E_z}{\partial y} + \bar{\gamma} E_y &= -j\omega\mu H_x \\ \frac{\partial H_z}{\partial x} + \bar{\gamma} H_x &= -j\omega\epsilon E_y & \frac{\partial E_z}{\partial x} + \bar{\gamma} E_x &= j\omega\mu H_y \\ \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} &= j\omega\epsilon E_z & \frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} &= -j\omega\mu H_z \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

y las ecuaciones de onda para  $E_z$  y  $H_z$  son:

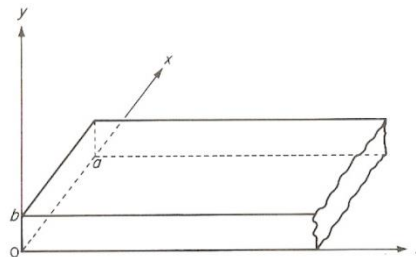
$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 E_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_z}{\partial y^2} + \bar{\gamma}^2 E_z &= -\omega^2 \mu\epsilon E_z \\ \frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H_z}{\partial y^2} + \bar{\gamma}^2 H_z &= -\omega^2 \mu\epsilon H_z \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Aplicando el álgebra convenientemente, las relaciones dadas en las ecuaciones (1) pueden ser manipuladas para obtener  $H_x$ ,  $H_y$ ,  $E_x$  y  $E_y$  en términos de  $E_z$  y  $H_z$ .

$$\left. \begin{aligned} H_x &= -\frac{\bar{\gamma}}{h^2} \frac{\partial H_z}{\partial x} - j \frac{\omega\epsilon}{h^2} \frac{\partial E_z}{\partial y} & H_y &= -\frac{\bar{\gamma}}{h^2} \frac{\partial H_z}{\partial y} - j \frac{\omega\epsilon}{h^2} \frac{\partial E_z}{\partial x} \\ E_x &= -\frac{\bar{\gamma}}{h^2} \frac{\partial E_z}{\partial x} - j \frac{\omega\mu}{h^2} \frac{\partial H_z}{\partial y} & E_y &= -\frac{\bar{\gamma}}{h^2} \frac{\partial E_z}{\partial y} + j \frac{\omega\mu}{h^2} \frac{\partial H_z}{\partial x} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

donde  $h^2 = \bar{\gamma}^2 + \omega^2 \mu\epsilon$ .

Estas ecuaciones nos dan las relaciones entre los campos dentro de la guía. Se puede notar que si  $E_z$  y  $H_z$  son cero todos los campos dentro de la guía se desvanecen. Por lo tanto, para la transmisión de guías de onda debe existir ya sea una componente de  $E_z$  o  $H_z$ . Como en el caso de ondas entre dos placas paralelas, es posible dividir las configuraciones de los campos en dos conjuntos, onda magnética transversal (TM) para el que  $H_z \equiv 0$ , y onda eléctrica transversal (TE) para el que  $E_z \equiv 0$ . Para una guía rectangular, como la que se muestra en la figura 1, las condiciones de contorno son las siguientes:  $E_x = E_z = 0$  en  $y = 0$  y  $y = b$ ; y  $E_y = E_z = 0$  en  $x = 0$  y  $x = a$ .



**Figura 1. Representación de una guía de onda rectangular.**

**1.2 Ondas transversales magnéticas en guías rectangulares.**

Las ecuaciones (2) son ecuaciones diferenciales parciales cuyas soluciones. Sabemos que:

$$E_z(x, y, z) = E_z^0(x, y)e^{-\gamma z}$$

con

$$E_z^0 = XY$$

donde  $X$  es una función solo de  $x$  y  $Y$  es una función solo de  $y$ . Insertando (4) en (2) nos da:

$$Y \frac{d^2 X}{dx^2} + X \frac{d^2 Y}{dy^2} + h^2 XY = 0$$

Ahora, dividiendo entre  $XY$  obtenemos:

$$\frac{1}{X} \frac{d^2 X}{dx^2} + h^2 = -\frac{1}{Y} \frac{d^2 Y}{dy^2} \quad (5)$$

La ecuación (5) es una ecuación que se encuentra solo en función de  $x$  y de  $y$ . La manera en la que esta relación podrá mantenerse, durante todos los valores de  $x$  y de  $y$ , es que cada una de estas funciones se igualen a una constante, digamos  $A^2$ . Entonces:

$$\frac{1}{X} \frac{d^2 X}{dx^2} + h^2 = A^2 \quad (6)$$

$$\frac{1}{Y} \frac{d^2 Y}{dy^2} = -A^2 \quad (7)$$

Una solución de la ecuación (6) es:

$$X = C_1 \cos Bx + C_2 \sin Bx$$

donde  $B^2 = h^2 - A^2$ .

La solución de la ecuación (7) es:

$$Y = C_3 \cos Ay + C_4 \sin Ay$$

Esto nos da:

$$E_z^0 = XY = C_1 C_3 \cos Bx \cos Ay + C_1 C_4 \cos Bx \sin Ay + C_2 C_3 \sin Bx \cos Ay + C_2 C_4 \sin Bx \sin Ay \quad (8)$$

Ahora aplicamos las condiciones de contorno y obtenemos los siguientes resultados para  $E_z^0$ .

$E_z^0 = 0$  donde  $x = 0, x = a, y = 0, y = b$ .

Si  $x = 0$ , la expresión general (8) se convierte en:

$$E_z^0 = C_1 C_3 \cos Ay + C_1 C_4 \sin Ay$$

Para desaparecer  $E_z^0$  (para todos los valores de  $y$ ) es evidente que  $C_1$  debe ser cero. Entonces la expresión general para  $E_z^0$  será:

$$E_z^0 = C_2 C_3 \sin Bx \cos Ay + C_2 C_4 \sin Bx \sin Ay \quad (9)$$

Cuando  $y = 0$ , la ecuación (9) se reduce a:

$$E_z^0 = C_2 C_3 \sin Bx$$

Para que esto sea cero para todos los valores de  $x$ , esto es posible teniendo ya sea  $C_2$  o  $C_3$  igual a cero (suponiendo que  $B \neq 0$ ). Anotando  $C_2 = 0$  en (9) haría a  $E_z^0$  igual a cero, así en vez de apuntar  $C_3$  igual a cero. Entonces, la expresión general (9) para  $E_z^0$  se reduce a:

$$E_z^0 = C_2 C_4 \sin Bx \cos Ay \quad (10)$$

Además de la amplitud constante  $C = C_2 C_4$ , todavía hay dos constantes desconocidas,  $A$  y  $B$ . Sin embargo, existen dos condiciones más de contorno que deben aplicarse.

Si  $x = a$

$$E_z^0 = C \sin Ba \sin Ay$$

Para este desvanecimiento para todos los valores de  $y$  (y suponiendo que  $A \neq 0$ , ya que  $A = 0$  haría a  $E_z^0$  igual a cero) la constante  $B$  debe tener el valor  $B = \frac{m\pi}{a}$  cuando  $m = 1,2,3, \dots$

De nuevo, si  $y = b$ , entonces:

$$E_z^0 = C \sin \frac{m\pi}{a} \sin Ab$$

y para desaparecer todos los valores de  $x$ ,  $A = \frac{n\pi}{b}$  donde  $n = 1,2,3, \dots$

Por lo tanto, la expresión final de  $E_z^0$  es:

$$E_z^0 = C \sin \frac{m\pi}{a} x \sin \frac{n\pi}{b} y \quad (11)$$

Usando las ecuaciones de (3) y haciendo  $\bar{\gamma} = j\beta$  para las frecuencias superiores a la frecuencia de corte, se obtienen las siguientes expresiones:

$$\left. \begin{aligned} E_x^0 &= \frac{-j\bar{\beta}C}{h^2} B \cos Bx \sin Ay & E_y^0 &= \frac{-j\bar{\beta}C}{h^2} A \sin Bx \cos Ay \\ H_x^0 &= \frac{j\omega\epsilon C}{h^2} A \sin Bx \cos Ay & H_y^0 &= \frac{-j\omega\epsilon C}{h^2} B \cos Bx \sin Ay \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

donde

$$\left. \begin{aligned} B &= \frac{m\pi}{a} \\ A &= \frac{n\pi}{b} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Estas expresiones muestran cómo varían las intensidades de los campos eléctrico y magnético con respecto de  $x$  y de  $y$ . La variación con respecto al tiempo y a lo largo del eje de la guía, que es en la dirección de  $z$ , se representa al poner de nuevo en cada una de estas expresiones el factor  $e^{j\omega t - \bar{\gamma}z}$  y después tomando la parte real.

En la derivación de los campos se consideró necesario restringir las constantes  $A$  y  $B$  a los valores dados por las expresiones (12). En estas expresiones  $A$  y  $B$  son el ancho y el alto de la guía, respectivamente, y  $m$  y  $n$  son números enteros. Ahora, por definición  $A^2 + B^2 = h^2$  y  $h^2 = \bar{\gamma}^2 + \omega^2 \mu \epsilon$ .

Por lo tanto,

$$\bar{\gamma} = \sqrt{h^2 - \omega^2 \mu \epsilon} = \sqrt{A^2 + B^2 - \omega^2 \mu \epsilon} = \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 - \omega^2 \mu \epsilon} \quad (14)$$

La ecuación (14) define la constante de propagación para una guía rectangular para ondas TM.

### 1.3 Ondas transversales eléctricas en guías rectangulares

Las ecuaciones para las ondas transversal eléctrica ( $E_z = 0$ ) se pueden derivar de manera muy similar a la de las ondas transversal magnéticas, con los mismos métodos empleados.  $H_z^0$  debe tener la misma forma general que la ecuación (8). Esto se diferencia con respecto a  $x$  y  $y$  para encontrar  $E_x^0$ ,  $E_y^0$ ,  $H_x^0$  y  $H_y^0$ . Las condiciones de contorno se aplican luego para  $E_x^0$  y  $E_y^0$ , y así obtener las expresiones resultantes:

$$\left. \begin{aligned} H_z^0 &= C \cos Bx \cos Ay \\ H_x^0 &= \frac{j\bar{\beta}}{h^2} CB \sin Bx \cos Ay \\ H_y^0 &= \frac{j\bar{\beta}}{h^2} CA \cos Bx \sin Ay \\ E_x^0 &= \frac{j\omega\mu}{h^2} CA \cos Bx \sin Ay \\ E_y^0 &= -\frac{j\omega\mu}{h^2} CB \sin Bx \cos Ay \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Recordemos que  $B = \frac{m\pi}{a}$  y  $A = \frac{n\pi}{b}$ .

Para las ondas TE las ecuaciones para  $\bar{\beta}$ ,  $f_c$ ,  $\lambda_c$ ,  $\bar{v}$  y  $\bar{\lambda}$  son idénticas a las de las ondas TM.

Para ondas TE el orden más bajo en guías rectangulares es TE<sub>10</sub>. Esta onda que tiene la frecuencia de corte más baja se llama modo dominante. Los subíndices  $m$  y  $n$  representan el número de variaciones de medio periodo del campo a lo largo de las coordenadas  $x$  y  $y$ , respectivamente.

## 2. ANÁLISIS.

### 2.1 Modos de propagación teóricos.

Con ayuda de las ecuaciones dadas en la sección 1 se procedió a calcular los modos de propagación existentes en una guía rectangular de 20 cm., de ancho, 30 cm., de alto y 1 metro de largo. Los resultados teóricos obtenidos son los siguientes:

Análisis modal hasta 2.5 GHz	
Modo	$f_c$ (GHz)
TE <sub>10</sub>	0.500
TE <sub>01</sub>	0.750
TE <sub>11</sub>	0.901
TM <sub>11</sub>	0.901
TE <sub>20</sub>	1.000

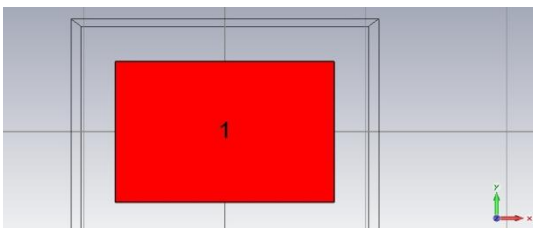
$TE_{21}$	1.250
$TM_{21}$	1.250
$TE_{02}$	1.500
$TE_{30}$	1.500
$TE_{12}$	1.581
$TM_{12}$	1.581
$TE_{22}$	1.802
$TM_{22}$	1.802
$TE_{31}$	1.677
$TM_{31}$	1.677
$TE_{03}$	2.250
$TE_{13}$	2.304
$TM_{13}$	2.304
$TE_{32}$	2.121
$TM_{32}$	2.121
$TE_{23}$	2.462
$TM_{23}$	2.462

**Tabla I. Modos de propagación teóricos y sus respectivas frecuencias de corte.**

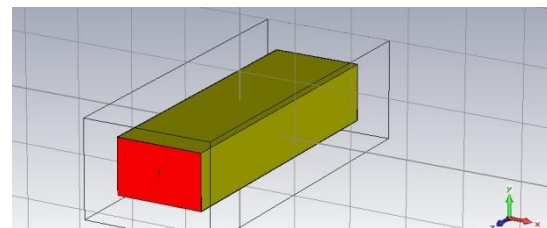
Como puede apreciarse en las tablas mostradas anteriormente, solo se han considerado los modos de propagación a partir del modo fundamental  $TE_{10}$  hasta el último modo superior que sea inferior a la frecuencia de alimentación, ya que tomando en cuenta la teoría sobre guías rectangulares ésta nos dice que a partir de primera frecuencia de corte de orden superior, que sea igual o mayor a la frecuencia de alimentación, experimentará mucha atenuación dentro de la guía, de tal manera que su propagación a lo largo de toda la guía ya no es posible.

## 2.2 Modos de propagación obtenidos en simulaciones.

También se ha realizado el análisis de los modos de propagación que pueden existir dentro de la guía con ayuda de simuladores electromagnéticos. En el programa computacional se han tomado en cuenta los valores reales del ducto como ancho, alto y largo, y además el tipo de material con que está hecho, en este caso es aluminio.



**Imagen 1.  $TE_{10}$  Campo Eléctrico.**



**Imagen 2.  $TE_{10}$  Campo Eléctrico.**

El análisis se ha realizado en un ancho de banda que va desde 0 a 2.5 GHz, esto con el propósito de obtener la frecuencia menor de corte, que es el modo fundamental, tanto para las ondas TE como para TM. Debemos recordar que a frecuencias mayores de 2.5 GHz, que es la máxima frecuencia puntual con que se alimentará a la guía, ya no es posible la propagación, entonces no tiene caso aumentar en frecuencia el análisis modal. Los resultados arrojados por las pruebas de simulación son las siguientes:

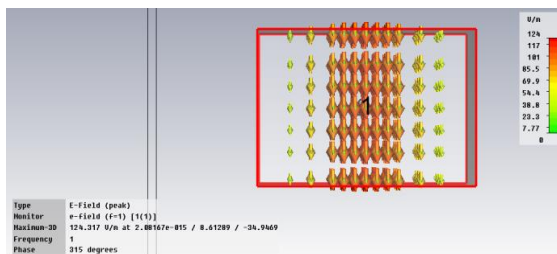
Análisis modal hasta 2.5 GHz	
Modo	$f_c$ (GHz)
TE <sub>10</sub>	0.494
TE <sub>01</sub>	0.748
TE <sub>11</sub>	0.899
TM <sub>11</sub>	0.899
TE <sub>20</sub>	0.994
TE <sub>21</sub>	1.244
TM <sub>21</sub>	1.244
TE <sub>02</sub>	1.481
TE <sub>30</sub>	1.485
TE <sub>12</sub>	1.574
TM <sub>12</sub>	1.574
TE <sub>22</sub>	1.795
TM <sub>22</sub>	1.795
TE <sub>31</sub>	1.668
TM <sub>31</sub>	1.668
TE <sub>03</sub>	2.227
TE <sub>13</sub>	2.282
TM <sub>13</sub>	2.282
TE <sub>32</sub>	2.117
TM <sub>32</sub>	2.117
TE <sub>23</sub>	2.440
TM <sub>23</sub>	2.440

**Tabla II. Modos de propagación simulados y sus respectivas frecuencias de corte.**

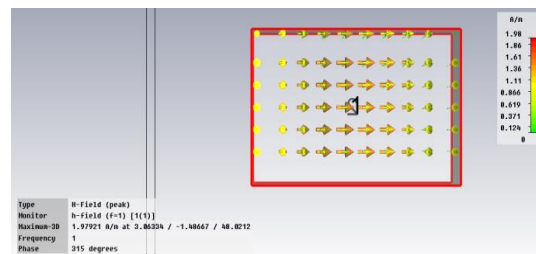
Puede observarse que comparando la tabla II con la tabla I existe gran similitud en los resultados teóricos y simulados; y además, esta comparativa de resultados nos dice que nuestra frecuencia de trabajo para el modo fundamental TE<sub>10</sub> se encuentra muy cercano a los 500 MHz, así mismo tenemos un valor muy cercano a los 900 MHz para el modo fundamental TM<sub>11</sub>.

### 3. COMPORTAMIENTO DE LOS CAMPOS.

#### 3.1 Frecuencia de alimentación 1 GHz.

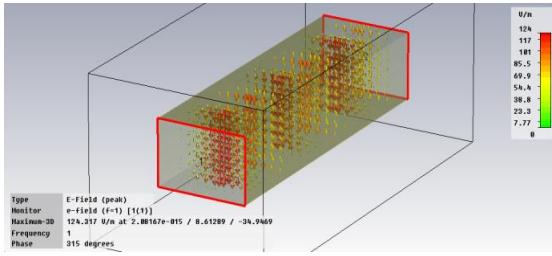


**Imagen 3. TE<sub>10</sub> Campo Eléctrico.**

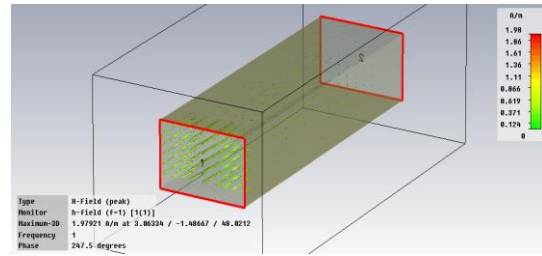


**Imagen 4. TE<sub>10</sub> Campo Magnético.**

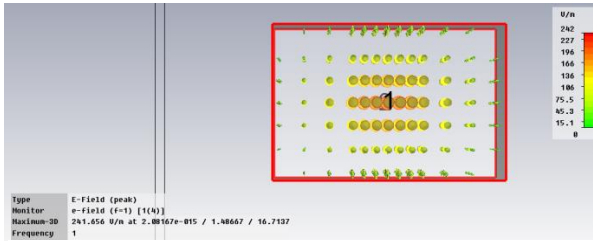




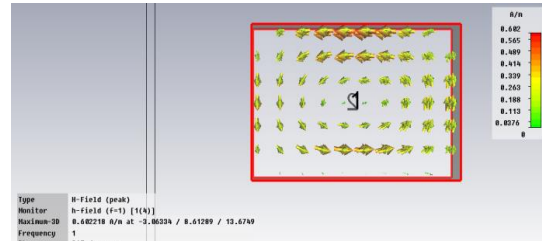
**Imagen 5. TE<sub>10</sub> Propagación Campo Eléctrico.**



**Imagen 6. TE<sub>10</sub> Propagación Campo Magnético.**

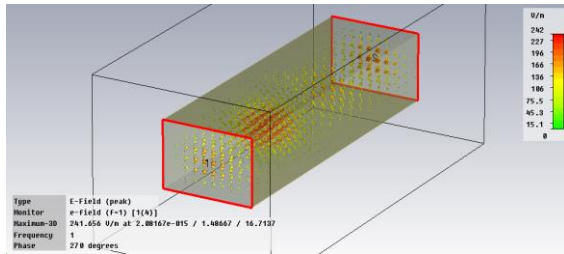


**Imagen 7. TM<sub>11</sub> Campo Eléctrico.**

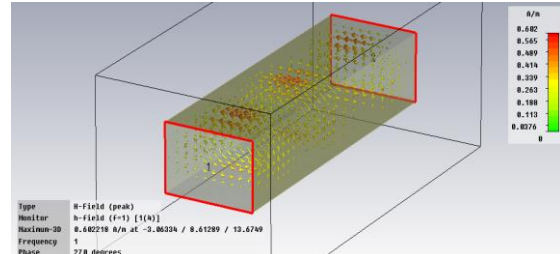


**Imagen 8. TM<sub>11</sub> Campo Magnético.**

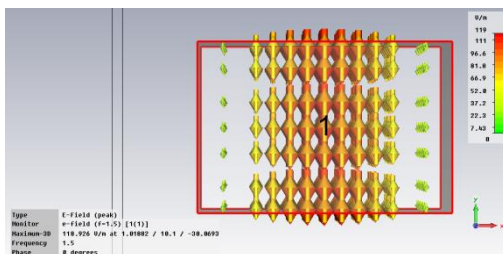
**3.2 Frecuencia de alimentación 1.5 GHz**



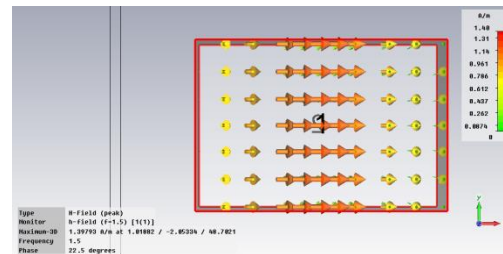
**Imagen 9. TM<sub>11</sub> Propagación Campo Eléctrico.**



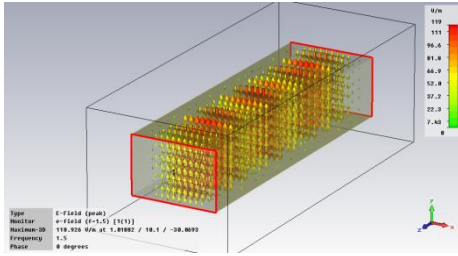
**Imagen 10. TM<sub>11</sub> Propagación Campo Magnético.**



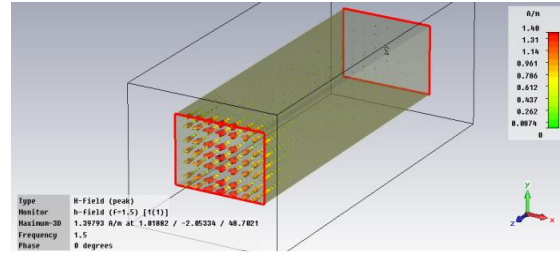
**Imagen 11. TE<sub>10</sub> Campo Eléctrico.**



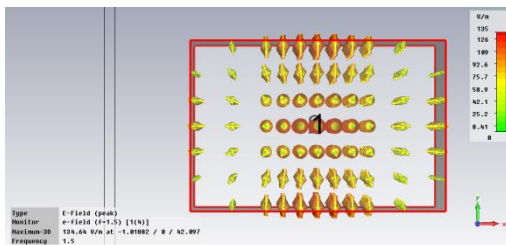
**Imagen 12. TE<sub>10</sub> Campo Magnético.**



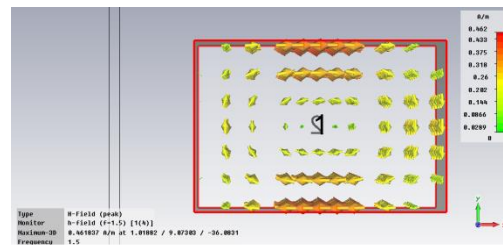
**Imagen 13. TE<sub>10</sub> Propagación Campo Eléctrico.**



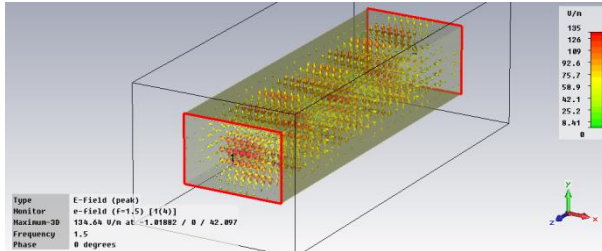
**Imagen 14. TE<sub>10</sub> Propagación Campo Magnético.**



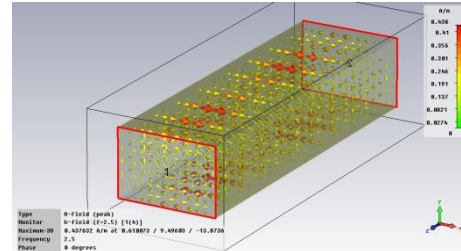
**Imagen 15. TM<sub>11</sub> Campo Eléctrico.**



**Imagen 16. TM<sub>11</sub> Campo Magnético.**

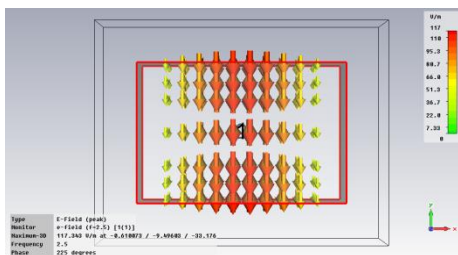


**Imagen 17. TM<sub>11</sub> Propagación Campo Eléctrico.**

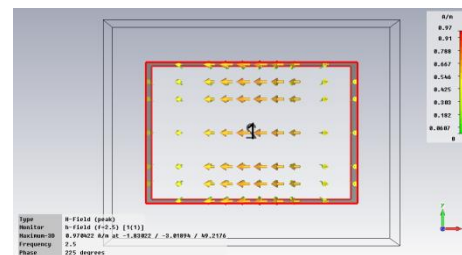


**Imagen 18. TM<sub>11</sub> Propagación Campo Magnético.**

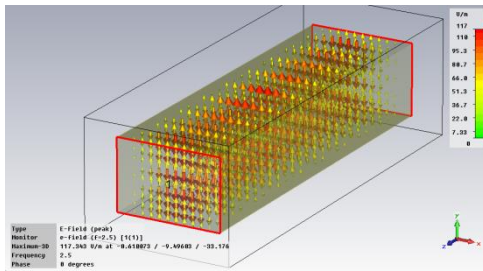
**3.3 Frecuencia de alimentación 2.5 GHz.**



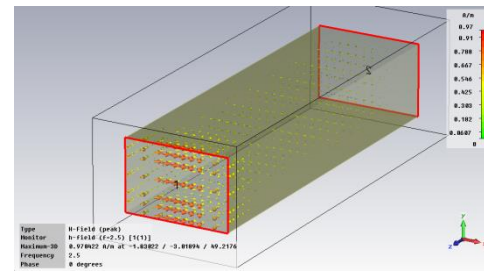
**Imagen 19. TE<sub>10</sub> Campo Eléctrico.**



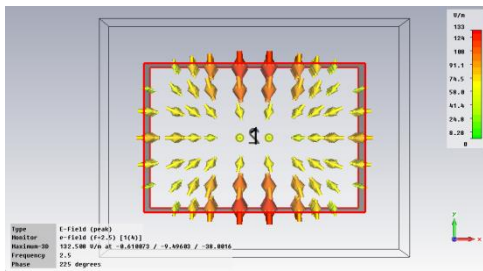
**Imagen 20. TE<sub>10</sub> Campo Magnético.**



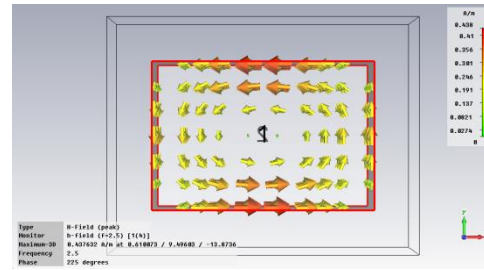
**Imagen 21. TE<sub>10</sub> Propagación Campo Eléctrico.**



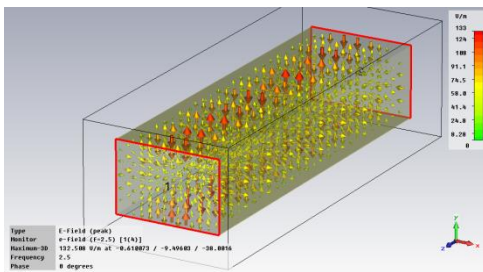
**Imagen 22. TE<sub>10</sub> Propagación Campo Magnético.**



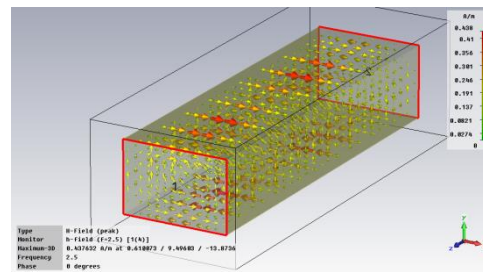
**Imagen 23. TM<sub>11</sub> Campo Eléctrico.**



**Imagen 24. TM<sub>11</sub> Campo Magnético.**



**Imagen 25. TM<sub>11</sub> Propagación Campo Eléctrico.**



**Imagen 26. TM<sub>11</sub> Propagación Campo Magnético.**

#### 4. CONCLUSIONES.

Podemos iniciar la conclusión diciendo que los valores teóricos y los valores obtenidos en las pruebas de simulación son muy semejantes, ambos valores nos arrojan que para la guía de onda rectangular de 30 cm., de ancho, 20 cm., de alto y 100 cm., de largo tendremos una frecuencia aproximada a 500 MHz., para el modo fundamental  $TE_{10}$  y una frecuencia de corte aproximada a 900 MHz para  $TM_{11}$ .

Además podemos observar, con base en las distintas imágenes que se muestran en la sección 3, que la intensidad del campo eléctrico y magnético disminuye al aumentar la frecuencia de alimentación (en el análisis se ha alimentado la guía con 1 GHz., 1.5 GHz., y 2.5 GHz.).

En un próximo trabajo se desarrollará un análisis más exhaustivo para observar cómo cambia la intensidad del campo eléctrico y magnético para cada frecuencia de alimentación en los distintos modos de propagación que puedan existir en la guía, y también ver el comportamiento por atenuación debida a las pérdidas en la pared de la guía de onda.

Se espera que, con los primeros datos obtenidos en este presente trabajo más los datos que próximamente se desean obtener en los siguientes análisis, se pueda definir el modo de propagación más conveniente para trabajar y definir sobre que ancho de banda este modo puede funcionar con las menores pérdidas posibles.

#### 5. REFERENCIAS.

1. E. C. Jordan, K. G. Balmain, *Electromagnetic Waves and Radiating System*, (Prentice-Hall Electrical Engineering Series, Englewood Cliffs, New Jersey), 244-253, (1968).
2. J. Shi, H. Chen, S. Zheng, *Comparing of Measured and Calculated Coupling between a Waveguide and a RF Cavity using CST*, (EPAC, Edinburg, Scotland), 1328-1330, 2006.
3. C. P. Diehl, B. E. Henty, N. Kanodia, D. D. Stancil, *Wireless RF Distribution in Buildings using Heating and Ventilation*, (Department of Electrical and Computer Engineering, Carnegie Mellon University, Pittsburgh).
4. P. V. Nikitin, *Analysis of Heating, Ventilation, and Air Conditioning as a Radio Frequency Communication Channel*, (Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania), August, 2002.
5. F. D. Solano, *Diseño y Simulación de Guías de onda para el calentamiento de materiales con Microondas*, (Universidad de Santander, Bucaramanga), abril de 2008.
6. C. Jonhk, *Teoría Electromagnética – Principios y Aplicaciones*, (Editorial Limusa, México), 499-528, (1988).

### **13.5 ANÁLISIS DEL TIEMPO DE TRANSMISIÓN DEL CAN DEPENDIENDO DE LA LONGITUD DEL BUS.**

Carlos Lujan Ramírez, Ramón Ariel Vela Xool, Jesús Sandoval Gio  
Instituto Tecnológico de Mérida  
Av. Tecnológico Km 5 s/n Mérida, Yucatán, México. C.P. 97118  
[arielvelex@hotmail.com](mailto:arielvelex@hotmail.com)

#### **RESUMEN.**

El objetivo de este proyecto es determinar si la longitud del bus es un parámetro que afecte de forma importante la calidad de la señal en el CAN bus. Se analizará el tiempo que le toma a una trama transmitirse dependiendo de la longitud del bus. También se tomarán mediciones en la caída del voltaje a diferentes longitudes.

#### **ABSTRACT.**

**The purpose of this paper is to determine if the length of the bus is an important parameter which affects the quality the CAN bus signal. It will be analyze the time it takes a message transmitted depended of the bus length. Measurements will be taken of voltage drop at different lengths.**

#### **1.- INTRODUCCIÓN.**

El protocolo CAN (Controllor Area Network) fue creada por el alemán Robert Bosch en 1980 como una solución para establecer una comunicación serial y robusta en aplicaciones automotrices. En 1992 fue utilizada por la clase S de Mercedes [1]. Es la más extendida y en la actualidad casi todos los automóviles cuentan con ella. Fue originalmente concebido para aplicaciones en el área automotriz, pero rápidamente despertó una creciente atención en el área de control y automatización, ahora es usado en numerosas aplicaciones industriales. El CAN es un bus serial para el envío y recepción de mensajes pequeños para el control en tiempo real. El mensaje a enviar consiste de entre 1 a 8 bytes y ha sido diseñado para operar hasta velocidades 1 Mbit/sec [2].

Es un protocolo de comunicación altamente difundido por la asociación CiA (CAN in Automation), la cual está constituida por reconocidos desarrolladores internacionales. El protocolo CAN implementa una comunicación basada en el mensaje, teniendo independencia de direcciones de origen y destino [3].

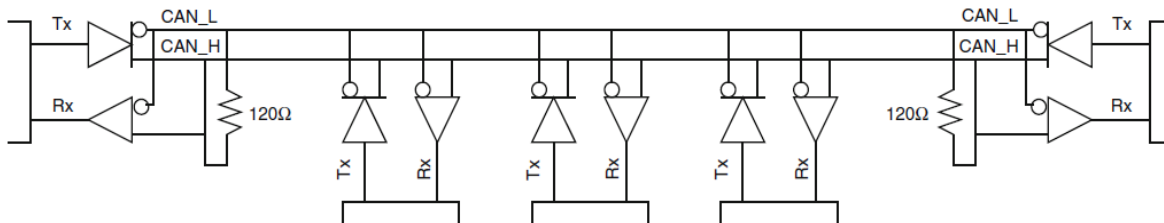
CAN es un bus de transmisión dónde un número de procesadores son conectados al bus vía una interfaz. Una fuente de datos es transmitida como un mensaje, consistiendo de entre 1 a 8 bytes. Una fuente de datos puede ser transmitida periódicamente, esporádicamente o por demanda. Por ejemplo, la velocidad de un motor o de una rueda puede ser codificada como un mensaje de un byte y transmitida cada 100 milisegundos. A la fuente de datos se le asigna un identificador único, representado como un número de 11 bits (dando 2048 identificadores). El identificador sirve para dos propósitos: filtrar la información al receptor indicado y para asignar la prioridad del mensaje [4]. En el protocolo CAN un mensaje no tiene destinatario.

**2.- CONCEPTOS DEL BUS CAN.**

**2.1 CAPA FÍSICA**

La capa física en CAN es responsable de la transferencia de bits entre los distintos nodos que componen la red. Define aspectos como, niveles de señal, codificación, sincronización y tiempos en que los bits se transfieren al bus. La transmisión de datos se realiza por impulsos eléctricos en forma de señal cuadrada a través de un bus de datos. Los buses utilizados en las redes CAN son bialámbricos, es decir, constan de dos cables entrelazados, llamados CAN High y CAN Low. Por cada cable del bus circula una señal cuadrada que varía entre dos valores, y siempre se cumplirá que ambas señales cuadradas son simétricas. De esta forma, la diferencia de tensión entre las dos líneas del bus solo puede tomar dos valores, representando cada uno de ellos un bit. El bit dominante o bit 0 representa la mayor diferencia de tensión entre señales. El bit recesivo o bit 1 representa la menor diferencia de tensión entre señales. Al transmitirse la información en forma de diferencia de tensión entre los dos cables, cualquier interferencia externa a la red afectaría de manera a las dos señales, manteniéndose el valor de la diferencia de tensión intacta y, por lo tanto, el mensaje. Al mismo tiempo al ser simétricas las señales de los dos cables, se anulan los campos magnéticos creados por los cambios de tensión [1].

Para la transmisión de la señal eléctrica el protocolo CAN requiere un cable con una impedancia nominal de 120 ohms, por lo tanto resistencias de terminación deben ser usadas como terminación en cada uno de los dos extremos del bus. Estas resistencias cierran el circuito eléctrico y evitan perturbaciones indeseadas en los datos transmitidos debido a fenómenos de reflexión; impiden que el mensaje rebote al llegar al final del bus. Si múltiples dispositivos (nodos) son conectados a lo largo del bus, sólo los dispositivos en los extremos del cable necesitan resistencias de terminación como se muestra en la figura 1. A las resistencias de terminación también se les conoce como elementos finales [1] [6].



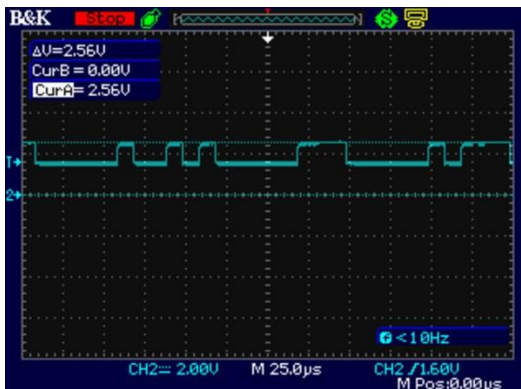
**Figura 1. Resistencias de terminación en los extremos del bus.**

Los valores de tensión suelen oscilar entre 1.5 y 2.5 volts en el cable CAN-L y entre 2.5 y 3.5 para el CAN-H. Los bits recesivo y dominante quedarían de la siguiente manera [5]:

Bit dominante: la tensión diferencial (CAN-H - CAN-L) es del orden de 2.0 V con CAN-H = 3.5 V y CAN-L = 1.5 V.

Bit recesivo: la tensión diferencial (CAN-H - CAN-L) es del orden de 0 V con CAN-H = CAN-L = 2.5 V.

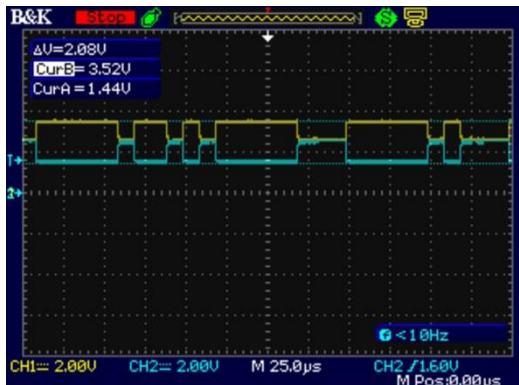
En las figuras 2a y 2b se muestran las señales medidas en las terminales de salida CAN-L y CAN-H con respecto a masa de una tarjeta CAN bus Shield de Sparkfun. Se observa que el voltaje de CAN-L es de 2.56 V y el de CAN-H es de 3.52 V. La figura 2c muestra que ambas señales son simétricas. Y la figura 2d nos indica el voltaje diferencial entre la señal CAN-H y CAN-L. El voltaje diferencial medido es de 2.08 V. El bus se encuentra transmitiendo a 100 kbps.



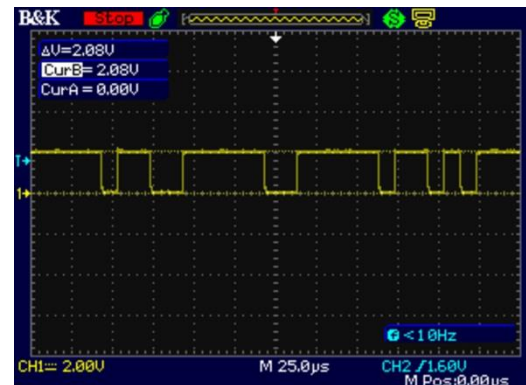
a) CAN-L



b) CAN-H.



c) Señales simétricas de CAN-L y CAN H



d) Señal diferencial en el bus

**Figura 2. Señales en los cables CAN-L y CAN-H.**

## 2.2 Protocolo de comunicación CAN bus

La comunicación entre nodos CAN se realiza, como en cualquier red de comunicación, siguiendo un protocolo. El protocolo es el "lenguaje" utilizado para transmitir el mensaje y debe ser conocido por el emisor y el receptor. Los mensajes o tramas de datos son series de bits en forma de ceros y unos que se agrupan en campos. Para poder leer estos mensajes hay que conocer los campos que los forman, que son los siguientes y se representan en la figura 2:

- Campo de inicio.
- Campo de estado o campo de identificación.
- Campo de control.
- Campo de datos.
- Campo de aseguramiento.
- Campo de confirmación.
- Campo de fin de la trama.
- Separador de tramas.

**i. Campo de inicio**

Formado por un bit dominante que indica el comienzo de la trama.

**ii. Campo de identificación**

El protocolo CAN requiere que todos los mensajes transmitidos tengan un identificador. El identificador está formado por 11 + 1 ó 29 + 3 bits esto debido a que el protocolo CAN soporta dos formatos, el CAN estándar (versión 2.0 A) y el CAN extendido (versión 2.0 B). Este identificador determina también la prioridad del mensaje.

**iii. Campo de control**

Formado por 6 bits que informan de la cantidad de información que contendrá el campo de datos que viene a continuación. De esta forma el receptor podrá así saber si ha recibido el mensaje completo. El primer bit indica si la trama es estándar, con un campo de estado de 11 bits (CAN 2.0 A), o, extendida con un campo de estado de 29 bits (CAN 2.0 B). Un bit dominante (0) indica una trama estándar y un bit recesivo (1) una trama extendida. El segundo bit es una reserva para futuras ampliaciones del mensaje, y los cuatro bits restantes indican la longitud en bytes del mensaje. Si estos cuatro bits son 0000 significa que no es una trama de datos.

**iv. Campo de datos**

Consta de un máximo de 64 bits (8 bytes) que contienen la información. Es decir, el mensaje puede contener de cero a 8 bytes de datos. Por ejemplo, si la información contiene cuatro bytes se envían únicamente 4 bytes.

**v. Campo de aseguramiento**

Formado por 16 bits para detectar errores en la transmisión. Este campo es el resultado de una serie de cálculos realizados a partir de los campos anteriores. El nodo receptor calcula el campo de aseguramiento y comprueba que coincida con el campo de aseguramiento enviado por el nodo emisor. Si detecta un error envía una trama de error compuesta por la señal de error y un limitador, el cual está formado siempre por 8 bits recesivos.

**vi. Campo de confirmación**

Formado por dos bits y en él los receptores indican al emisor si les ha llegado el mensaje completo o solicitan que lo envíe de nuevo. Estos bits son siempre enviados como recesivos, pero las unidades receptoras que tras calcular el campo de aseguramiento concluyen que han recibido bien el mensaje cambian el primero de estos bits por uno dominante.



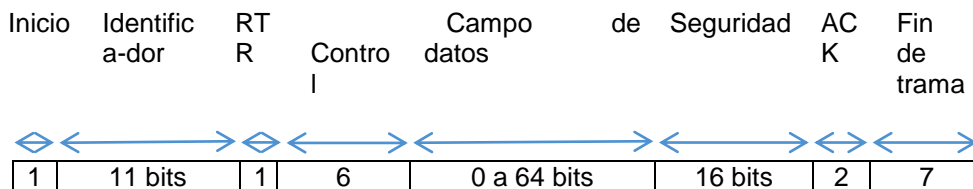
**vii. Campo de fin de la trama**

Cierra la trama, consiste en siete bits recesivos sucesivos.

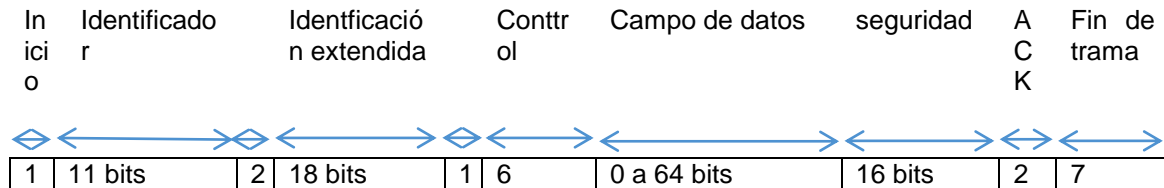
**viii. Separador de tramas**

El espacio entre tramas separa una trama de la siguiente trama de datos o interrogación remota. El espacio entre tramas consta de 3 bits recesivos. Estos bits van a continuación del campo de fin de la trama. Después de éstos tres bits que separan las tramas sigue un tiempo de bus en reposo. El tiempo de bus en reposo no es fijo, sino que varía según la situación del bus [1].

Transmisión estándar (CAN 2.0 A)



Transmisión extendida (CAN 2.0 B)



**Figura 2. Formatos de transmisión.**

**3.- VELOCIDADES DE TRANSMISIÓN EN EL PROTOCOLO CAN BUS.**

Tres principales características que determinan la aplicación de las diferentes redes de comunicación, son:

- Volumen de datos: Cantidad de datos que viajan por la red en cada envío.
- Velocidad de transmisión: Indica la cantidad de bits que son enviados en un segundo, o lo que es lo mismo, la cantidad de información por segundo. Se mide en bits por segundo (bps).
- Velocidad de respuesta: Velocidad que hay entre el momento de dar la orden y la respuesta del dispositivo [1] [7].

**Tabla I**

	Volumen de datos	Velocidad de transmisión	Velocidad de respuesta	Aplicación
Red de computadoras	Elevado	Elevado	Bajo	Lectura de datos
Detector de proximidad	Muy bajo	Bajo	Instantánea	Sistema de seguridad

**Tabla I. Características que determina la aplicación de las redes de comunicación.**

La tabla II, consultada en [4] y [5], muestra las longitudes máximas en metros que puede tener el bus dependiendo de la velocidad de transmisión.

**Tabla II**

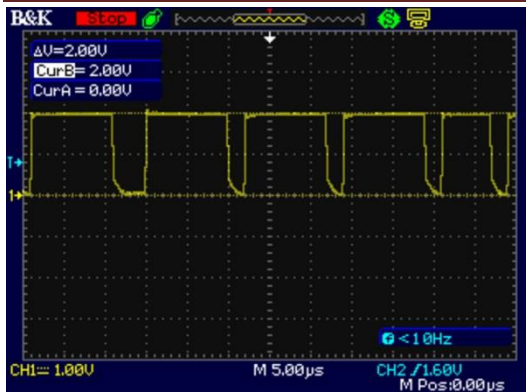
Velocidad	Tiempo de bit	Longitud máxima
1 Mbps	1 $\mu$ S	30 m
800 Kbps	1.25 $\mu$ S	50 m
500 Kbps	2 $\mu$ S	100 m
250 Kbps	4 $\mu$ S	250 m
125 Kbps	8 $\mu$ S	500 m
50 Kbps	20 $\mu$ S	1000 m
20 Kbps	50 $\mu$ S	2500 m
10 Kbps	100 $\mu$ S	5,000 m

**Tabla II. Velocidades de transmisión típicas.**

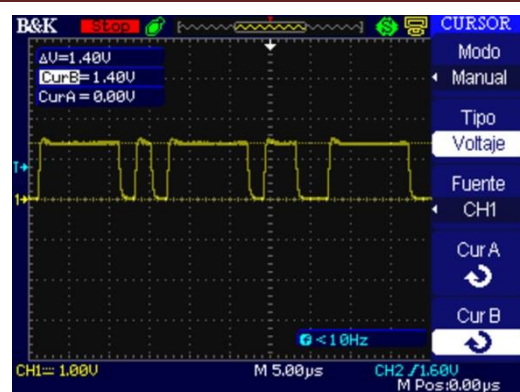
Conociendo la razón de bits por segundo y el número de bits de la trama se puede calcular el tiempo que tarda en transmitirse un mensaje (trama). Esto es válido despreciando el retardo ocasionado por la longitud del cable. Por ejemplo en transmisión estándar, considerando un mensaje 8 bytes se tendría una trama de 108 bits. Si se transmite esta trama a 500 Kbps entonces el tiempo de transmisión de la trama sería de 216  $\mu$ S.

#### **4.- CAÍDA DE VOLTAJE EN EL BUS.**

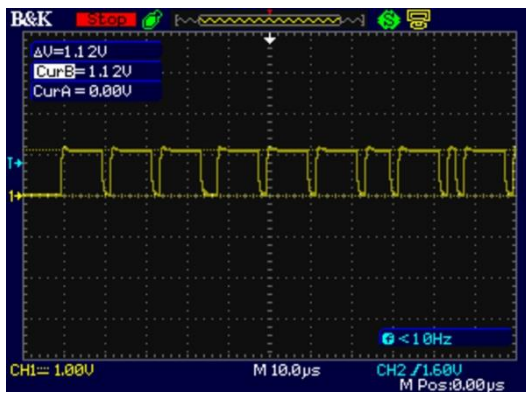
Para determinar que tanto afecta la longitud del bus en la calidad de las señales transmitidas se realizaron mediciones de amplitud a las señales del bus CA, usando para ello un osciloscopio digital, obteniéndose los siguientes resultados mostrados en la figura 3 y concentrados en la tabla II.



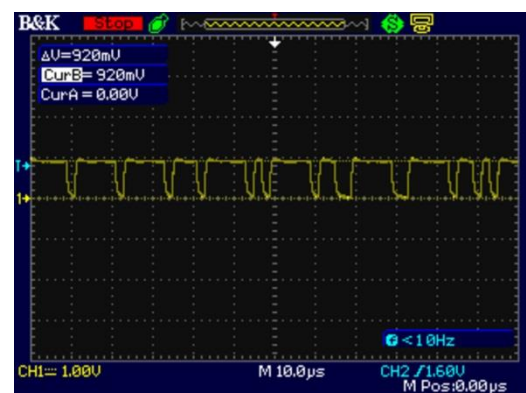
a) Amplitud de la trama a transmitir



b) Amplitud de la trama a 100 metros



c) Amplitud de la trama a 200 metros



d) Amplitud de la trama a 300 metros

**Figura 3. Caídas de voltaje en el bus CAN a diferentes longitudes.**

**Tabla II**

Velocidad	Longitud del bus	Voltaje en el bus	Datos recibidos correctamente	Longitud del bus	Voltaje en el bus	Datos recibidos correctamente
500 Kbps	2m	2.0 V	Sí	200 m	1.12 V	Sí
250 Kbps	2m	2.0 V	Sí	200 m	1.12	Sí
125 Kbps	2m	2.0 V	Sí	200 m	1.12	Sí
80 Kbps	2m	2.0 V	Sí	200 m	1.12	Sí
40 Kbps	2m	2.0 V	Sí	200 m	1.12	Sí
500 Kbps	100 m	1.4 V	Sí	300 m	0.92 V	Sí
250 Kbps	100 m	1.44	Sí	300 m	0.92 V	Sí
125 Kbps	100 m	1.44	Sí	300 m	0.92 V	Sí
80 Kbps	100 m	1.4	Sí	300 m	0.92 V	Sí
40 Kbps	100 m	1.4	Sí	300 m	0.92 V	Sí

**Tabla 2. Caídas de voltaje a diferentes longitudes de bus.**

## 5.- CONCLUSIONES.

Observamos que a mayor longitud de bus la velocidad de transmisión es menor, esto es para no degradar la información y como consecuencia no se pueda recuperar en el receptor. El tiempo de transmisión lo determina la velocidad de transmisión y el tamaño del mensaje que puede ser de 0 a 8 bytes. Las mediciones realizadas se realizaron con una longitud máxima de bus de 300 metros. Se observó caída de voltaje al incrementar la longitud del bus pero no afectó en la recepción de los datos. Se esperaban problemas en la recepción de los datos en el caso de 500 Kbps ya que la longitud máxima recomendada es de 100 metros. No se detectaron problemas en la recepción de los datos aunque la caída de tensión resultó ser más del 50%, de 2.0 V medidos en emisor se detectan 0.92 V en el nodo receptor localizado a 300 metros.

## 6.- REFERENCIAS.

1. Ma. José Llanos López, *Circuitos eléctricos auxiliares del vehículo*, (Paraninfo, España), 454, (2011).
2. Reinder J. Bril, Johan J. Lukkien, Rob I. Davis y Alan Burns, *Message response time analysis for ideal controller area network (CAN) refuted*, (University of York, England), 4, (2006).
3. Julián Andrés Vidal, Milton Sergio Zúñiga y Oscar A. Rojas, *Implementación de una red industrial CAN para un sistema SCADA*, (Grupo de I+D en Automática Industrial, Universidad del Cauca, Colombia), 6.
4. K. Tindell, A. Burns y A. Wellings, *Calculating controller area network (CAN) message response times*, (University of York, Department of Computer Science), 6, (1995).
5. Héctor Kaschel C. y Ernesto Pinto L., *Análisis protocolar del bus de campo*, (Universidad de Santiago, Chile), 7.
6. Marco Di Natale, Haibo Zeng, Paolo Giusto y Arkadeb Ghosal, *Understanding and using the Controller Area Network communication protocol*, (Springer, New York), 223, (2012).
7. Vicente Guerrero, Ramón L. Yuste y Luis Martínez, *Comunicaciones industriales*, (Alfaomega, España), 412, (2010).