

CONIEEM®

Noviembre 2016

Memorias



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE
MÉRIDA.
INSTITUCIONAL**

- MC. Mirna Manzanilla Romero
**Directora del Instituto Tecnológico de
Mérida.**
- DR. Victor Sandoval Curmina
**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.**

CONSEJO EDITORIAL

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

**XVI CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA DEL MAYAB
NOVIEMBRE 2016.**

CONIEEM es una publicación del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Mérida. Volumen XVI editada anualmente. **CONIEEM** está disponible en la dirección www.diee.net. Los artículos son responsabilidad de sus autores y no expresan necesariamente la ideología de la institución ni de la revista. En caso de citar la información de los contenidos se agradecerá dar los créditos a los autores, sus obras, así como a ésta fuente.

Dirección: Av. Tecnológico Km 4.5
S/N Col. Playn de Ayala, Código
Postal: 97118 Mérida, Yucatán
Teléfono (999) 9645000 Ext. 10801
ISSN 1665-0271

COMITÉ DE ARBITRAJE

Dr. Arnulfo Alanis Garza; Instituto Tecnológico de Tijuana, Mexico
Área Técnica: Potencia y Automatización

Dr. Miguel Ángel López Ramírez; Instituto Tecnológico de Tijuana, Mexico
Área Técnica: Potencia y Automatización

Ing. Iván Gil Domínguez; Instituto Tecnológico de Mérida
Área Técnica: Comunicaciones

Ing. Agustín Flores Novelo; Instituto Tecnológico de Mérida
Área Técnica: Electrica, Sistemas de Control

Dr. Jesús Sandoval Gio; Instituto Tecnológico de Mérida
Área Técnica: Control

Dra. Citlalih Yollohtli Alejandra Gutierrez; Instituto Tecnológico de Toluca
Áreas Técnicas: Ingeniería de Software, Procesamiento de Lenguaje Natural,
Inteligencia Artificial y Robótica.

Dr. Sergio Díaz Zagal; Instituto Tecnológico de Toluca
Áreas técnicas: Circuitos Microelectrónicos, Microsistemas y Robótica.

ISC. Felipe Alfonso Ordoñez Garcia, M.C.; Cd. Guzman
Área Técnica: Computación

Dr. Julio Ramirez V.; Tecnológico de Nogales,
Área Técnica: Redes Neuronales e Inteligencia Artificial

MC. José Agustín Hernandez Benítez; Instituto Tecnológico de Mérida
Área Técnica: Telecomunicaciones, Semiconductores.

Dr. Alejandro Castillo Atoche; Instituto Tecnológico de Mérida
Área Técnica: Procesamiento Digital de Señales.

Dr. José Ramón Atoche Enseñat; Instituto Tecnológico de Mérida
Área Técnica: Sistemas Digitales, Computación.

M.G.T.I. Eunice Alejandra Perez Coello; Instituto Tecnológico de Mérida. Área
Técnica: Computación.

CONTENIDO

1. AUTOMATIZACIÓN	6
1.1 EXPERIENCIA DE INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE LIBRE DISTRIBUCIÓN PARA EL ARMADO DE UN VEHÍCULO CONTROLADO POR UN DISPOSITIVO MÓVIL	6
1.2 AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO	16
1.3 ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE MIEL	25
1.4 SISTEMA DOMÓTICO CONTROLADO POR SEÑALES NEURONALES	30
1.5 DISEÑO DE UN SISTEMA MULTIPLAFORMA PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE UNA CASA INTELIGENTE BASADO EN EL INTERNET DE LAS COSAS	39
2. BIOMÉDICA	49
2.1 DETECCIÓN DE CONVULSIONES CON ACELERÓMETROS EN PACIENTES EPILÉPTICOS, PARA LA ACTIVACIÓN SELECTIVA DE UN SISTEMA DE CAPTURA DE MOVIMIENTO Y DE ELECTROENCEFALOGRAFÍA INALÁMBRICA	49
2.2 SISTEMA DE INTERACCIÓN PARA PACIENTES CON TETRAPLEJIA	67
2.3 DISEÑO DE UN FILTRO DIGITAL PARA LA EXTRACCIÓN DEL PULSO CARDIACO EN MEDICIONES FOTOPLETISMOGRÁFICAS.	74
2.4 Análisis de la fatiga muscular utilizando sensores inerciales	82
2.5 IDENTIFICAR RUTINAS DE EJERCICIO MEDIANTE EL RECONOCIMIENTO DE PATRONES DE SEÑALES ELECTROMIOGRÁFICAS.....	91
2.6 Diseño de prótesis-herramienta robótica de extremidad superior articulada en la muñeca (PROTHER).....	101
2.7 DIAGNÓSTICO ELECTROCARDIOGRÁFICO.....	107
(CARDATE)	¡Error! Marcador no definido.
2.8 ANALIZADOR EMG Y ECG	¡Error! Marcador no definido.
(SANTEC).....	¡Error! Marcador no definido.
2.9 Desarrollo de un sistema de detección de microaneurismas en imágenes de color de fondo.....	108
3. COMPUTACIÓN	117
3.1 Creation of a Muti-Social-Emotional Agent for the accomplishment of working groups with similar emotions.....	117
3.2 HERRAMIENTA QUE RECUPERA ERRORES EN ARCHIVOS GENERADOS POR EL COMANDO SPOOL DE SQLPLUS.....	127
3.3 PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE COMPONENTES PARA EL ENSAMBLADO DE UNA COMPUTADORA DE ALTO RENDIMIENTO.	140
4. CONTROL.....	149
4.1 SWING UP Y REGULACIÓN NO LINEAL DIFUSAS PARA SEGUIMIENTO DE TRAYECTORIAS DE UN SISTEMA SUBACTUADO	149
4.2 CONTACTO DE CARGAS ELÉCTRICAS ACTIVADAS POR DISPOSITIVO MÓVIL	161
4.3 INSTRUMENTO CONTROLADOR DIGITAL.....	170
5. ELÉCTRICA	179
5.1 Análisis de acondicionadoreS multientrada para aplicaciones de FUENTES DE energías renovables.....	179
5.2 ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE EXCITACIÓN EN AEROGENERADOR DE INDUCCIÓN DOBLEMENTE ALIMENTADO CONECTADO A RED	191
5.3 MÁQUINA ASÍNCRONA TIPO JAULA DE ARDILLA CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO PAR-DESLIZAMIENTO.....	200

5.4 MANTENIMIENTO PREDICTIVO A MOTOR SHUNT UTILIZANDO ARDUINO Y LABVIEW.....	209
6. ELECTRÓNICA DE POTENCIA	217
6.1 Inversor de voltaje con control remoto de frecuencia y tiempo vía bluetooth.....	217
6.2 LINEALIZACIÓN DE TERMISTORES NTC.....	227
7. PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES	231
7.1 DISEÑO DEL CONTROL PARA UN LEVITADOR NEUMÁTICO A PARTIR DE DATOS EXPERIMENTALES EN UNA RED CAN.....	231
7.2 Aplicación de las Redes De Sensores Para El Monitoreo Del Consumo Energético.....	242
7.3 AVANCES EN EL DISEÑO DE UN ALGORITMO PARA LA CLASIFICACIÓN EN TIEMPO REAL DE ACTIVIDADES FÍSICAS USANDO UN SISTEMA EMBEBIDO	249
7.4 READOUT ELECTRONIC BOARD AND DATA ACQUISITION SYSTEM FOR THREE-CHANNEL COSMIC RAY DETECTOR.....	261
8. ROBÓTICA.....	271
8.1 DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ROBOT MÓVIL DIDÁCTICO, TIPO PLATAFORMA INDUSTRIAL PARA TRANSPORTE DE MATERIALES	271
9. TELECOMUNICACIONES	282
9.1 ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE PUNTOS DE ACCESO INALÁMBRICOS DOMÉSTICOS EN LA CIUDAD DE CHETUMAL, QUINTANA ROO	282

1. AUTOMATIZACIÓN

1.1 EXPERIENCIA DE INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE LIBRE DISTRIBUCIÓN PARA EL ARMADO DE UN VEHÍCULO CONTROLADO POR UN DISPOSITIVO MÓVIL

Humberto J. Centurión Cardeña¹, Danice D. Cano Barrón¹, Walter I. Manzanilla Yuit¹
Oscar A. Eb Noh¹

¹Instituto Tecnológico Superior de Motul,
humberto.centurion@itsmotul.edu.mx, danice.cano@itsmotul.edu.mx,
walter.manzanilla@itsmotul.edu.mx, oscar.14110027@itsmotul.edu.mx

Línea temática: Tecnología Educativa

Palabras clave: Automatización, Control, Arduino, Bluetooth, Android

RESUMEN

Este trabajo presenta el desarrollo de una solución basada en la plataforma Android utilizando aplicaciones de libre distribución y materiales de hardware de bajo costo. La aplicación consiste en un vehículo que se controla vía Bluetooth desde un dispositivo móvil o tableta, donde el funcionamiento de los mecanismos de la tarjeta y el sistema electrónico del prototipo consiste en dos motores reductores conectados en un puente H, enlazado con una tarjeta Arduino. En términos de software se utilizó una aplicación de libre distribución para el control y manejo del vehículo que incluye una interfaz gráfica para movimientos básicos de avance, retroceso, así como traslados laterales.

ABSTRACT

This paper presents the integration process of integrating free distribution applications based in Android and low cost hardware materials. The application consists of a vehicle controlled via Bluetooth from a mobile device or tablet, an microcontroller. The, operating mechanisms, including the electronics of the prototype contain two gear motors connected in an H bridge linked to the Arduino. A free application that allows the control of the vehicle, including a graphical interface for basic movements: forward, backward and lateral transfers, was used in terms of software.

1. INTRODUCCIÓN

La robótica móvil es una valiosa herramienta para explorar entornos inaccesibles al ser humano por su lejanía, costo o peligrosidad y para realizar tareas desagradables o laboriosas. Es un campo relativamente nuevo, hasta hace poco experimental, pero que ya se está aplicando a problemas reales con resultados satisfactorios.

Desde el punto de vista académico el uso de elementos simples para el trabajo experimental se convierte en una decisión crítica para promover la motivación de observar físicamente conceptos teóricos que se estudian en clase de una manera simplificada que deja de lado aspectos muy técnicos de implementación y se centra en los fenómenos a utilizar. Además existe una tendencia generalizada que está desencadenando la expansión de productos de hardware libre de bajo costo

[1], que buscan aportar simplicidad, estandarización y, en resumen, facilidades a las diversas comunidades interesadas para hacer uso de estos dispositivos.

Al mismo tiempo, la rápida evolución de la tecnología ha desembocado en un conocimiento generalizado del uso y la familiarización de sistemas inalámbricos como tabletas o teléfonos móviles. El área de la educación poco a poco debe ser capaz de aprovechar la familiarización con esta tecnología y su inherente asociación al ocio para explotar su uso como herramienta formativa.

Este artículo presenta la experiencia de utilizar diversas plataformas de hardware y software orientadas a la integración de dispositivos de bajo costo junto con la adecuación de una interfaz sencilla e intuitiva de un sistema de libre distribución, a la vez de incorporar el uso de tabletas o teléfonos móviles con Android para interactuar con ella.

2. LOS ROBOTS MÓVILES

Las investigaciones tradicionales en el área de robótica consideraban que los entornos en donde operaban los robots eran de tipo estructurado, entendiéndose que se les puede definir su configuración de forma precisa (qué objetos existen, forma de los mismos, posición en la que se encuentran, etc.), ya sea porque el ambiente permanece inalterable en el tiempo, o bien porque los cambios que pueden darse son predecibles y, en consecuencia, pueden ser formalizados en términos computacionales. En este sentido, se puede afirmar que el enfoque tradicional en robótica asume un perfecto conocimiento del entorno de operación del robot y de las consecuencias que conlleva cada acción que éste realiza, de modo que le permita al diseñador fijar políticas preactivas y de contingencia a los efectos de poder prever resultados no deseados [4].

En la medida en que estos ambientes comenzaron a manifestar la necesidad de efectuar cambios para optimizar su producción, aplicable al caso de robots que operan en ambientes dinámicos, es decir, que son cambiantes en el tiempo y no totalmente conocidos es que se vuelve muy difícil de prever los numerosos cambios que demandan estos entornos, o en caso de que se puedan prever, el volumen de información a procesar en este sentido sería demasiado grande.

Hoy en día, la robótica es un campo de trabajo mucho más amplio que el de hace algunos años. Esta área trata con investigación y desarrollo en una serie de áreas interdisciplinarias, que incluyen cinemática, dinámica, planificación de sistemas, control, sensores, entre otros. Debido a ello la navegación de un robot móvil, a través de un entorno con presencia de obstáculos es posible. Se conocen diferentes esquemas para llevar a cabo esta tarea, pero todos ellos tienen el objetivo común de dirigir el vehículo hacia su destino de la manera más segura y eficiente posible. La capacidad de reacción que pueda poseer el robot cuando se encuentra ante situaciones inesperadas, debe constituir su cualidad más distintiva para desenvolverse eficazmente en el entorno donde este deba operar, lo cual indica el grado de autonomía que este posee.

La navegación eficaz de un robot es aplicable a múltiples disciplinas, entornos industriales, y lenguajes de programación, la inteligencia de máquina puede obtenerse desarrollando algoritmos para su control, tales como: seguimiento de línea, seguimiento de pared, detección de marcas distintivas, etc. [5]. Estos algoritmos representan las implementaciones de esquemas de control y de toma de decisiones y pueden basarse en técnicas que emplean desde teorías de control, como la clásica o la moderna, hasta los métodos de la inteligencia computacional, como la lógica difusa o las redes neuronales.

3. TECNOLOGÍAS EMPLEADAS

Uno de los principales elementos para el diseño y desarrollo del prototipo es la forma en la que diversas tecnologías se utilizarán para poder procesar y manipular la información relacionada con las variables de control. A continuación se describen las características de los componentes que

conforman el módulo de automatización y comunicación así como las particularidades del software para el dispositivo móvil.

3.1 Microcontrolador

Para el procesamiento de los datos se utilizó la placa denominada Arduino UNO que se basa en el microcontrolador ATmega 328 y contiene todo lo necesario para proporcionar soporte al microcontrolador. Una de sus principales ventajas es que para su funcionamiento básico sólo requiere de ser conectada a una computadora vía cable USB ó a un adaptador AC-DC o a una batería, en la Figura 1 se puede observar la vista superior de la placa.



Figura 1: Vista del Arduino Uno.

Las principales características técnicas que hacen versátil este microcontrolador son su rango de alimentación así como el número de entradas analógicas y digitales con las que cuenta [6]. Se consideró además que la velocidad de su reloj resulta suficiente para el desarrollo ya que se sincroniza con la velocidad del módulo de comunicación y por lo tanto cuenta con la capacidad de procesamiento necesaria para resultados óptimos. En la Tabla I se pueden observar las principales características técnicas que se consideraron para el proyecto.

TABLA I

Característica	Rango
Tensión de funcionamiento	5 V
Voltaje de entrada	7 - 12 V
Pines Digitales I/O	14 (6 con salida PWM)
Pines de entrada analógica	6
Corriente de pines I/O	40 mA
RAM	2 KB

EEPROM	1 KB
Velocidad de reloj	16 MHz

Tabla I. Características del microcontrolador

3.2 Módulo Bluetooth

Bluetooth es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM (Industrial, científica y médica, por sus siglas en Inglés) de los 2,4 GHz. Los principales objetivos que se pretenden conseguir con esta norma son:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos.
- Eliminar los cables y conectores entre éstos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales.

El módulo Bluetooth empleado en el proyecto es el HC-05 que utiliza el protocolo UART RS232 Serial, y es ideal para el desarrollo de aplicaciones inalámbricas debido a su bajo costo y su función como esclavo y maestro. Sin embargo existe el módulo Bluetooth HC-06 que viene configurado de fábrica para trabajar solo como esclavo. En el modo maestro puede conectarse con otros módulos Bluetooth, mientras que en el modo esclavo queda a la escucha peticiones de conexión. En la Figura 2 se muestra el chip para soldar o montar sobre tarjetas de desarrollo, con los pines necesarios para realizar la comunicación.



Figura 2: Módulo Bluetooth (a) frente y (b) parte trasera.

Como se aprecia en la Figura 2 el módulo utilizado únicamente dispone de 4 pines para realizar la comunicación con el microcontrolador que son los pines de alimentación, tierra, transmisión y recepción. Los módulos de comunicación tienen la ventaja de que trabajan con un voltaje comprendido entre 3.3 V y 6 V máximo [2]. Las principales características eléctricas de este tipo de tarjeta se observan en la Tabla II.

TABLA II

Características
Compatibilidad con el protocolo Bluetooth V2.0

Voltaje de operación 3.3
Baud Rate ajustable 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400 baudios
Tamaño en cm: 4.4 x 1.6 x 0.7
Corriente de operación < 40 mA

Tabla II. Descripción de las características eléctricas del Bluetooth

3.3 Puente H

Un Puente en H es un circuito electrónico que permite a un motor eléctrico DC girar en ambos sentidos, avance y retroceso. Son ampliamente usados en robótica y como convertidores de potencia. Los puentes H están disponibles como circuitos integrados, pero también pueden construirse a partir de componentes discretos.

El término "puente H" proviene de la típica representación gráfica del circuito. Un puente H se construye con 4 interruptores (mecánicos o mediante transistores). 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 [3]. Abriendo los interruptores S1 y S4 (y cerrando S2 y S3), el voltaje se invierte, permitiendo el giro en sentido inverso del motor. A continuación, en la Figura 3, se presenta la conexión típica para controlar el giro de un motor.

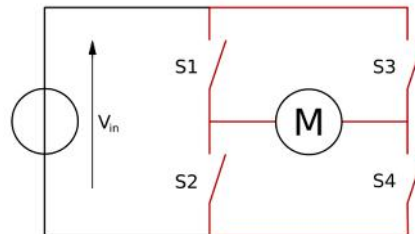


Figura 3: Configuración eléctrica de un puente H.

3.4 Android

Android es un sistema operativo de código abierto orientado inicialmente a dispositivos móviles táctiles como Smartphone o tabletas, aunque en la actualidad podemos encontrarlo en una multitud de dispositivos: ordenadores, consolas, cámaras de fotos, relojes de pulsera, gafas de realidad aumentada, etc. Fue desarrollado inicialmente por la empresa Android Inc., a la que Google respaldó financieramente hasta que la adquirió en 2005. Más tarde en 2007, Android pasaría a ser el principal producto de la Open Handset Alliance, un consorcio de compañías desarrolladoras de software y hardware, entre las que destacan: Intel, Samsung, LG, Motorola, TMobile, Qualcomm, etc., y cuyo objetivo era desarrollar estándares abiertos para dispositivos móviles. Google liberó la mayoría del código de Android bajo licencia Apache, una licencia libre y código abierto [8].

3.4.1 ArduDroid

ArduDroid es una aplicación de libre distribución que sirve para controlar un Arduino Uno desde un teléfono Android a través de una comunicación Bluetooth, la interfaz se muestra en la Figura 4. Esta

aplicación sirve para enviar comandos de texto para controlar un relé que permiten encender y apagar dispositivos, controlar un servo motor, aumentar o disminuir la velocidad de un motor, cambiar la dirección de un motor, encender un ventilador, apagar una luz, finalmente permite leer los pines asociado a un sensor y transmitir los datos a un celular con Android [9].



Figura 4: Interfaz de la aplicación.

4. DISEÑO DEL MÓDULO

En este apartado se describe la parte de hardware del proyecto, como se configuro el vehículo para la integración de la placa Arduino y el módulo Bluetooth para poder dirigirlo desde un dispositivo móvil. Antes de empezar con la elaboración del proyecto es importante mencionar que se deben consultar la hoja de datos de cada pieza electrónica a usar debido a que cada tarjeta tiene especificaciones y precauciones de uso, esto se recomienda para no dañar ningún componente.

4.1 Acondicionamiento de los motores reductores

Antes de comenzar el armado del vehículo con sus materiales electrónicos, lo primero que se realizó fue seleccionar una estructura lo suficientemente amplia para que se puedan colocar todas la piezas y así darle un perfecto y óptimo funcionamiento. Se comenzó a adaptar los motores reductores en la parte trasera de la estructura para que tenga un buen desempeño al momento de hacer los movimientos de desplazamiento, quedando como se muestra en la Figura 5.

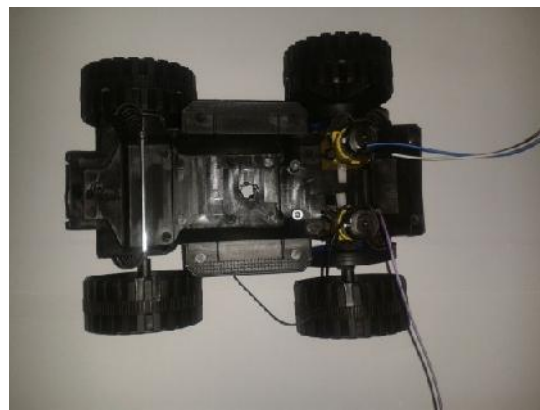


Figura 5. Montaje de los motores reductores

4.2 Puente H

Para conectar los cables del motor reductor en el puente H a los que salen de los motores reductores se soldaron con anterioridad, por lo consiguiente procedemos a su instalación en el Arduino, se debe de considerar que esta conexión se elaborará una vez ya hecha la conexión del puente H con los motor reductores. En el Arduino se utilizan 4 pines que van directo al puente H, tal y como se ve en la Figura 6, esos pines son los controladores de los motor reductores y los podemos conectar en cualquier pin digital del Arduino, en este caso en nuestro trabajo utilizamos los pines 7, 8, 9 y 10. Los otros dos pines sobrantes que no están conectados en el controlador ya que son de alimentación y son los pines de entrada de tierra y voltaje, los cuales podemos conectarlo directamente en el Arduino o podemos conectarlo a una fuente independiente ya sea con un porta pila de 4 espacios de pilas AA o una pila de lupo eso es opcional debido a que los motor reductores necesitan de una alta concentración de energía para que trabajen al 100%. Para este proyecto se trabajó con una fuente externa.



Figura 6. Conexión del puente H

Los pines seleccionados representan las acciones de control que dan movimiento al vehículo quedando como se presentan en la tabla 3.

TABLA III

PIN	Acción
7	Motor derecho adelante
8	Motor derecho atrás
9	Motor izquierdo adelante
10	Motor izquierdo atrás

Tabla III. Configuración de los pines de control

4.3 Conexión del módulo Bluetooth

Ahora procedemos a hacer el siguiente paso de nuestra conexión la cual es la instalación del módulo Bluetooth en el Arduino siguiendo estos pasos, quedando la conexión como se presenta en la figura 7.

- El pin 1 del Arduino se conecta con el pin RXD del módulo Bluetooth
- El pin 0 del Arduino se conecta con el pin TXD del módulo Bluetooth
- El pin de 5 volts del Arduino se conecta al pin VCC del módulo Bluetooth
- El pin GND del Arduino se conecta al pin GND del módulo Bluetooth

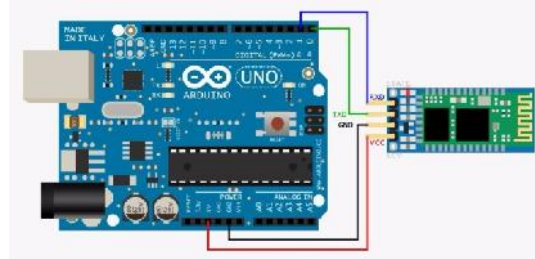


Figura 7. Conexión del módulo Bluetooth

4.4 Vinculación con el dispositivo móvil.

En este apartado se describe el procedimiento para vincular el módulo Bluetooth con la tarjeta controladora y el teléfono celular utilizando la aplicación Arduroid. En primera instancia se configuró el módulo Bluetooth, en este caso se trabajó con el módulo HC-05, que estará recibiendo las instrucciones que se manden desde el teléfono celular, por lo que se configura vía comandos AT para usarlo en modo esclavo. Otro parámetro que fue importante configurar fue la velocidad de transmisión ya que es necesario que los dos dispositivos transmitan con la misma velocidad para tener una comunicación exitosa, en este caso se estableció 9600 baudios. Para verificar que el módulo estuviera trabajando en modo de comandos AT, en la tabla 4 se presentan los estados de operación del módulo. Finalizada la configuración del módulo, este quedó en espera de una conexión y es así como se utilizó en el proyecto.

Tabla IV

ESTADO	LED
Esperando una conexión	Parpadeo constante
Modo de comandos AT	Enciende y apaga cada 2 segundos
Conectado a algún dispositivo	Parpadea 2 veces y se apaga 3 segundos

Tabla IV. Estados de operación del módulo Bluetooth

Para poder enviar instrucciones desde el dispositivo Android, se necesita instalar una aplicación, que en este caso es ArduDroid, y activar el Bluetooth del celular para conectarlos. Durante la búsqueda de dispositivos a vincular se debe visualizar el HC-05. Lo anterior va a permitir que, como se observa en la figura 8, se vincule el dispositivo celular con la tarjeta de control mediante una comunicación inalámbrica Bluetooth y poder accionar los motores que permitan el desplazamiento del vehículo.



Figura 8. Vinculación de los componentes

5 RESULTADOS Y TRABAJOS FUTUROS

Como resultado de esta experiencia de haber integrado diversas tecnologías que permiten experimentar la implementación de un control a distancia de un vehículo, se obtuvo una competencia procedimental por parte de los estudiantes, permitiendo enfocarse en los resultados y requerimientos de la aplicación.

Las tecnologías utilizadas cuentan con la ventaja de ser de código abierto lo que permite adaptarlas a una amplia variedad de aplicaciones para soluciones particulares. El modificar las condiciones mecánicas del vehículo para integrar los motoredutores que dan movimiento permitió desarrollar la creatividad de los estudiantes para adaptarse a diferentes requerimientos y situaciones.

Otra ventaja de este tipo de proyectos es que permiten la integración de diferentes áreas como la electrónica, control, automatización y programación permitiendo a los estudiantes la oportunidad de utilizar conocimientos revisados durante su formación académica de manera sencilla.

Como principal problemática en el desarrollo de esta aplicación, se encontró que el dispositivo presenta ciertas imprecisiones para movimientos en curvas muy cerradas.

Como parte de los trabajos futuros se contempla la opción de regular la velocidad de los motores lo que permitiría mayor precisión a los movimientos, igualmente resultaría interesante integrar video a bordo del vehículo lo que daría una gran versatilidad de usos. Desde el punto de vista educativo resultaría interesante integrar a estudiantes de diferentes carreras en la realización de experiencias similares y observar sus curvas de aprendizaje.

REFERENCIAS

1. A. Soriano., R. Marín., A. Cazalilla. *Plataforma robótica de bajo coste y recursos limitados basada en Arduino y dispositivos móviles*. España: Universidad Politécnica de Valencia. (2012).

2. J. Sánchez. *Aplicación para Android para el control de un vehículo a través de un trazo*. Universidad Politécnica de Cartagena. (2013).
3. E. Carletti. *Manejo de potencia para motores con el integrado L293*. (en línea). http://robots-argentina.com.ar/MotorCC_L293D.htm [consulta: 12 de abril de 2016]
4. A. Hossian., G. Monte., V. Olivera. *Análisis del comportamiento de robots móviles con RNA. Un acercamiento desde el paradigma recreativo*. Revista Latinoamericana de Ingeniería de software, 1(1): 18-24, ISSN 2314-2642. (2013).
5. J. Segovia., J. Benítez. *Robots móviles y sistemas remotos en aplicaciones nucleares. Contribuciones del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares al avance de la ciencia y la tecnología en México*. 389-406. Cap. 23. (2010).
6. ARDUINO. "Arduino". (en línea). <http://www.arduino.cc/es/>. [consulta: 22 de abril de 2016]
7. R. Pressman. *Ingeniería de Software: Un enfoque práctico*. (España: McGraw Hill Interamericana). (2010).
8. S. Pérochon. *Android: Las bases para un buen inicio en el desarrollo para Smartphones y tabletas*. (España: Ediciones ENI). (2012).
9. TechBitar. *ArduDroid: A Simple 2-Way Bluetooth-based Android Controller for Arduino*. (en línea). <http://www.techbitar.com/ardudroid-simple-bluetooth-control-for-arduino-and-android.html> [consulta: 10 de septiembre de 2016]

1.2 AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO

José Fidel Rodríguez Huerta, Gustavo Martínez Pérez, José Agustín Narváez Ruiz,
Jorge Julio Méndez Bonilla

Instituto Tecnológico de Mérida.

jfrh78@yahoo.com.mx, gustavmp13@gmail.com, silverjosejosesilver@hotmail.com,
ybonillad25@hotmail.com

1.- RESUMEN

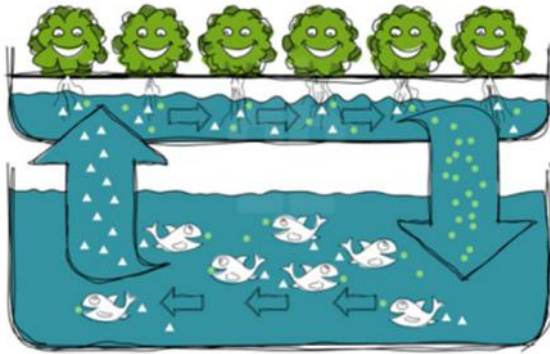


figura 1 Sistema acuapónico Fuente:
<http://www.las2orillas.co/la-excrecion-de-peces-nuestra-comida/>

Un sistema acuapónico es la mezcla de dos sistemas de cultivo orgánico: la acuicultura y la hidroponía. Estos sistemas no cuentan con un control, lo que provoca una producción no eficiente. En la acuicultura se crían peces de estanque, una de las especies más utilizada es la tilapia. El agua de estos sistemas, al momento de contaminarse, se desecha, eliminando en conjunto con el vital líquido diversos microorganismos que servirían como alimento a las plantas. Al utilizar el agua de los peces en el cultivo hidropónico evitamos el desperdicio de agua y cultivamos plantas sin el uso de algún químico externo, lo cual podría contaminar el producto. A su vez las plantas filtraran el agua y entregan nutrientes que los peces aprovecharían al momento de regresar el agua al estanque de los peces. De esta forma se crea un ciclo y un ecosistema completo. Al automatizar este proceso se garantiza la efectividad y la calidad de la producción de plantas y peces.

Un sistema acuapónico es la mezcla de dos sistemas de cultivo orgánico: la acuicultura y la hidroponía. Estos sistemas no cuentan con un control, lo que provoca una producción no eficiente. En la acuicultura se crían peces de estanque, una de las especies más utilizada es la tilapia. El agua de estos sistemas, al momento de contaminarse, se desecha, eliminando en conjunto con el vital líquido diversos microorganismos que servirían como alimento a las plantas. Al utilizar el agua de los peces en el cultivo hidropónico evitamos el desperdicio de agua y cultivamos plantas sin el uso de algún químico externo, lo cual podría contaminar el producto. A su vez las plantas filtraran el agua y entregan nutrientes que los peces aprovecharían al momento de regresar el agua al estanque de los peces. De esta forma se crea un ciclo y un ecosistema completo. Al automatizar este proceso se garantiza la efectividad y la calidad de la producción de plantas y peces.

2.- ABSTRACT

An aquaponics system is the mix of two systems of organic farming: aquaculture and hydroponics. These systems have no control, which causes an efficient production. In aquaculture fish pond, one of the most commonly used species is tilapia are raised. The water in these systems, when contaminated, discarded, eliminating altogether the vital liquid various microorganisms serve as food for plants. By using water fish in hydroponics we avoid wasting water and grow plants without the use of an external chemical, which could contaminate the product. In turn leaked water plants and deliver nutrients that fish take advantage when returning the water to the pond fishes. Thus a cycle and a complete ecosystem are created. By automating this process effectiveness and quality of production plants and fish it is guaranteed

3.- ANTECEDENTES

La mala calidad en la alimentación y el uso de químicos en el proceso de cultivo de los vegetales, originaron la idea de cultivar con el sistema de hidropónico, ya que durante todo el proceso los vegetales crecen en un ambiente acuático. La acuaponía es una técnica de cultivo en la cual se obtienen tanto vegetales como peces en un mismo sistema de producción. Es la combinación de un sistema acuícola con uno hidropónico el cual las plantas reciben la mayoría de nutrientes necesarios para su crecimiento óptimo directamente del agua de cultivo de los peces. Los residuos fecales de los peces son ricos en nutrientes para las plantas, (Cooper, 1988) “Las plantas actúan como un filtro para absorber las sustancias tóxicas para los peces, el agua es previamente tratada por algunas bacterias benéficas. El papel de las bacterias es convertir los residuos fecales de los peces en compuestos más aprovechables para las plantas y menos tóxicos para los peces.”



Figura 2 Sistema acuapónico casero.

Fuente:

http://img.scoop.it/z9kGM4eheDp8A6eKv74KEIXXXL4j3HpexhjNOF_P3YmryPKwJ94QGRtDb3Sbc6KY

4.- SISTEMA ACUAPÓNICO AUTOMATIZADO

El sistema que se plantea, permite una recirculación del agua, la cual ayuda a reducir el consumo, favorece al crecimiento de vegetales orgánicos libres de agroquímicos y genera un mayor ahorro en el proceso productivo.

Para mejorar este sistema se implementará la automatización la cual será controlada por un Controlador Lógico Programable (PLC), el cual se encargará de interpretar las señales del sistema acuapónico y controlará el flujo de agua a través de todo el sistema acuapónico, la alimentación de los peces y los niveles químicos de las plantas y peces.

Monitorizando las variables químicas (amoníaco, pH, nitratos), niveles de agua, alimentación e iluminación, se conseguirá tener a las plantas y peces en óptimas condiciones para su crecimiento



Figura 3 PLC Zelio. Fuente:

<http://www.schneider-electric.com/en/product-image/41148-zelio-logic>

4.1 - Elementos de un sistema acuapónico

En este sistema se implementará un cultivo acuapónico que consta de tres secciones:



Figura 4. Secciones del Sistema Acuapónico Automatizado Fuente: elaboración propia

4.1.1 - Estanque de los peces:

El estanque de los peces es una parte fundamental para un sistema acuapónico que permite la crianza de peces de forma práctica y portátil con un simple proceso de alimentación y cambio de agua cada determinado tiempo. Se combinó con el cultivo hidropónico ya que el agua que se cambia de los peces contiene propiedades químicas las cuales son compatibles con el cultivo hidropónico, para que esta combinación se lleve a cabo un ciclo donde se planea mantener el movimiento del agua del cultivo hidropónico al estanque de los peces y del estanque de los peces al cultivo hidropónico.



Figura 5 Estanque de peces para fines ilustrativos. Fuente: http://www.elestanque.com/articulos/estanque_para_kois/elestanque47.jpg

El estanque cuenta con una bomba de agua la cual extraerá el agua con los nutrientes mediante una sonda del fondo del estanque y ayudara en la recirculación en el sistema.

El estanque igual contara con un dosificador de alimento, el cual controlaremos para proporcionar el ambiente óptimo para los peces y los nutrientes necesarios para las plantas, esto mediante sensores que nos indicaran sus necesidades.

El volumen del estanque está en función directa del número de plantas y especies a cultivar como por ejemplo: el tomate, especie de gran desarrollo que en pleno período productivo y en verano, consume un volumen aproximado de 2,5 litros por planta y por día, de solución nutritiva diluida, como se muestra en la sig. Tabla:

Tabla I Ejemplo de ocupación superficial de las plantas Fuente: (Adams, 1994)

Especie	Volumen aproximado de solución consumida (l planta/día)	Densidad de plantación (planta/m ²)	Capacidad aproximada del estanque (2) (l/m ²)
Lechuga	0.3	24	9
Tomate	2.5	5	16
Pepino	3.0	5	19

4.1.2.- Cultivo hidropónico:

En esta parte implementaremos dos tipos de cultivo hidropónico, el sistema de camas con sustrato sólido y sistema de solución nutritiva re circulante.

- *Sistema de cama con sustrato solido*

Se utiliza este sistema como bio filtro, además de brindar un soporte a las raíces de las plantas y mantener un nivel de oxígeno y humedad estables. (Adams, 1994) “Esta

cama funciona mediante drenado y con un sustrato (piedra volcánica) comúnmente llamado tezontle.”

Esta cama cuenta con censado de nivel de agua que nos permitirá controlar el caudal que nos proporcionara la bomba.



Figura 6 Sistema de cama con sustrato solido Fuente: <http://www.dforceblog.com/wp-content/uploads/2011/03/hidroponia-casera-300x198.jpg>

- Sistema de solución nutritiva re circulante.

Con la implementación de este sistema se aprovecha al máximo los nutrientes que se generan en el estanque de los peces, ya que como su nombre lo indica al recircular el agua con los nutrientes a través de este sistema las plantas absorben los nutrientes necesarios para su desarrollo óptimo.

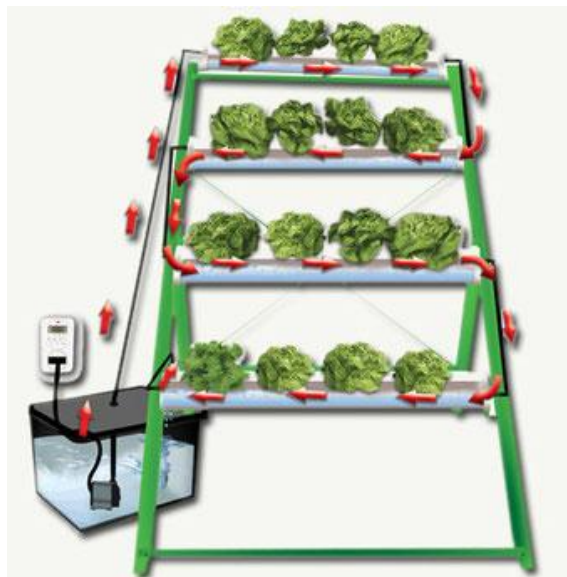


Figura 7 Sistema de solución nutritiva re circulante Fuente:
<https://image.jimcdn.com/app/cms/image/transf/dimension=341x10000:format=jpg/path/scc05bd40e3915f2f/image/i279735668ffe8ff0/version/1370062323/image.jpg>

Con la implementación de estos dos métodos de hidroponía se genera un ahorro en los costos de producción y aumentara la eficiencia de absorción de nutrientes en las plantas al generar una recirculación de ellos a través los dos sistemas.

En esta combinación el primer sistema nos brinda como función primaria la elaboración de nutrientes con el sustrato funcionando como bio filtro y así mediante el drenado le proporciona al segundo sistema una mejor calidad de nutrientes y con esto mejorar la absorción de las plantas de este sistema.

4.2. - Control automatizado:

Con el control automatizado se pretende controlar todo el sistema acuapónico, mediante un PLC, se mantendrá un censado constante de humedad en las plantas y de pH en el estanque de los peces al igual se podrían medir algunos datos específicos como el amonio y el nitrato, ya que estos dos compuestos son tóxicos para los peces y a su vez son los elementos principales para un cultivo hidropónico.

Con esto en mente se genera un ciclo entre la acuicultura y la hidroponía en donde el controlador maneja la bomba de agua que se encarga de distribuir el agua de los peces al cultivo hidropónico y de la alimentación de los peces dependiendo del resultado de los sensores.

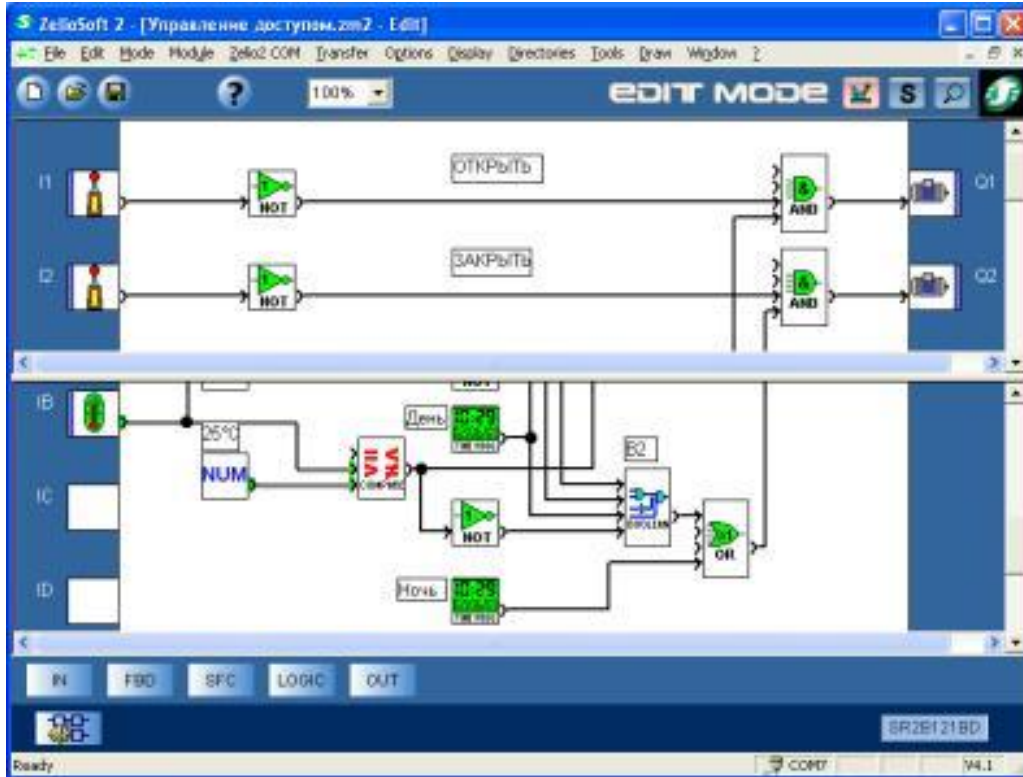


Figura 8 Software de programación del PLC en la etapa de control automatizado Fuente: [http://www.nek2000.ru/UserFiles/tmp_clip_image0061\(1\).jpg](http://www.nek2000.ru/UserFiles/tmp_clip_image0061(1).jpg)

5.- CONCLUSIONES

Este sistema acuapónico no es nuevo, lo que se está innovando es la automatización del mismo, gracias a la versatilidad de espacios, necesidades y circunstancias, es casi imposible tener un modelo específico de sistema. Sin embargo la automatización se podría implementar en todos los escenarios posibles

La ONU dice, para 2050 cerca de 10,000 mil millones de habitantes vivirán en el planeta tierra. (Organización de las Naciones Unidas, 2012). Y la primera pregunta que se nos viene a la mente es, ¿Cómo alimentaremos a tantas bocas? La respuesta está enfrente de nosotros, anteriormente se ha explicado lo que es la Acuaponia como sistema de crecimiento sustentable de alimentos, en un espacio relativamente pequeño se puede tener una producción bastante razonable y lo más importante las hortalizas cosechadas estarán libres de pesticidas y 100% orgánicas. (Dougias, 1990) " El uso del Agua es de suma relevancia, donde por ejemplo en un ambiente al aire libre apenas y se pierde el 15% del agua en el sistema debido a la evaporación."

La Acuaponia en el punto de vista de Ingeniería detectamos una necesidad que el sistema actual necesita: cómo automatizar el proceso de verificación de parámetros químicos, sabemos que trabajamos con peces los cuales crean desechos y que a su vez estos desechos terminan pasando donde están las raíces de las plantas, se necesita hacer un muestreo constante de parámetros para verificar que todo el proceso sea exitoso, donde el pH es de suma importancia para el sano

crecimiento de las plantas y la Amoniaco y el Nitrato son letales para los peces, en un sistema convencional cuentas con un biólogo que hace muestreos diarios de hasta 4 veces, este proceso termina siendo exhaustivo, en el punto de vista ingenieril nosotros queremos eliminar con este tedioso proceso con la ayuda de sensores de dichos parámetros químicos que facilitarían no sólo eso sino que entra en armonía con la automatización general del sistema.

Finalmente al inicio de abrimos con una pregunta que ha sido el dolor de cabeza de muchas personas y fue “¿Cómo alimentaremos a 10,000 mil millones de bocas?” la respuesta está entre la historia y cultura de nuestro país: Las chinampas eran terrenos de cultivo hechos a mano literalmente, fueron construidas por los agricultores en áreas de lo que es hoy la ciudad de México entre el siglo XV y XVI, el caso de la chinampa, en la que posiblemente el atractivo principal para sus creadores fue la extraordinaria fertilidad del suelo y que valió la pena de invertir cuantiosa mano de obra para construirlas. Suelo fértil y agua en abundancia, convirtieron en un sistema de producción intensiva sin rival en la historia y es el precursor de la Acuaponia moderna, no sólo es inteligente re-introducir algo que es propio de nuestros ancestros si no reinvertirlo. Nuestros sabios ancestros tenían la respuesta de uno de los mayores problemas que la humanidad va a enfrentar más de mil años antes.

6.- RESULTADOS

De acuerdo a las investigaciones realizadas, se observó que los sistemas ya existentes en el mercado carecían de una automatización en el sistema, aun con la falta de esta, los sistemas proporcionan buenos resultados a largo plazo, con esto en mente nuestro prototipo pretende reducir de corto a mediano plazo la producción de hortalizas con una óptima calidad.

Gracias a la versatilidad del sistema automatizado, se puede implementar para diversas necesidades (tamaño, demanda, consumo propio, etcétera.), debido a que es un proyecto integral (biológico, ambiental y tecnológico) permite la aplicación en diversas áreas, por ejemplo en el área educativa se puede implementar huertos para el aprendizaje en escuelas públicas, al igual se puede implementar en los hogares con fines de autoconsumo a un bajo costo y cien por ciento orgánico.

Como resultado principal a obtener con este prototipo se pretende ahorrar recursos, creando no solo sustentabilidad si no también rentabilidad al aplicar dicha tecnología.

7.- BIBLIOGRAFÍA

1. Adams, P. (1994). *Nutrition of greenhouse vegetables in HFT and Hydroponics system*. Estados Unidos: Acta Horticulturae.
2. Agronomicas, F. d. (2009). *Manual de cultivo de tomate*. Obtenido de Universidad de Chile: http://www.cepoc.uchile.cl/pdf/Manua_Cultivo_tomate.pdf
3. CENADAC. (2011). *Introduccion a la acuicultura*. Obtenido de CENTRO NACIONAL DE DESARROLLO ACUICOLA: http://www.agroindustria.gob.ar/site/pesca/acuicultura/06_Publicaciones/_archivos/130423_Introducci%C3%B3n%20a%20la%20ACUAPONIA.pdf
4. Cooper, A. (1988). *1. The system, 2. Operation of the system*. Londres: Grower Books.
5. Dougias, J. (1990). *Como cultivar sin tierra*. Buenos Aires: El Ateneo.

6. INEGI. (2008). *Censo Agropecuario*.
7. M.^a Luisa Corral, H. G. (2000). *LA ACUICULTURA: Biología, regulación, fomento, nuevas tendencias y estrategias comerciales*. España: Artes graficas cuesta, S. A. Seseña.
8. Mateus. (2009). Acuaponia: Hidroponia y acuacultura, sistema integrado de produccion de alimentos. *Red hidroponia*, boletin No 44.
9. Organizacion de las Naciones Unidas . (2012). *World Urbanization Prospects: The 2011*. Nueva York: ONU.

1.3 ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE MIEL

Daniel Antonio Hernandez Dorantes, Juan Antonio Burgos Coronado, Manuel de Jesús Poot Pech, José Fidel Rodriguez Huerta

Instituto Tecnológico de Mérida

dahd416@gmail.com, burgos.135@gmail.com, boomm48@hotmail.com,
jfrh78@yahoo.com.mx

ABSTRACT

In this paper, we will demonstrate a complete analysis of automation application on a bee hive, from the control of different variables to the complex distribution system; all of this in order to make the process of honey harvesting more efficient.

The process of honey harvesting in the region shows an area of opportunity due to the lack of technological development in the area. As proposal we suggest the implementation of an artificial honeycomb to use in a beehive which enables the honey to be removed from the honeycomb without removing the honeycomb from the hive. The sensors and actuators used in this project will have the sole purpose to let beekeepers reach new markets, ensuring a highly competitive product.

INTRODUCCIÓN

La actividad apícola nacional se sustenta en un inventario compuesto por 1.9 millones de colmenas y en el sector laboran alrededor de 45 mil apicultores de todo el país. La producción de miel, en promedio, durante los últimos cinco años es de 57 mil 200 toneladas; México se encuentra en el quinto lugar, después de China, Argentina, Estados Unidos y Turquía. [2]

Actualmente la apicultura en México ocupa un papel importante como generadora de divisas, ya que se han obtenido récords en producción y exportaciones.

Los principales estados productores de miel son: Yucatán con nueve mil 654 toneladas; Campeche, siete mil 074; Jalisco, siete mil 076; Chiapas; cinco mil 117, y Veracruz, cuatro mil 124 toneladas.[3]

Esto, con un valor de la producción estimado en dos mil 168 millones de pesos, de acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

En lo que respecta a la miel orgánica, se tiene registrada una producción promedio anual de cuatro mil toneladas, la cual se envía casi en su totalidad a los mercados de la Unión Europea. Los principales países de destino en el 2014 fueron Alemania con 16 mil 739 toneladas; Estados Unidos, siete mil 278; Bélgica, cinco mil 029; Arabia Saudita, cuatro mil 109, y Reino Unido, tres mil 233.

Con base en estos datos y cifras se sustenta la imperante necesidad de automatizar, mejorando de una manera tecnológica y a su vez sustentable la producción de miel, siendo Yucatán el estado con mayor producción mielera generando así, nuevas metas y oportunidades.

VIABILIDAD TÉCNICA

Las colmenas de abejas no han tenido mayor cambio en lo que a infraestructura respecta desde que fue concebido, sin embargo, un dispositivo innovador (US 2014/0370781 A1) surge en el año 2014 el cual replantea la idea en la cual se cosecha la miel, sin embargo, la falta de implementación tecnológica lo pone en una posición vulnerable, es por ello que, se decidió añadir ciertos elementos electrónicos que repercutirán de una manera favorable en la producción de la miel. Sensores y actuadores trabajando en conjunto forman un sistema el cual puede ser controlado con mayor exactitud, esto genera que las variables físicas como la temperatura, la humedad y el peso formen parte importante del proceso y a su vez esto permita generar y mejorar las condiciones necesarias para el buen desarrollo de los antófilos. (Figura 1)



Figura 4 Ubicación de los elementos de la automatización. Elaboración propia

De las variables físicas más importantes para las abejas, está la temperatura y la humedad, las cuales representan factores que son decisivos para que la producción mielera de una colmena sea exitosa. Es por ello que se tiene considerado la inclusión de un sensor de temperatura así como de humedad los cuales permitirán el monitoreo constante y así, poder tomar acciones, de igual manera el control de la temperatura se debe llevar a cabo con una celda de Peltier el cual es un dispositivo que permite generar calor o la ausencia de él; permitiendo tomar una acción de acuerdo a las circunstancias, si hay calor y se necesita disminuir la temperatura, la celda de Peltier comienza a retirar el calor en el ambiente, como consecuencia de ello se

presenta un enfriamiento del espacio en el que está inmersa y si el clima se presenta frío la celda tiene la capacidad de revertir el proceso y en lugar de sacar el calor del espacio, lo empieza a generar ahí, lo que ocasiona un aumento en la temperatura.[4]

En Yucatán la abundancia de humedad es un factor importante debido a su zona geográfica, esto conlleva a que la miel de la región se caracteriza por acumular porciones de agua, esto afecta su calidad. Se consideró por ello, incluir en la colmena un sensor de humedad el cual estará monitoreando los valores para la toma de acciones, las cuales conllevarían al encendido de un sistema de ventilación el cual hará circular el aire y con ello reducir la humedad.

Al automatizar un proceso lo que se busca es reducir tiempos y recursos; una de las actividades que más tiempo llevan en la apicultura es el de recolecta, puesto que en el modelo antiguo se tenían que retirar cada uno de los paneles para corroborar de manera visual que estén llenos, sin embargo existen métodos que pueden ahorrarnos ese trabajo, al estar manejando un producto como la miel, en el cual la densidad representa un papel muy importante, la relación del peso-volumen representa una forma de mensurar la cantidad de miel de cada colmena. Esto con el fin de saber el porcentaje de la capacidad de la colmena sin tener que ir a hacer una inspección visual. En cuanto al tema del procesamiento de datos y a la toma de decisiones se pretende recurrir a microcontroladores los cuales son sistemas confiables y que han ido ganando terreno en el ambiente industrial, lo cual brinda un abanico de oportunidades; como mecanismo de comunicación se ha elegido por la

transmisión inalámbrica Wi-Fi por ser un medio estable. El proceso de recolección de miel, así como el previo almacenamiento se hará de manera automática con un software desarrollado exclusivamente para llevar un control de toda la planta de colmenas. El camino que sigue la miel que sale de la colmena hacia un depósito previo, se muestra en la Figura 2

Cabe señalar que la miel será impulsada por aire a presión para que fluya de una manera constante y no presente atascamientos.

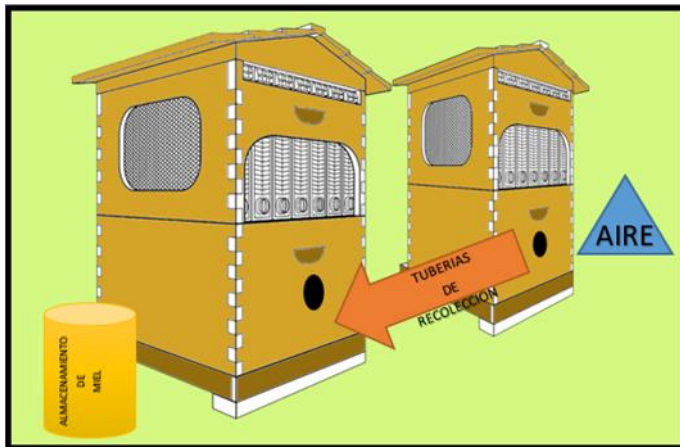


Figura 5 Sistema de transferencia de la miel. Elaboración propia

VIABILIDAD FINANCIERA

El proyecto se sustenta en la necesidad del mercado presente en la región para mejorar su productividad.

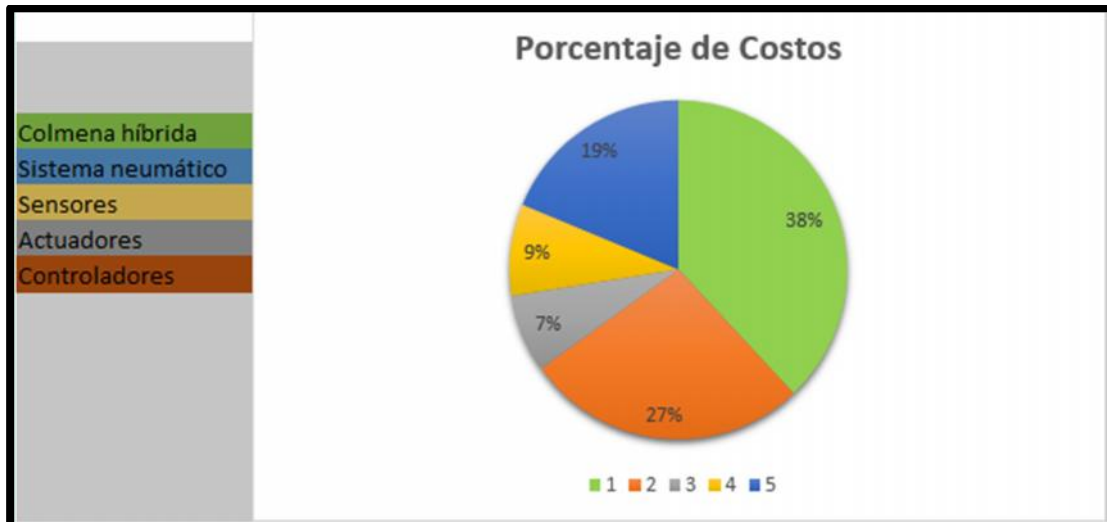
La naturalidad de la propuesta radica en la automatización directa de diversas áreas que la industria de la miel dispone, por lo tanto, esto conlleva a una reducción en tiempos, lo cual se ve reflejado en la productividad. A diferencia de otras áreas, en el sector apícola la automatización no supone un desplazamiento de la obra humana ya que la mayor parte del proceso aun dispone de la intervención de personal.

La relación existente entre el costo/beneficio viene respaldado también por la calidad de miel a producir, al poder ofrecer un mejor producto con mejores estándares se abren otros mercados, como el europeo, el cual, es el más demandante de miel a nivel mundial, esto conlleva a que el retorno de la inversión sea a un mediano plazo.

Estimando un sistema apícola el cual este integrado por 100 colmenas, supone una producción promedio de 32.5 kg por colmena lo que hacen un total de 3250 kg de miel; el precio de compra de miel en el mercado fluctúa de acuerdo al grado y calidad que ésta presenta, asumiendo un grado medio, se espera un intercambio monetario de entre \$30-\$40^(MX) pesos en el mercado local por Kg, sin embargo, el mercado europeo ofrece mejor remuneración aprox. \$60-80^(MX) pesos por Kg; esta sería la primicia, lograr con esta innovación que el productor logre alcanzar una mejor oferta.

Para la instalación del sistema propuesto se espera inversión inicial la cual viene siendo recuperada, poniendo como ejemplo, el anterior, en 3.6 años, con un incremento del 23% en la producción anual según se reporta. [1]

El dispositivo se encuentra segmentado en sectores que en la parte económica repercuten, con esto se lleva un mejor control financiero, para así lograr una distribución monetaria equitativa que se ve reflejada en el costo final de la colmena. [Esquema 1]



Esquema 1 Distribuciones del costo de la colmena. Elaboración propia

CONCLUSIONES

El mercado apícola en Yucatán es amplio y con una demanda como la presente es imperante recurrir a la innovación, no solo en productos, sino también en procesos y servicios, este sector presenta ciertas deficiencias que se convierten directamente en áreas de oportunidad. Con este dispositivo no solo se pretende mejorar la calidad conllevando inmersamente a la productividad, sino que también alarga la vida útil de las colmenas, al estar construida de plástico en un 55% la colmena puede ser reusada sin lavado por al menos 4 ciclos lo que además supone menos mano de obra y con una resistencia de 2.5 años antes de su posible cambio en comparación con las tradicionales que resisten aprox. 1 año de servicio.

Se registra que bajo condiciones ambientales controladas (temperatura y humedad) promedio la producción de miel tiene un aumento del 23% con una posible calidad A (esto depende de muchos factores, como el polen, el tratamiento post-recolecta entre otros.) lo que aumenta su precio de salida al mercado.

La puesta en marcha del sistema general supone una gran inversión inicial que se ve sopesada por la calidad y la producción y con un mediano plazo para la recuperación de la inversión, se puede concluir con que el sistema propuesto es viable y altamente rentable lo que beneficiaría a los apicultores.

BIBLIOGRAFIA

- Z. Puškadija, Edita Štefani, A. Miji, Z. Zduni, Nada Para ikovi, T. Floriian i. A. Opa ak, "Influence of weather conditions on honey bee," Poljoprivreda, vol. 13, pp. 230-233, Junio 2007.



<http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2015B178.aspx>

<http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2015B096.aspx>

Jm Flores, Ja Ruiz, Jm Ruz, F Puerta, M Bustos, et al.. Effect of temperature and humidity of sealed brood on chalkbrood development under controlled conditions. *Apidologie*, Springer Verlag, 1996, 27 (4), pp.185-192.

1.4 SISTEMA DOMÓTICO CONTROLADO POR SEÑALES NEURONALES

Rogelio Cárdenas Vallado, María Fernanda Escalante Paredes, Jorge C. Canto Esquivel, Mario Moreno Sabido, José A. Hernández Benítez
Instituto Tecnológico de Mérida
rog1394@gmail.com , maffer_1516@hotmail.com, jorgecce@gmail.com, mario@itmerida.mx, agustin.hernandez@itmerida.mx

RESUMEN

En este documento, se muestra una forma de aplicación las señales neuronales obtenidas mediante Electroencefalograma (EEG), para el control automatizado de dispositivos eléctricos de una instalación doméstica (Domótica). Para la realización de lo mencionado anteriormente, se utilizó la diadema Emotiv epoc, junto con los complementos “Expressiv suite” y “Cognitiv suite” del software Epoc control panel, al igual que el software Processing y una tarjeta de desarrollo Arduino. El objetivo principal del proyecto, es traducir las lecturas obtenidas por el software de Epoc a un conjunto de instrucciones sencillas de modo que un microcontrolador pueda interpretarlas y sea capaz de activar diversos actuadores eléctricos en un entorno doméstico.

PALABRAS CLAVE

EEG, Domótica, Arduino, Interfaz cerebro – computadora (BCI), Epoc

INTRODUCCIÓN:

Actualmente existen dispositivos electrónicos capaces de detectar las señales neuronales en diferentes momentos, emociones y/pensamientos. Estos dispositivos se conforman por una red de electrodos perfectamente proporcionados y colocados en áreas específicas del cerebro con la finalidad de detectarlas fácilmente; a la detección de las señales neuronales se conoce como Electroencefalogramas [1].

Un electroencefalograma consiste en una medición de la actividad cerebral marcada por las señales cerebrales [2]. Estas mediciones se pueden realizar ya sea de manera invasiva o no invasiva. La diferencia entre estos dos métodos consiste en que la invasiva requiere de una cirugía para colocar los dispositivos de medición o contactos del electroencefalograma, llamados electrodos; mientras que la no invasiva no requiere de una cirugía y normalmente coloca los electrodos en el cuero cabelludo. En el desarrollo de este proyecto se utilizará una diadema llamada *Emotiv*, la cual proporciona mediciones de manera no invasiva.

Las señales eléctricas son producidas por grupos grandes de neuronas, mientras más grande sea el grupo que se le realiza un monitoreo, la señal que se obtenga será más fuerte y estable. Al obtenerse mejores calidades de señales las tareas que podemos realizar con ellas pueden ser más precisas y finas. Ya se han podido observar ciertas aplicaciones utilizando dichas señales, como por ejemplo mover una prótesis únicamente utilizando el pensamiento.

Este trabajo se realiza con la finalidad de poder utilizar estas señales y llevarlas a un campo diferente, la domótica. La domótica, se compone de la unión de la palabra “domo” que proviene del latín “domus” cuyo el significado es casa y el sufijo “tica” de automática [3].

El objetivo de la domótica es el de automatizar una casa para poder brindarle a las personas mayores comodidades, ya que se pueden controlar cosas como la luminosidad, la temperatura de una habitación, seguridad, etc. Esto permite haya un mejor uso de la energía y una mayor seguridad en el hogar [4].

Al unir las señales neuronales con la domótica se les brinda la posibilidad de tener el control sobre aparatos electrónicos, seguridad del hogar, entre otras cosas, ya que la diadema será capaz de

enviar las señales neuronales que se obtienen del electroencefalograma a una interfaz cerebro computadora. Una interfaz cerebro-computadora o BCI consiste en un sistema de comunicación que permite a usuarios, enviar comandos a un computador mediante el uso de variaciones en la actividad cerebral, que es medida y procesada por el sistema [5].

En este caso, la interfaz procesará las señales recibidas por la diadema y las convertirá en instrucciones de activación o desactivación de diversos tipos de actuadores.

DESARROLLO:

1. SISTEMA DE CONTROL

La idea principal de este proyecto, es la construir un sistema de control, orientado al control de instalaciones eléctricas dentro del ámbito doméstico (domótica). Para la descripción de este sistema de control, se requiere de tres elementos básicos: Entradas, Procesador y salidas. En la figura 1, se puede apreciar el diagrama a bloques del sistema.

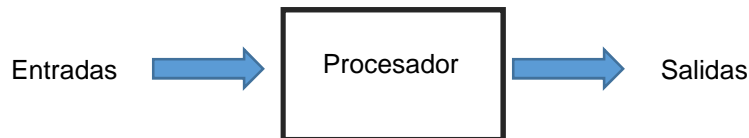


Figura 1: Diagrama a bloques del sistema.

Las entradas del sistema, son todas las señales obtenidas de la actividad cerebral, mediante electroencefalograma (EEG), el cual se realiza por medio de la diadema Epoc.

El procesador o unidad de procesamiento, se compone por medio de una PC que cuenta con el software "Epoc control panel", además de una interfaz diseñada en Processing, que es el medio por el cual los datos procesados serán traducidos a instrucciones simples (activación o desactivación de puertos) que pueda realizar la tarjeta arduino.

Las salidas son los diversos actuadores que pueden ir conectados a los puertos de salida de la tarjeta arduino, los cuales pueden ser adaptadas según los requerimientos del usuario.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso que sigue el sistema, consiste esencialmente de 5 etapas, las cuales son: adquisición, procesamiento, codificación, interpretación y activación.

A continuación se detalla cada una de las etapas mencionadas anteriormente.

- a) Etapa de adquisición: consiste en la lectura de las señales neuronales mediante el uso de una diadema provista de electrodos, los cuales ejecutan un electroencefalograma en tiempo real.
- b) Etapa de procesamiento: en esta etapa se procesan las señales recopiladas por la diadema, con el uso del software Epoc control panel.
- c) Etapa de codificación: en conjunto con la etapa anterior, se requiere del uso del software Epoc control panel, ya que este cuenta con una herramienta que permite enviar caracteres, cada vez que se detecte una acción cognitiva asociada a un pensamiento, o una acción

gestual.

- d) Etapa de interpretación: seguido de la codificación en caracteres de las diversas acciones mencionadas previamente, es necesario interpretarlos, de modo que las lecturas del electroencefalograma realizado por la diadema puedan ser utilizadas por un microcontrolador. Para esta etapa se desarrolló una interfaz visual en Processing, la cual además de ser un indicador visual de lo que está sucediendo con los actuadores finales, proporciona un medio para la comunicación serial entre la PC y la tarjeta de desarrollo arduino.
- e) Etapa de activación: finalmente, en esta etapa es en donde se interactúa con los actuadores finales, es decir, que es en esta etapa en donde la tarjeta arduino, con ayuda de un circuito externo, se encarga de la activación (o desactivación) de los actuadores.

En la figura 2 se muestra un diagrama de grafcet, mediante el cual se presenta de manera gráfica los procesos realizados por el sistema.

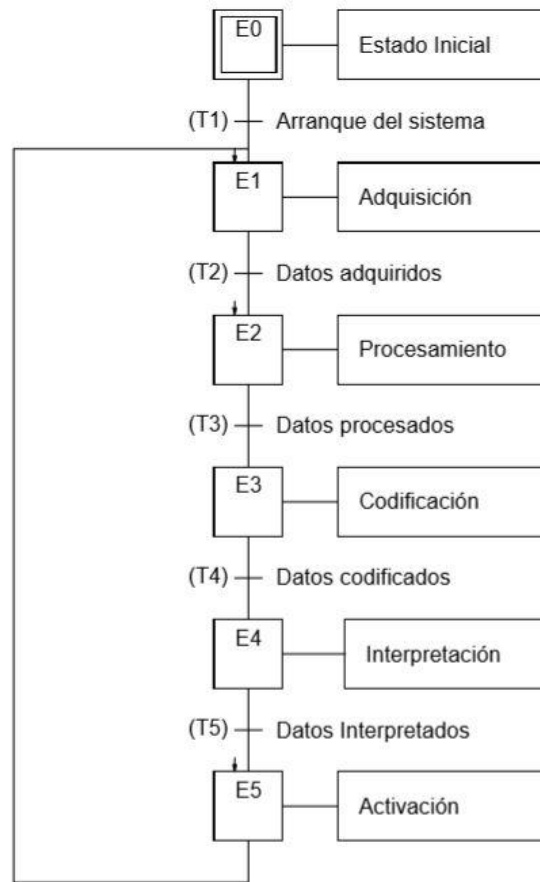


Figura 2: Diagrama de procesos del sistema.

3. LECTURA DE LAS SEÑALES NEURONALES

En este proyecto, la lectura de las señales neuronales, se realiza mediante el software EPOC control panel. En este software hay varios complementos integrados, sin embargo, para el desarrollo de esta investigación, sólo se utilizaron los complementos “Expressiv suite” y “Cognitiv suite”.

En el complemento Expressiv suite, se permite el reconocimiento de diversos gestos faciales, tales como: ver hacia el lado izquierdo, ver hacia el lado derecho, guiñar los ojos, parpadear con el ojo izquierdo, parpadear con el ojo derecho, apretar los dientes y sonreír. En la figura 3, se puede apreciar la interfaz de usuario del complemento Expressiv suite.

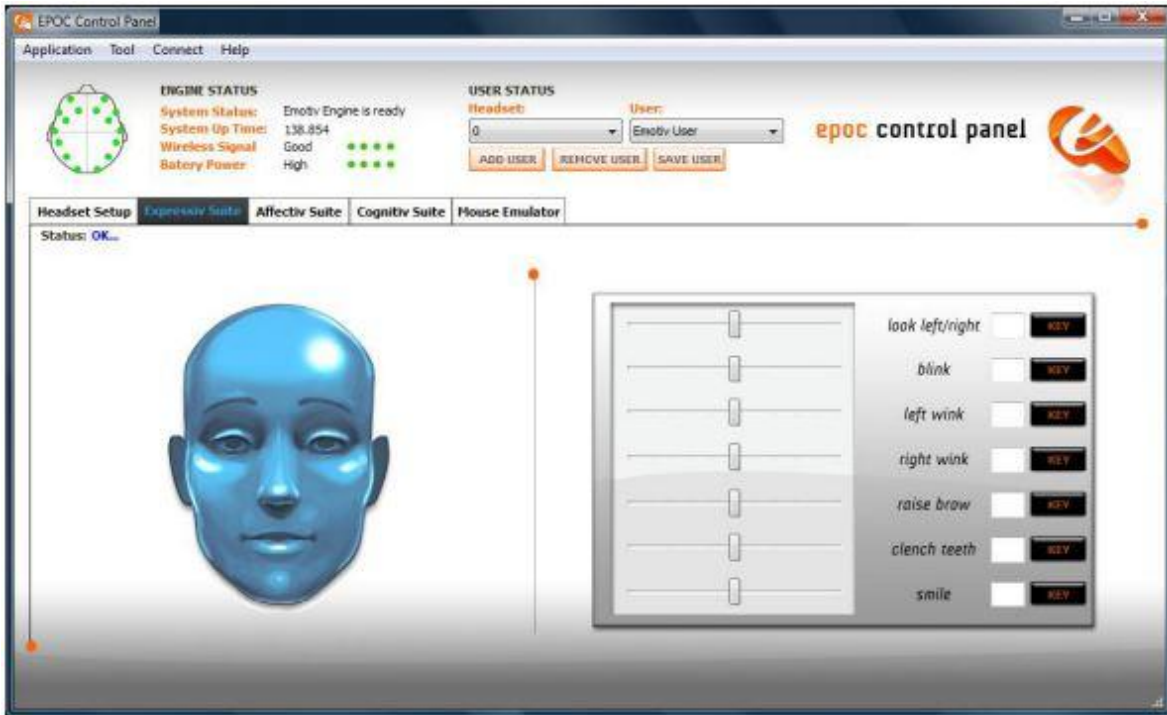


Figura 3: Complemento Expressiv suite. [6]

Además del reconocimiento de los gestos faciales, esta interfaz permite una sencilla calibración del reconocimiento de los gestos mediante la variación de la sensibilidad de las lecturas, y también da la opción de mandar caracteres cada vez que se detecta una expresión facial, emulando la presión del teclado.

Es importante recalcar que la función de enviar caracteres emulando un teclado, es el punto inicial del proyecto, ya que esta es la forma mediante la cual se puede establecer una comunicación entre las lecturas obtenidas por la diadema y la interfaz de Processing.

Aparte del complemento antes mencionado, también se utilizó el complemento Cognitiv suite, el cual activa una de las 13 animaciones disponibles, mediante el reconocimiento de un pensamiento asociado con dicha animación. La interfaz de este complemento es bastante parecida al anterior, tal y como se puede observar en la figura 4.

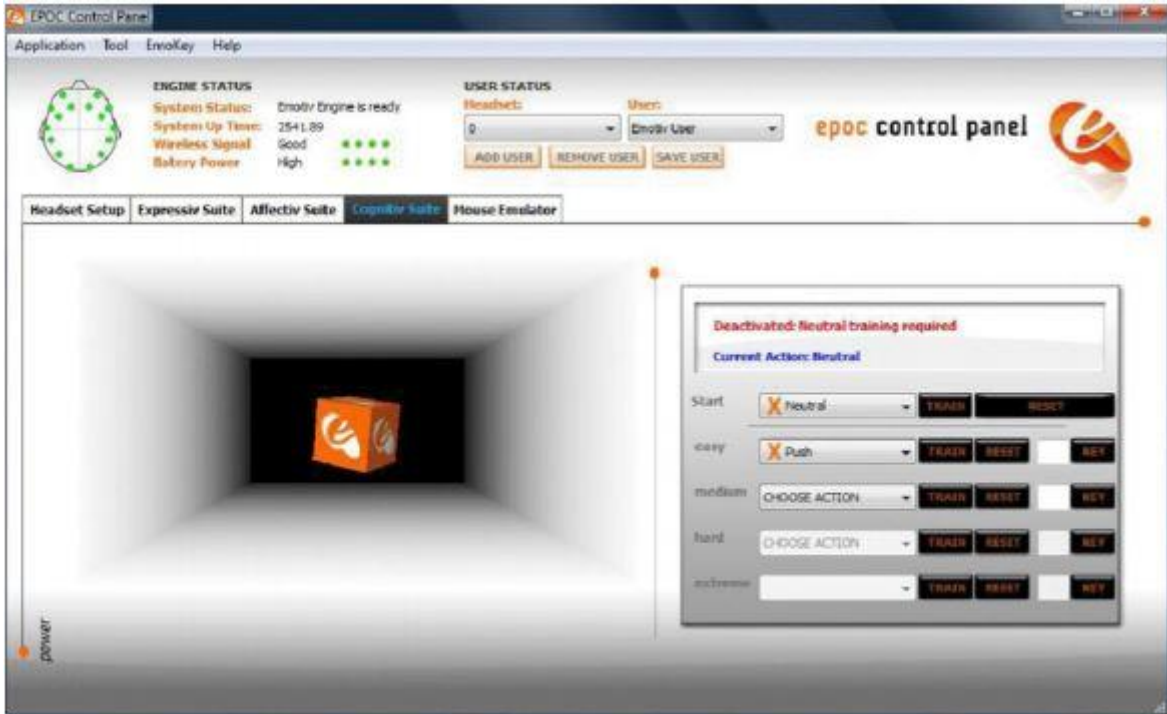


Figura 4: Complemento Cognitiv suite. [6]

Este complemento, presenta la misma funcionalidad que el anterior, ya que también permite mandar una pulsación del teclado cada vez que se detecte un pensamiento asociado a una acción. A diferencia del complemento anterior, éste es un poco más complejo en su manejo, ya que requiere de calibración y de entrenamiento por parte del usuario, además de que la dificultad del reconocimiento de los pensamientos aumenta conforme más calibra el usuario; es por esto que este trabajo se enfoca más a la detección de las señales neuronales generadas a través de la realización de gestos, lo que permite acelerar los procesos de calibración.

4. DISEÑO DE LA INTERFAZ VISUAL

Teniendo ya la etapa del reconocimiento de las señales neuronales, ahora se procede al diseño de una interfaz visual capaz de utilizar esas pulsaciones de teclado como comandos de activación. Esta interfaz funciona de manera en que cada vez que se detecte una acción, incrementará un contador; una vez que este contador haya llegado a una cuenta máxima, mandará una señal por el puerto serial, para comunicarse con la tarjeta arduino. Es importante recalcar que este proceso se hace por cada señal, que es aquí donde entra la funcionalidad del contador, ya que mientras más gestos o pensamientos se manejen, más probable es obtener una falsa lectura, es por eso que la interfaz de Processing, sólo mandará una señal por el puerto serial cuando el contador de una acción haya llegado a su umbral, y luego se reinician los contadores. En la figura 5 se muestra el pseudocódigo de la funcionalidad del programa.

```

Inicio
Si se presiona una tecla
Si tecla = a
  Za= Za+1
Sino
Si tecla=b
  Zb=Zb+1
Sino
Si tecla=c
  Zc=c+1
Sino
Si tecla=d
  Zd=Zd+1
Sino
Si Za=umbral
  imprimir a
  Za=0
  Zb=0
  Zc=0
  Zd=0
Sino
Si Zb=umbral
  imprimir b
  Za=0
  Zb=0
  Zc=0
  Zd=0
Sino
Si Zc=umbral
  imprimir c
  Za=0
  Zb=0
  Zc=0
  Zd=0
Sino
Si Zd=umbral
  imprimir d
  Za=0
  Zb=0
  Zc=0
  Zd=0
Fin
  
```

Figura 5: Pseudocódigo de la interfaz visual en Processing.

En la interfaz visual, se puede observar que cuenta con 4 recuadros, los cuales sirven para indicar el estado de cada uno de los actuadores que puede controlar el sistema; además de un apartado en el cual se pueden apreciar los contadores de cada una de las variables. En la figura 6 se muestra la mencionada interfaz.



Figura 6: Interfaz visual.

5. DISEÑO ELECTRÓNICO

Como parte final del desarrollo del proyecto, se programó una tarjeta arduino, la cual se encarga de responder a las señales enviadas por la interfaz de Processing. Esta tarjeta lo que hace es leer los caracteres recibidos por el puerto serial, y en caso de recibir alguno de los caracteres asociados a las salidas, hará un cambio de estado en la variable de dicha salida; esto quiere decir que si la salida estaba en un estado lógico bajo, hará una transición al estado lógico alto, y si la salida se encuentra en un estado lógico alto, hará una transición al estado lógico bajo.

En la figura 7, se puede observar el algoritmo de funcionamiento del arduino en forma de pseudocódigo.

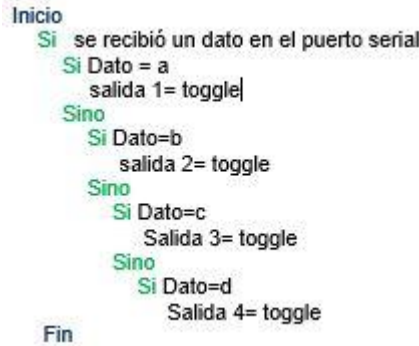


Figura 7: Pseudocódigo de la programación en arduino.

Para concluir con este apartado, se presenta en la figura 8, un diagrama esquemático de la conexión del arduino. En este diagrama se utilizan relevadores como los actuadores controlados por la tarjeta de desarrollo arduino.

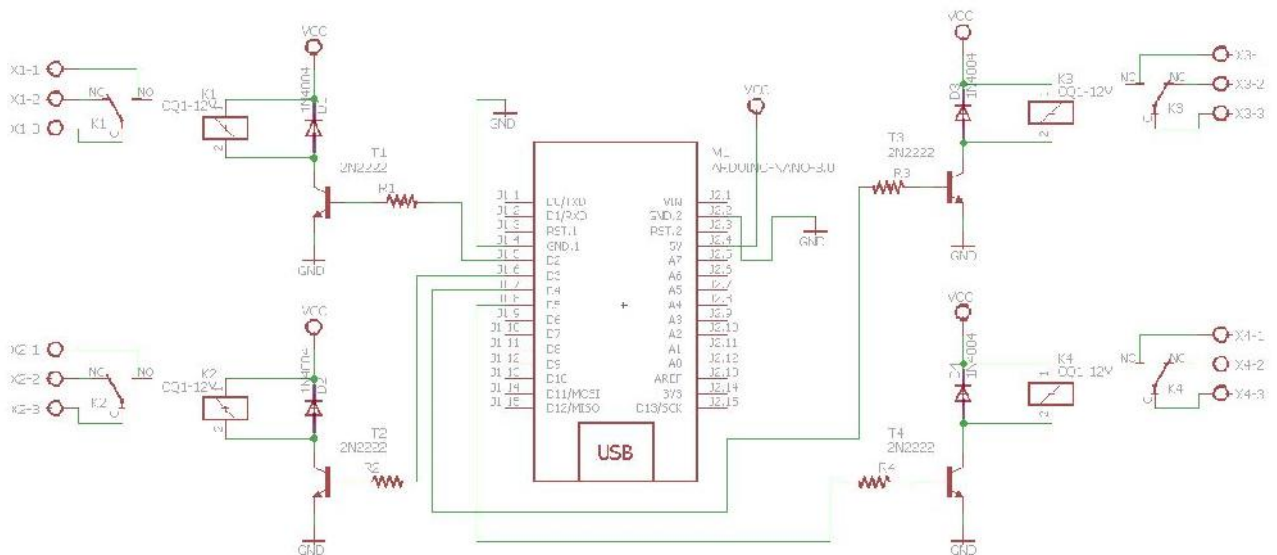


Figura 8: Diagrama esquemático de la conexión de la tarjeta arduino.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES:

A lo largo del desarrollo del prototipo se ha podido observar que la comunicación de la diadema con la interfaz cerebro-computadora ha funcionado de manera exitosa, ya que el programa de Processing reconoce rápidamente los caracteres mandados por el programa expressiv suite.

En la tabla I, se presentan los resultados preliminares obtenidos de una serie de pruebas orientadas al reconocimiento de diversos gestos por parte del programa expressiv suite. Estas pruebas consistieron en la activación de un actuador y posteriormente regresarlo a su estado original.

Acción	Pulsos totales	Pulsos correctos	% de efectividad	Tiempo
Levantar cejas	101	50	49.304%	23 segundos
Parpadeo del ojo derecho	63	50	79.365%	42 segundos
Sonreír	83	50	60.240%	48 segundos
Apretar dientes	89	50	56.179%	30 segundos

Tabla I: Resultados preliminares.

A partir de los resultados obtenidos, se ha podido determinar que el reconocimiento de las señales puede ser malinterpretado, si los gestos que las activan tienen una cierta similitud entre ellos; un caso concreto se presenta entre los gestos “sonreír” y “apretar dientes”, lo que nos lleva a obtener un bajo porcentaje de efectividad. Respecto a los tiempos de respuesta, se puede concluir que son bastante rápidos, ya que la activación y desactivación de los actuadores se ha realizado en tiempos inferiores al minuto.

Finalmente, se concluye que el gesto que tuvo en mayor porcentaje de efectividad, fue el parpadeo del ojo derecho; y el gesto que tuvo el peor porcentaje de efectividad fue levantar cejas.

Para la realización del prototipo, sólo fue utilizada la interfaz que se encarga de procesar los gestos faciales, ya que la detección de pensamientos asociados a acciones requiere de un proceso de calibración por parte del usuario para poder tener lecturas acertadas, sobre todo si se activa la detección de más de un pensamiento. Las señales detectadas fueron orientadas a la activación y desactivación de los puertos de salida de una tarjeta arduino, la cual a su vez tenía conectado un módulo de relevadores, por medio de los cuales se permite controlar circuitos de una instalación doméstica, esto quiere decir que se permite encender o apagar diversos tipos de electrodomésticos, según el usuario lo desee.

En un futuro este prototipo pretende ser mejorado para desarrollar una aplicación dirigida a personas que carecen de algún tipo de movilidad causando por una discapacidad, la cual no les permita realizar ciertas actividades dentro de su entorno hogareño, tales como el abrir y cerrar puertas o ventanas, el encendido de luces, el control de ventiladores o aires acondicionados, el control de una cama eléctrica, entre muchos otros dispositivos, de una forma independiente. Otra posible mejora se puede implementar en la etapa de procesamiento, ya que por el momento el proyecto sólo utiliza los softwares proporcionadas para el fabricante como etapa de procesamiento de las señales; al diseñar una etapa que permita la lectura y procesamiento en crudo de las señales del electroencefalograma, es posible mejorar los tiempos de respuesta del sistema y mejorar su porcentaje de efectividad.

De igual forma, se pretende la implementación de algún controlador industrial (tal como un controlador lógico programable o un relevador inteligente), con la finalidad optimizar la durabilidad la parte electrónica del sistema, al poder soportar largos períodos de actividad. Así como la adición de una red de comunicación industrial, la cual sea capaz de transportar la información de una forma más durable y de mayor calidad, la cual brinda la seguridad de poder soportar largos periodos de actividad sin presentar problemas con la conexión.

REFERENCIAS:

- [1] Rueda, G. “Procesado de señales electroencefalográficas para determinar características espectrales de episodios epilépticos”, 2011.

- [2] Vidal, M. "Real Time Detection of Brain Events in EEG", Proceedings of the IEEE, Vol 64 N° 5, 1977.
- [3] ROMERO M., C., VAZQUEZ S., F., CASTRO L., C., Domotica e Inmotica Viviendas y Edificios Inteligentes, pag. 5.
- [4] Flórez de la colina, M. "Hacia una definición de la domótica", Departamento de Tecnología de la edificación, UPM 12, 2004.
- [5] Renard, Y. Et al. "OpenVIBE: An open-source software platform to design, test and use brain computers interfaces in real and virtual environments", Presence: teleoperators and virtual environments, Vol 19 N° 1, 2010.
- [6] "EPOC User Manual", recuperado de:
<https://emotiv.zendesk.com/hc/en.../EPOCUserManual2014.pdf>

1.5 DISEÑO DE UN SISTEMA MULTIPLAFORMA PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE UNA CASA INTELIGENTE BASADO EN EL INTERNET DE LAS COSAS

Elías Francisco Barbudo Franco, Carlos Alberto Luján Ramírez, Margarita Alvarez Cervera
Instituto Tecnológico de Mérida
eliasbarbudo@gmail.com, clujan@itmerida.mx

RESUMEN

En los últimos años se ha visto un enorme crecimiento en el desarrollo de aplicaciones y dispositivos basados en el Internet de las cosas. La posibilidad de acceder a la información de sensores y actuadores, o la de controlarlos de forma remota, son partes esenciales en el diseño actual de sistemas electrónicos en general. En este trabajo se plantea el diseño de un sistema multiplataforma de control y monitoreo de una casa inteligente, con el objetivo de identificar las ventajas y desventajas que nos proveen cada una de las diferentes tecnologías utilizadas. Se hace uso de diferentes tarjetas de desarrollo, tal como es la Wio Link, la LinkIt Duo 7688 y la BeagleBone Green Wireless, para interconectar sensores analógicos, digitales y seriales, y posteriormente enviar estas lecturas hacia servicios de almacenamiento en nube, en espera de una posible acción de respuesta. Se integra una tarjeta Raspberry Pi, en forma de servidor, que se encarga de transmitir el video de una Picamera a través de Internet. Finalmente los dispositivos son controlados mediante una aplicación Android, desarrollada en la herramienta App Inventor, la cual accede tanto a los servidores de almacenamiento, como al servidor de la Raspberry Pi. Se adiciona una tarjeta Odroid C2, la cual contiene una versión de la aplicación Android que almacena los datos en archivos txt, esto con el fin de implementar un procesamiento de ellos, en el futuro.

ABSTRACT

In the last years have been an enormous development in the creation of apps and devices base on the Internet of things. The ability to access different types of information and take decisions regarding that data, everything from a remote location, is a must have characteristic of nowadays system's design. In this paper, we propose a control and surveillance multiplatform system of a smart home, in order to define the main characteristics of the components of the system. We connect several development boards, like Wio Link, Linkit Duo 7688 and BeagleBone Green Wireless, to several analogic, digital and serial sensors, in order to collect the data from the sensors and send them to an individual Cloud Service (Every board connects to a different server). Also, we integrate a Raspberry Pi B+, in a form of server, to stream video from a PiCamera through the Internet. Finally, we develop an Android app, using the App Inventor tool, in order to check and control the smart home, by accesing the Clouds servers and the server in the Raspberry Pi. We also use an Odroid C2 board, with a different Android app, that collect all the data from the sensors and put them in a txt file for a future processing.

1 INTRODUCCIÓN

El internet de las cosas puede describirse como la interconexión de objetos de uso común; como podrían ser celulares, televisores, sensores, actuadores o electrodomésticos; al internet, donde estos dispositivos son enlazados de forma inteligente, habilitando nuevas formas de comunicación entre la gente y sus cosas, o entre las cosas en general[1-4]. Hoy en día, cualquiera, desde cualquier lugar y en cualquier momento puede estar conectado con lo que sea. El Internet de las cosas puede también ser aplicado en el desarrollo de casas inteligentes que puedan proveer comodidad y un mejoramiento en la calidad de vida.[2]

Durante los últimos años se ha tenido un avance significativo en el desarrollo de sistemas de casas inteligentes[5]. Múltiples fabricantes han desarrollado soluciones de interconexión entre los

sensores, los actuadores y los módulos de monitoreo. Tecnologías alámbricas e inalámbricas han sido utilizadas en dichas interconexiones. Se ha hecho uso de forma especial de plataformas basadas en interconexiones inalámbricas, tales como ZigBee, Wifi, RFID, entre otras[6].

Las plataformas que hacen uso de la tecnología WIFI nos proveen de ciertas ventajas. La distancia que puede cubrir el enlace es significativamente mayor en relación a un enlace Bluetooth, la posibilidad de hacer uso de la tecnología HTTP RESTful[7], la utilización de varios módulos conectados a un mismo enlace, entre otras características, hacen de esta tecnología, una firme opción al momento de implementar un sistema de control y monitoreo remoto.

En este trabajo se propone un sistema multiplataforma de control, donde cada uno de los módulos son de diferentes tecnologías, y hacen uso de diferentes herramientas. El uso de estas diferentes tarjetas nos proveen de un sistema más robusto que puede, potencialmente, ser mejorado durante su vida útil. El sistema cubre aspectos básicos en un sistema de control y monitoreo, como son la lectura de sensores y la correcta aplicación de acciones de respuesta; visualización de video a través del internet, control y monitoreo mediante una aplicación Android; y la adición de un sistema de recolección de datos, que de igual forma puede controlar el sistema.

El resto de este trabajo se organiza de la siguiente forma. La sección 2 muestra la estructura general del sistema. La sección 3 y sus subsecciones describen cada módulo, la sección 4 presenta los resultados obtenidos y la sección 5 presenta las conclusiones.

2 RESUMEN DEL SISTEMA

La estructura del sistema se muestra en la figura 1.

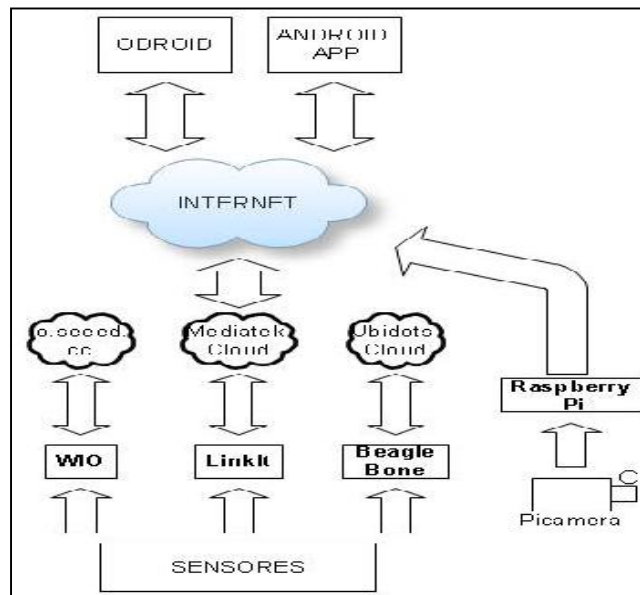


Figura 1 - Estructura del sistema

3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA
3.1 Plataforma Wio Link

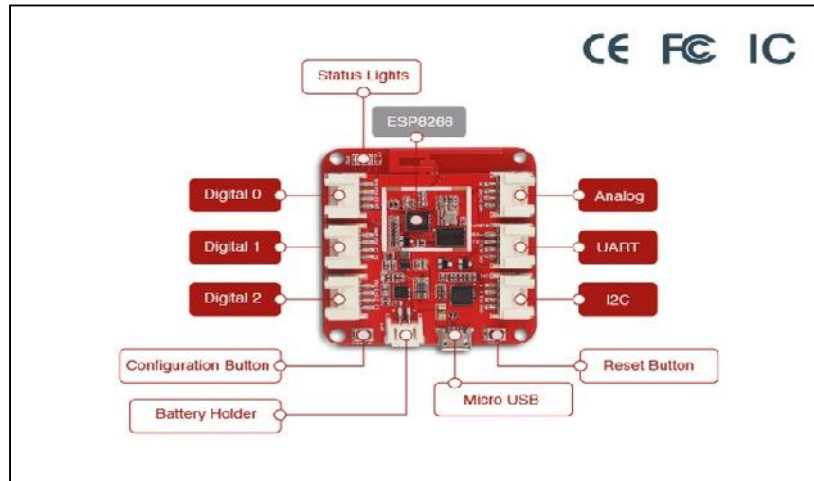


Figura 2 - Wio Link

La plataforma Wio Link está basada en el SoC ESP8622. El sistema Wio Link integra una tarjeta de desarrollo y una plataforma asociada, que permite la creación de aplicaciones basadas en el Internet de las cosas, a través de la virtualización de módulos plug-and-play hacia APIs RESTful, mediante una aplicación en un dispositivo móvil. Esto significa que no se requiere ninguna programación de hardware, solo la configuración del dispositivo a través de dicha aplicación[8].

La tarjeta de desarrollo cuenta con entradas/salidas digitales, analógicas (PWM) y seriales (I2C y UART). Para su uso, se requiere la configuración de la tarjeta a través de la aplicación del fabricante, la cual define que entradas y salidas se utilizarán, y de igual forma provee de las direcciones API's, con las cuales se puede acceder a los datos a través de una aplicación externa. Los datos de la tarjeta son almacenados en el servicio de nube de la fabricante (Seeed Studio), y a través de las API's podemos realizar transacciones POST y GET, las cuales nos sirven para obtener los datos provenientes de las entradas de la tarjeta, lograr cambiar los estados de las salidas y de igual forma conocer el estado actual de las propias salidas y del sistema en general.

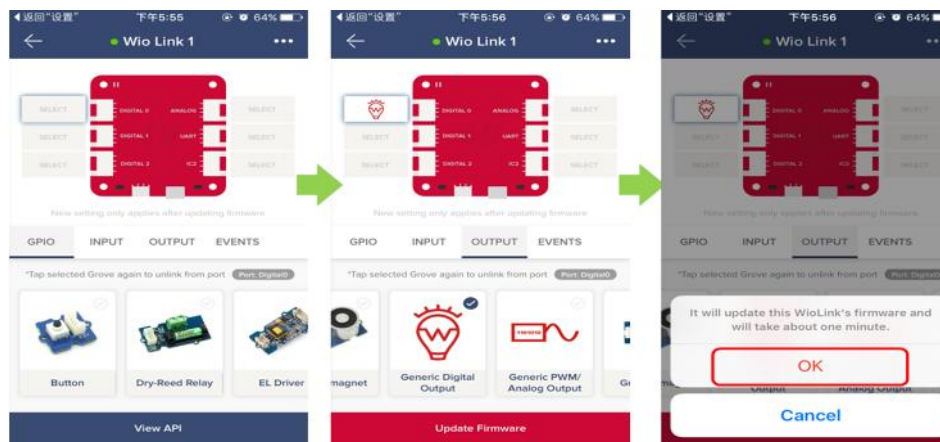


Figura 3 - Imagen de las pantallas de configuración del Wio Link en la aplicación del fabricante

En el sistema desarrollado se contempla una tarjeta Wio Link conectada con una salida PWM que nos permite controlar un pequeño ventilador, una entrada analógica conectada con una fotorresistencia, una salida digital para un LED y una entrada digital para un sensor DTH11. Considerando una casa inteligente, estos cuatro componentes pueden provenir de un cuarto, y de esta forma fue implementado en la aplicación Android.

3.2 LinkIt Duo 7688

El LinkIt Duo 7688 es una tarjeta de desarrollo libre de la fabricante Mediatek basada en el integrado MT7688 y en el microcontrolador ATmega32u4. La tarjeta es compatible con los programas para el Arduino Yun, y está basada en una distribución Linux OpenWRT. Esta tarjeta de desarrollo está diseñada especialmente para habilitar aplicaciones robustas, basadas en dispositivos de Internet de las cosas[9].

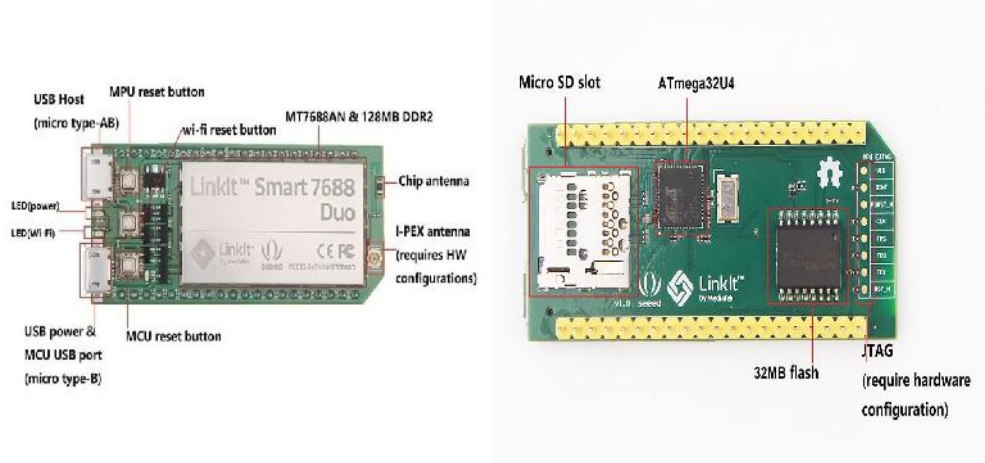


Figura 4 - LinkIt Duo 7866

La plataforma ofrece diversas opciones de programación tales como Python, Node.js y C. Contiene entradas/salidas digitales, analógicas y seriales (Ethernet, I2C, SPI, SPIS, PWM y UART). Su función dentro del sistema implementado es la de monitorear un sensor de temperatura LM35 y el encendido y apagado de un ventilador. Su programación depende de dos partes : el microcontrolador y el 7688. La herramienta de desarrollo de la plataforma Arduino, Sketch, es la encargada de la programación del microcontrolador. Para la aplicación se utilizó el ejemplo Standardfirmata, el cual realiza la interconexión entre el microcontrolador y el procesador a través de un vínculo serial. La programación del integrado MT7688 se realizó en lenguaje Python. Los datos obtenidos del sensor de temperatura y el valor de la salida hacia el ventilador son vinculados al servicio de almacenamiento en la nube de la fabricante Mediatek, el cual es Cloud Sandbox Service. Este portal nos provee de una fácil interconexión con la tarjeta de desarrollo, además de las API's que nos permite realizar un acceso externo.

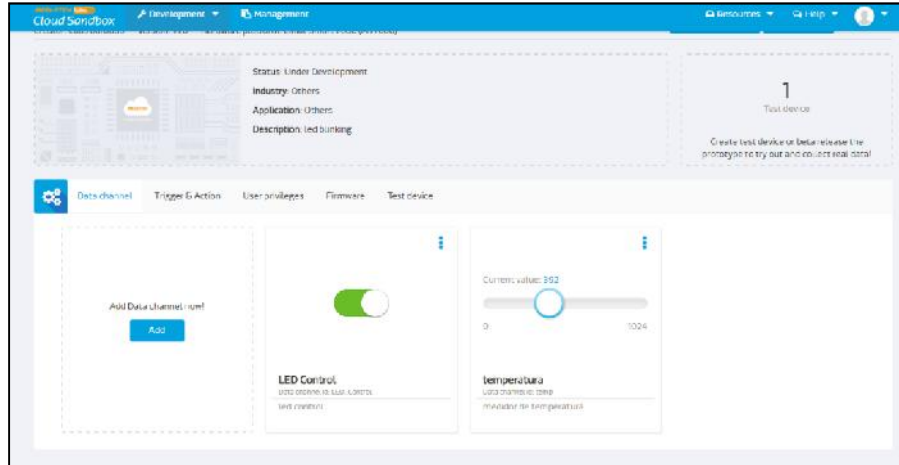


Figura 5 - Imagen del DashBoard del servidor Mediatek Cloud Sandbox

3.3 BeagleBone Green Wireless

Seed Studio BeagleBone Green Wireless es un esfuerzo en conjunto de Seed Studio con BeagleBone.org. Esta basado en el diseño libre del BeagleBone Black. Incluye una interfaz Bluetooth/WIFI de gran desempeño, conectores con multiples entradas y salidas y cuatro puertos USB 2.0[10].

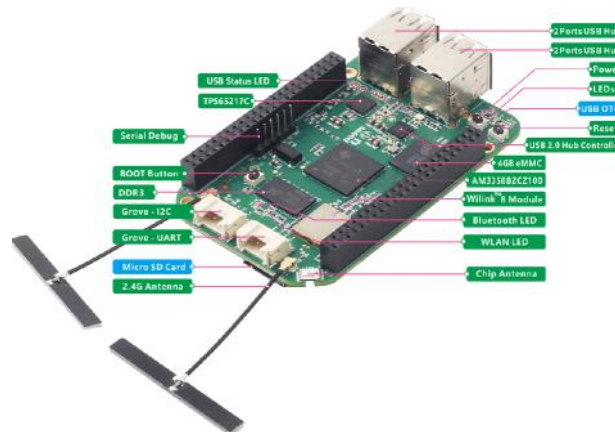


Figura 6 - BeagleBone Green Wireless

La tarjeta esta basada en el procesador Sitara AM335x 1 GHz ARM Cortex A-8 con 512 MB DDR3. Ofrece opciones de programación como Node.js y a través de la herramienta de desarrollo Cloud9 , con la cual se puede programar en diversos lenguajes.

Este dispositivo es el encargado de monitorear un sensor de fuego, el cual tiene salida analógica. Se implementó una aplicación en lenguaje Python para obtener el valor de la entrada y enviar dicha información hacia un servicio de almacenamiento en la nube llamado Ubidots.com. Este servidor nos permite realizar el monitoreo de nuestras variables de forma gráfica y además nos provee de las API's para poder acceder a ellas de forma remota.

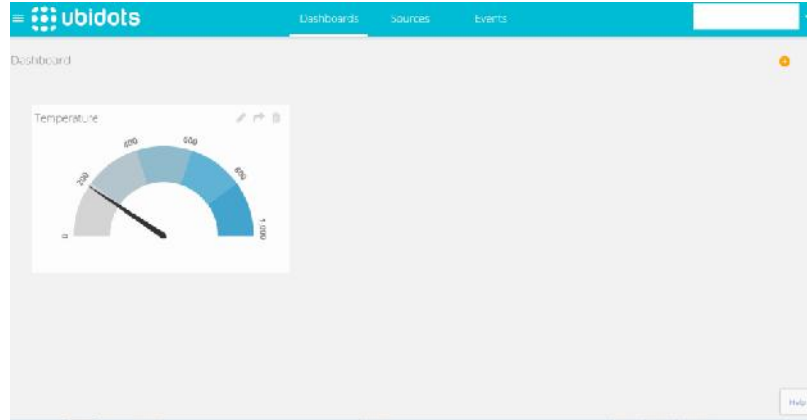


Figura 7 - Imagen del Dashboard del servidor Ubidots.com

3.4 Raspberry PI B+

La tarjeta Raspberry PI B+ está basada en el procesador BCM2836[11]. Es una plataforma de bajo costo diseñada para el aprendizaje de los dispositivos embebidos y computación en general. Nos provee de una interfaz amigable para la interconexión de diversos periféricos, tales como cámaras de video. El sistema hace uso de la capacidad de este dispositivo, al implementar un pequeño servidor para la transmisión de video. En base a la librería Motion y a una cámara PiCamera, se implementó una aplicación para la transmisión del video, a través de internet, el cual puede ser visto de forma remota. Esto asemeja un sistema de seguridad a base de cámaras IP.



Figura 8 - Raspberry Pi B+

3.5 Aplicación Android

La aplicación Android fue desarrollada a través del servicio App Inventor del Instituto Tecnológico de Massachusetts. Esta basada en el programa Scratch del mismo Instituto. Trabaja mediante la unión de bloques que representan funciones o condicionales. Esta enfocada a la enseñanza del desarrollo de aplicaciones móviles.

La aplicación desarrollada consta de 6 pantallas. La primera es para validación de las credenciales del usuario, esta funciona a través del ingreso del nombre de usuario y contraseña. La segunda pantalla es el menú principal, donde se encuentran cuatro opciones (cuarto, sala, cocina y cochera). La tercera pantalla se muestra al momento de seleccionar la opción cocina, esta pantalla esta enlazada al BeagleBone, mediante el servidor Ubidots, y muestra la información del sensor de fuego (0-1023), el cual esta configurado para la detección de fuego a un valor mayor de 800. Cuando se da este valor, la aplicación envía un mensaje cada 15 segundos hasta cumplir con cinco mensajes. La cuarta pantalla es el cuarto, el cual esta enlazado con la tarjeta Wio Link. La quinta pantalla refiere a la sala, y esta enlazada con la tarjeta LinkIt, mediante el servidor Sandbox. La sexta pantalla representa una cámara en la cochera de la casa y esta enlazada con la transmisión de video de la

Raspberry Pi, lo cual se realiza a través de la apertura de una aplicación web externa y realizando la visita hacia la página del servidor implementado en la Raspberry.

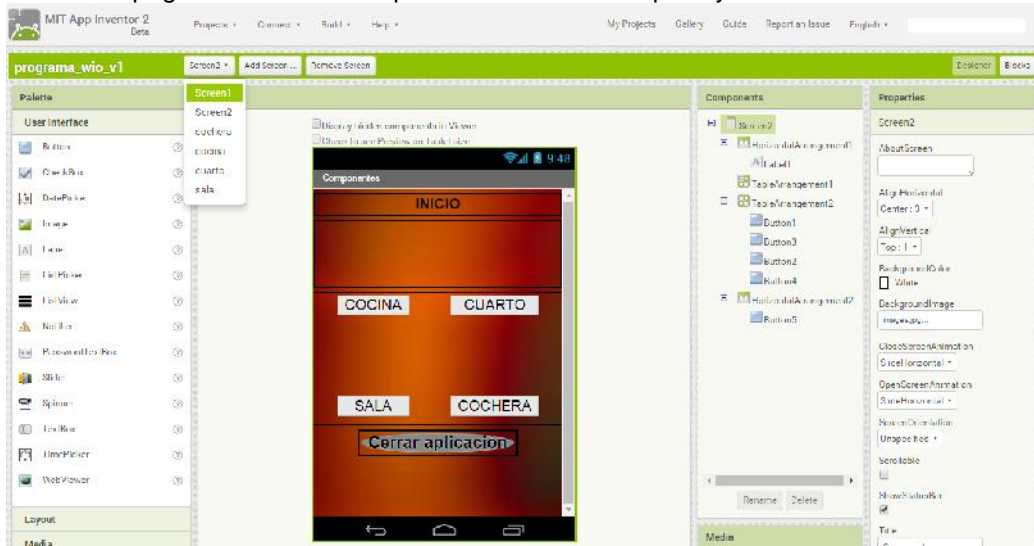


Figura 8 - Imagen de la pantalla de diseño del App Inventor



Figura 9 - Imagen de una parte del código implementado en la herramienta App Inventor

3.6 Odroid C2

La tarjeta Odroid C2 esta basada en el procesador Amlogic S905 1.5 GHz ARM 64bit Cortex-A53. Es considerada una de las tarjetas de computo embebido mas poderosas. Cuenta con conectores HDMI, USB, Ethernet, para audio y entradas/salidas variadas. Puede utilizar como sistema operativo tanto como distribuciones Linux como Android[12].

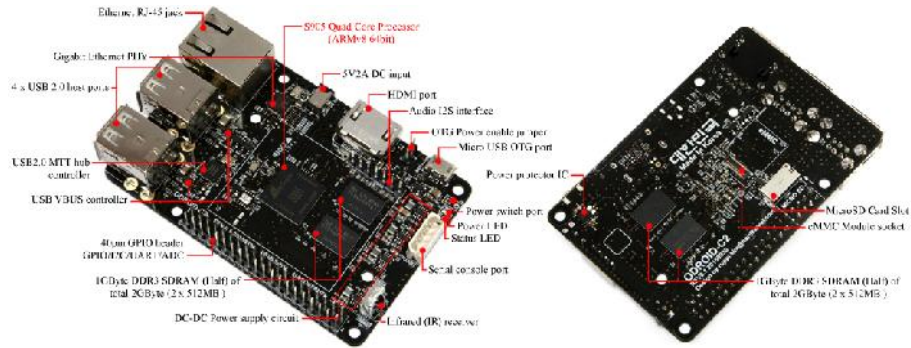


Figura 10 - Odroid C2

Este módulo funciona como host para una versión de la aplicación Android, la cual genera archivos txt, con los datos de los diversos sensores, para su futuro procesamiento. Se planea ocupar esta tarjeta para un procesamiento y un posible pronóstico del comportamiento de las diversas variables del sistema.

4 RESULTADOS

El sistema fue implementado en cuatro versiones. La primera utilizando la tarjeta Wio Link para la interconexión con todos los sensores. Esta versión, presentó menos dificultades al momento de implementarla, debido a que la herramienta de desarrollo es complementamente gráfica y hecha a bloques. Esto es, en la herramienta de desarrollo del fabricante, el usuario requiere solamente de arrastrar y colocar los bloques requeridos para su sistema. El fabricante ya cuenta con librerías para el uso de sensores específicos (sensores de CO₂, oxígeno, humedad, temperatura, etc.), actuadores, salidas digitales y analógicas, y entradas digitales, analógicas y seriales. Sin embargo la tarjeta solo cuenta con tres entradas/salidas digitales, una entrada analógica, y dos puertos seriales (I2C y UART), por lo que se limita en gran medida la cantidad de sensores a utilizar. Sin embargo una gran ventaja es el uso de tecnología HTTP RESTful, por lo que la interacción con los sensores y actuadores es de relativa facilidad.

La segunda versión del sistema se implementó basado en la tarjeta LinkIt DUO 7866. Esta plataforma hace uso de dos módulos, un procesador MT7866 de la fabricante Mediatek y un microcontrolador Atmel ATmega32a4, por lo que la implementación requirió de mas etapas. El inicio se realiza a través del microcontrolador, el cual hace uso de la herramienta de desarrollo Sketch[13]. El microcontrolador se enlaza de forma serial con el procesador, esto para que el procesador pueda tener acceso a las entradas analógicas, seriales y digitales de la plataforma. El siguiente paso es la programación del procesador. El procesador tiene como sistema operativo una distribución OpenWrt, la cual, a su vez tiene un compilador Python. El programa desarrollado lee las entradas provenientes del microcontrolador y las enlaza hacia un servicio de almacenamiento en la nube (Mediatek Cloud Sandbox), este nos provee de las APIs necesarias para poder leer la información de forma remota y poder enviar las acciones de respuesta. Esta versión del sistema implementado, contempla mas entradas y salidas que la versión WIO Link, además de que el sistema en general puede ser modificado. De igual forma integra las ventajas que puede proveer un microcontrolador ATMEL y un procesador con un sistema operativo OpenWrt[14].

La tercera versión se implementó utilizando la tarjeta BeagleBone Green Wireless. Esta plataforma hace uso de un procesador Sitara de la Texas Instruments. La tarjeta puede ser programada vía internet o de forma directa a través de una comunicación SSH. El potencial de procesamiento, en conjunto con la gran variedad de entradas y salidas que tiene esta plataforma, la hacen una de las mas robustas del mercado. De igual forma la tarjeta incluye un módulo Bluetooth de interconexión, el cual no se utilizó en este trabajo. Esta versión fue implementada a través del lenguaje Python, utilizando como base el programa implementado en la tarjeta LinkIt Duo. El programa se encarga de leer y de enviar los datos hacia un servicio de almacenamiento en la nube (Ubidots.com), el cual puede ser accesado de forma remota, o de igual forma el mismo servicio de almacenamiento nos provee de herramientas IFTTT[15], para la automatización del sistema.

La cuarta versión implementada fue la conjunción de todas las plataformas en un solo sistema, dividiendo los sensores y actuadores entre cada una de ellas. El sistema generado nos demostró la compatibilidad de cada uno de los módulos, y la correcta interacción entre los mismos. De igual forma esta versión posibilita la implementación de cada uno de los módulos en segmentos del sistema que sean adecuados a los mismos. Por ejemplo, la tarjeta WIO Link puede ser utilizada en áreas donde solo se requiera una interconexión simple, o prender y apagar algún elemento. La tarjeta BeagleBone puede ser utilizada en aplicaciones donde se requiera un procesamiento de las variables, por ejemplo, en el sistema de temperatura de la casa o en el monitoreo de variables críticas como sensores de fuego o de CO₂. La tarjeta LinkIt Duo puede, de igual forma, ser utilizada en el monitoreo de variables y el correcto procesamiento de dicha información, además de que, debido a sus características puede ser utilizada como access point para las tarjetas WIO Link y de igual forma BeagleBone.

Todas las versiones incluyen el módulo de transmisión de video a través de la Raspberry Pi y la aplicación Android para su control y monitoreo. De igual forma incluyen la versión de la aplicación Android para la tarjeta Odroid C2, que se encarga del almacenaje de toda la información obtenida por los sensores.

5 CONCLUSIONES

Este artículo presenta una variedad de opciones para la implementación de un sistema de control y monitoreo de una casa inteligente basado en el Internet de las cosas. Sin duda cada módulo podría funcionar de forma independiente y realizar el control de las variables consideradas, pero al integrar diversas plataformas, el resultado es una robustez del sistema en general. Tarjetas como la Wio Link nos permiten implementar una aplicación de forma simple y rápida, sin embargo, no cuenta con la posibilidad de realizar grandes modificaciones al propio sistema. Plataformas como la Raspberry Pi o la Odroid son soluciones robustas y con múltiples ventajas, que nos proveen de una variedad de posibilidades no solo de control y monitoreo, sino que también de un posible almacenaje y procesamiento de los datos.

La herramienta de desarrollo App Inventor es de gran ayuda para iniciar el aprendizaje de la elaboración de aplicaciones Android. Con un conocimiento mínimo de programación se puede realizar el diseño y la implementación de una aplicación básica.

Hoy en día, las opciones de dispositivos, plataformas y herramientas de desarrollo se multiplican. Conocer las ventajas y desventajas de cada una de ellas nos proveen de un conocimiento esencial en el momento del diseño e implementación de un sistema, y puede ser clave en el funcionamiento del mismo.

REFERENCIAS

1. G. Kortuem, F. Kawsar, D. Fitton, V. Sundramoorthy, "Smart objects as building blocks for the internet of things". Internet Computing, IEEE, Vol. 14, no. 1, 44-51, 2010.
2. M. Elkhodr, S. Shahrestani, H Cheung, "A smart home application based on the internet of things management platform", IEEE International Conference on Data Science and Data Intensive Systems, 2015
3. R. Pivare, S.R. Lee, "Smart home-control and monitoring system using smart phone". 1st International Conference on Convergence and its Application, pag. 83-86, 2013.
4. T. Perumal, S. Kanti, C. Bonnet, "IoT device management framework for smart home scenarios", IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics, 2015.
5. S.M. Spoor, "How can data generated by smart home devices help identify consumer needs?", 7th Bachelor Thesis Conference, 2016
6. J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, M. Palaniswami, "Internet of things(IoT): A vision architectural elements and future directions", Future Generation Computer Systems 29(7), pags. 1645-1660, 2013

7. L. Richardson & S Ruby, "RESTful web services", O'Reilly Media Inc, 2008.
8. http://wiki.seeed.cc/Wio_Link/
9. http://wiki.seeed.cc/LinkIt_Smart_7688_Duo/
10. http://wiki.seeed.cc/BeagleBone_Green_Wireless/
11. <https://www.raspberrypi.org/products/model-b-plus/>
12. <http://odroid.com/dokuwiki/doku.php?id=en:odroid-c2>
13. <http://www.arduino.cc>
14. <https://openwrt.org/>
15. <https://ifttt.com/>

2. BIOMÉDICA

2.1 DETECCIÓN DE CONVULSIONES CON ACELERÓMETROS EN PACIENTES EPILÉPTICOS, PARA LA ACTIVACIÓN SELECTIVA DE UN SISTEMA DE CAPTURA DE MOVIMIENTO Y DE ELECTROENCEFALOGRAFÍA INALÁMBRICA

José Daniel Pinzón Vivas, Gloria Arankowsky Sandoval, Francisco José Heredia López
Facultad de Medicina, Centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi
Universidad Autónoma de Yucatán.
daniel.pinzon@live.com.mx, asandov@correo.uady.mx, hlopez@correo.uady.mx

RESUMEN

La epilepsia es una afección caracterizada por actividad neuronal anormal. Su diagnóstico se realiza observando las manifestaciones clínicas del paciente y datos de electroencefalografía (EEG). El estándar de oro para detección de crisis epilépticas es el video-EEG, el cual provee ambos tipos de información, pero no es aplicable para monitoreo ambulatorio de larga duración.

Este trabajo propone activar selectivamente un sistema de EEG ambulatorio, iniciando la captura de datos solo cuando unidades de medición inercial (IMU), ubicadas en las extremidades del paciente, detecten movimiento de tipo epiléptico. Adicionalmente, las IMUs capturarán los movimientos del paciente durante la crisis. Los datos obtenidos podrán ser analizados posteriormente por un médico, quien contará ahora con información concisa para realizar su diagnóstico.

Otros beneficios de este enfoque: monitoreo ambulatorio, menor consumo de energía, mayor tiempo de monitoreo y reducción de datos de electroencefalografía innecesarios.

ABSTRACT

Epilepsy is a condition characterized by an abnormal neuronal activity. Its diagnosis is performed using a combination of patient's clinical manifestations and electroencephalography data (EEG). The gold standard for epileptic seizure detection is video-EEG, which provides both types of information, however, it is not applicable for ambulatory long term monitoring.

This study proposes the selective activation of an ambulatory EEG system, initiating data capture only when a seizure is detected with inertial measure units (IMU), attached to patient's extremities. Additionally, the IMUs will be used to capture the patient's movements during the seizure. The obtained data can be analyzed subsequently by a physician, who now will count with concise information for his diagnosis.

Other benefits of this approach: ambulatory monitoring, reduced energy consumption, more monitoring time and reduction of unnecessary electroencephalography data.

1. INTRODUCCIÓN

La electroencefalografía es una exploración neurofisiológica que se basa en el registro de la actividad bioeléctrica del cerebro [1], y está indicada en el diagnóstico de enfermedades de origen cerebral como la epilepsia, encefalopatías, trastornos del sueño, coma, muerte cerebral, entre otros [2].

La epilepsia es una enfermedad crónica caracterizada por uno o varios trastornos neurológicos que producen eventos súbitos con una actividad neuronal anormal y excesiva [3]. Las manifestaciones físicas de estos episodios epilépticos son variadas [4], aunque un síntoma comúnmente asociado con la epilepsia es la presencia de espasmos incontrolables o convulsiones [5].

Existen distintos tipos de epilepsia, y ésta puede ser originada por gran variedad de factores: genéticos, infecciones, trastornos metabólicos, traumatismos, tumores o ser idiopática (causa desconocida) [6]. Para tener un diagnóstico adecuado de la epilepsia e indicar el mejor tratamiento, se debe de contar tanto con la información de la actividad cerebral como de los síntomas clínicos al momento de una crisis epiléptica [7]. Esto se logra mayormente por medio de la electroencefalografía [8] combinada con la grabación en video de los movimientos del paciente (video-EEG) [9].

Normalmente, un electroencefalógrafo cuenta con un módulo para la adquisición de datos y otro para plasmar la información en papel, lo que resulta en una máquina grande y pesada, que debe de ser operada por un técnico capacitado. Con la introducción de la electroencefalografía digital los tamaños se redujeron drásticamente, sustituyendo la impresión en papel por la visualización a través de una pantalla, incluyendo software de procesamiento cada vez más avanzado.

Para obtener un EEG el paciente debe acudir a una clínica o laboratorio para que se le haga el estudio bajo la supervisión de un operador. En el caso del video-EEG, se mantiene al paciente en observación para tratar de obtener datos al momento de presentarse un episodio epiléptico. Sin embargo, un nuevo episodio epiléptico puede tardar desde unas cuantas horas hasta varios días en ocurrir, y no se puede mantener al paciente en observación indefinidamente.

Para superar esta limitación se desarrollaron los electroencefalógrafos ambulatorios, los cuales pueden grabar las señales cerebrales del paciente sin la necesidad de acudir a un hospital [10]. Sin embargo, estos dispositivos presentan otras desventajas: no proporcionan datos clínicos, tienen poca duración de batería y su memoria se llena rápidamente con horas de datos.

Este trabajo busca superar las limitaciones de los dispositivos de electroencefalografía actuales presentando el desarrollo de un electroencefalógrafo ambulatorio inalámbrico con monitoreo selectivo [11] y captura de movimiento. Es decir, en vez grabar continuamente, solo graba eventos relevantes (selectivamente), y además proporcionará información de los movimientos del paciente. Para lograr esto, se hará uso de unidades de medición inercial (IMUs), las cuales contienen acelerómetro, giroscopio y magnetómetro.

Diversos estudios han reportado ya el uso de acelerómetros para la detección de crisis epilépticas [12], sin embargo, aún no se han utilizado para activar el monitoreo selectivo de sistemas de EEG. De igual manera, se ha reportado el uso de IMUs para el seguimiento de movimientos del cuerpo [13], pero no se han utilizado para capturar movimientos (MoCap) de tipo convulsivo.

El enfoque propuesto utilizará IMUs tanto para la detección de crisis epilépticas (activando el sistema de EEG ambulatorio) como para la captura de movimientos. De esta forma se supera la limitación del video-EEG de mantener al paciente en observación, y al mismo tiempo se superan las limitaciones de la electroencefalografía ambulatoria: falta de datos clínicos, consumo de batería y de memoria.

Cabe aclarar que el enfoque de detección de crisis epilépticas usando acelerómetros abarca únicamente epilepsias con manifestaciones motoras, por lo que otros tipos de epilepsias quedarían excluidas del presente estudio.

2. ANTECEDENTES

2.1. Epilepsia

La epilepsia es una afección crónica caracterizada por uno o varios trastornos neurológicos que producen eventos súbitos con una anormal y excesiva actividad neuronal [3]. Un evento de este tipo se le conoce como crisis epiléptica. Aunque por lo general los términos convulsión y crisis epiléptica se usan de manera intercambiable, una convulsión es una contracción intensa e involuntaria de los músculos del cuerpo [5], mientras que una crisis epiléptica es el resultado de una descarga anormal de actividad eléctrica en la corteza cerebral, cuyos síntomas mostrados, así como las causas desencadenantes de ésta, son muy variadas [4] y dependen del área de la corteza cerebral en la que se presente la actividad eléctrica anormal. Así pues, se debe tener en cuenta que no necesariamente todas las convulsiones son epilépticas, y no todas las crisis epilépticas se presentan en forma de convulsiones.

2.1.1 Clasificación de las epilepsias

La clasificación de los tipos de epilepsia ha cambiado a través del tiempo, y existen distintas categorías ya que cada una se ha elaborado orientándose a necesidades distintas: enseñanza, epidemiología, investigación, ensayos terapéuticos o para la selección de candidatos quirúrgicos. La clasificación más aceptada es la propuesta por la Liga Internacional Contra la Epilepsia (ILAE¹), en la cual se clasifican dependiendo si el paciente conserva o no la conciencia durante la crisis epiléptica (simples y complejas), y también dependiendo si la actividad neuronal anormal se presenta en un área específica de la corteza cerebral o en toda (parciales y generalizadas).

Otra clasificación de gran utilidad es semiológica, la cual se basa en la sintomatología observada durante la crisis epiléptica [14]. La semiología observada durante una crisis epiléptica puede involucrar una o varias de las siguientes esferas: esfera sensorial, esfera de conciencia, esfera motora, esfera autonómica.

En la Figura 1 se puede observar la clasificación semiológica de las crisis epilépticas. Las auras son manifestaciones sensoriales y psicosenoriales. Las crisis autonómicas presentan alteraciones del sistema autónomo, generalmente en el ritmo cardiaco. En las crisis dialépticas, la manifestación principal es la alteración de la conciencia. Las crisis motoras pueden ser simples o complejas, dependiendo si el movimiento es anormal o si el movimiento se asemeja a movimientos naturales (automatismo). Las crisis especiales son aquellas con características inversas o negativas: atónica, astática, hipomotora, acinética, afásica.

Este trabajo se centra en las crisis motoras simples (marcadas con azul). No se incluyen las crisis motoras complejas debido a su semejanza con movimientos normales. Tampoco se incluyen las crisis mioclónicas, ya que son espasmos de corta duración, los cuales no suelen ser repetitivos ni rítmicos. Se incluyen las crisis clónicas, que presentan contracciones repetitivas; las tónicas, que consisten en la contracción sostenida de uno o más músculos; y las crisis tónico-clónicas.

¹ Liga Internacional Contra la Epilepsia, siglas en inglés *International League Against Epilepsy*
www.ilae.org

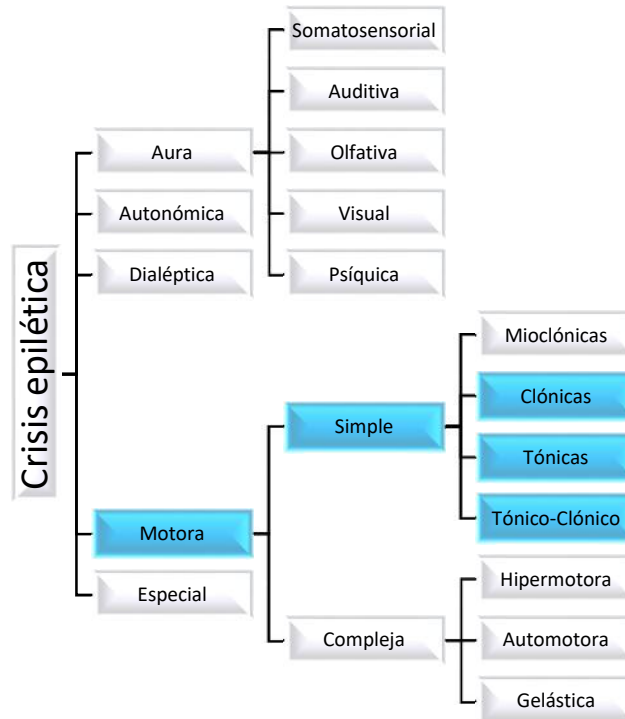


Figura 6. Clasificación semiológica de las crisis epiléticas.

2.1.2. Señales Cerebrales en la Epilepsia

En la epilepsia, debido a la descarga de actividad eléctrica neuronal, las señales del cerebro se salen de sus parámetros normales. Se pueden observar distintos patrones según el tipo de epilepsia. En las crisis parciales simples, se puede observar en ciertos canales una amplitud anormal que corresponde al área focal de descarga neuronal. En las crisis parciales complejas, dado que hay pérdida de la conciencia, se suele observar una descarga unilateral o bilateral en regiones frontales, temporales o fronto-temporales [15]. En las crisis generalizadas se presentan descargas en todas las áreas. Una ausencia típica generalmente muestra ondas con punta a 3 Hz, regulares, simétricas y bilaterales, aunque puede variar de 2 a 4 Hz (ver Figura 2). Las crisis tónicas muestran actividad rápida de bajo voltaje y ritmo entre 9 y 10 Hz, que disminuyen en frecuencia e incrementan en amplitud. Una crisis tónico-clónica generalizada se presenta de la misma manera en su fase tónica, pero es interrumpido por ondas lentas durante la fase clónica.

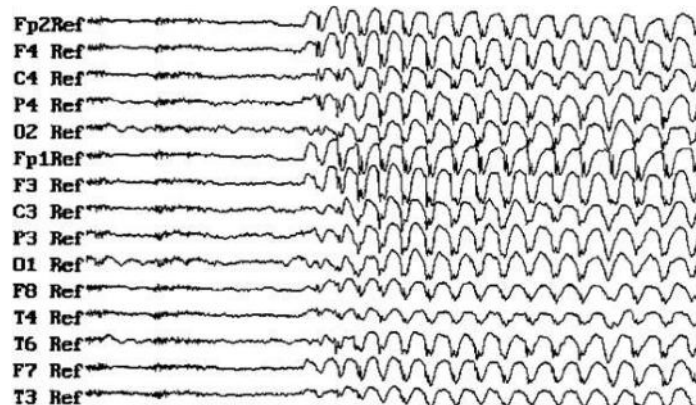


Figura 7. Complejos punta-onda de 3Hz durante una crisis de ausencia.
Fuente: http://www.epilepsiamexico.gob.mx/seguro/info-medico/libros/libro_epilepsia/cap11.pdf

2.2. Electroencefalografía

Habiendo distintos tipos de epilepsia, es común que se utilicen variadas técnicas de diagnóstico [16] [17]: electroencefalografía (EEG), mapeo cerebral, tomografía axial computarizada (TAC), tomografía por emisión de positrones (PET), tomografía computarizada de emisión monofotónica (SPECT), resonancia magnética (IRM), magneto encefalograma (MEG), potenciales evocados y estimulación magnética transcraneal.

La herramienta principal para diagnosticar la epilepsia es mediante EEG [8], que consiste en una exploración neurofisiológica que se basa en el registro y la evaluación de los potenciales eléctricos generados por el cerebro [1], específicamente de la corteza cerebral.

2.2.1. Electroencefalografía ambulatoria

Para realizar monitoreo de larga duración, se introdujo la electroencefalografía ambulatoria (AEEG), en donde el paciente lleva un dispositivo EEG portátil para registrar datos de manera continua durante cierto periodo de tiempo (normalmente 24 horas) sin necesidad de estar en un hospital [10], [18].

Las principales limitaciones de estos sistemas son el número de canales y la duración de la batería, que se ven comprometidos al tratar de cumplir con el resto de las especificaciones mínimas para electroencefalografía [19] [20] [21]. El dispositivo comercial TREA de Grass Technologies [22], cuenta con 25 canales y 72 horas de adquisición, pero no es inalámbrico. El dispositivo EPOC de Emotiv [23] cuenta con 14 canales y dos referencias, lo cual es el mínimo necesario para electroencefalografía, cuando en realidad se recomiendan usar montajes de al menos 18 o 24 canales, al mismo tiempo que la duración de la batería es únicamente de 12 horas.

Los equipos más recientes en electroencefalografía ambulatoria [24] alcanzan los 32 canales y utilizan tecnología wi-fi, bluetooth o radiofrecuencia para la transmisión de datos, pero aún están limitados en el tiempo de monitoreo, como es el caso del Enobio [25] con una duración máxima de 8 horas.

La literatura consultada mostró avances significativos en la cantidad de canales y en la transmisión de datos de forma inalámbrica, pero no en la duración de la batería debido al monitoreo continuo. En la Tabla I se comparan las características más importantes de trabajos recientes en AEEG. Ninguna de las referencias consultadas exploró el concepto de monitoreo selectivo o métodos de ahorro de energía para sistemas ambulatorios.

Tabla IV. Comparación de especificaciones en dispositivos EEG inalámbricos

Trabajo	Pinho et al (2014) [24]	Nautilus (2014) [26]	Enobio (2015) [25]	Emotiv (2014) [23]	Myung et al (2013) [27]	Pinzón (2013) [28]	Mín.
Canales	32	32	8-20	14+2	16	18+2	16
Muestreo (mps)	256-1000	250-500	500	128	512	250	200
Resolución (bits)	16-24	24	24	14	24	16	12
Comunicación	WiFi	RF	Bluetooth 2.1	Bluetooth 4.0	WiFi	RF	-
Ganancia	1 a 24	ajustable	-	-	10,000	1 a 6	-
Dimensiones (cm)	13x11	-	6x8.5	-	4.5x6.5	6x5.5	-

Consumo (mAh)	500	-	-	-	80	52	-
Duración (h)	26	10	8	12	-	8	-
Memoria	Sd-Card	PC	MicroSD	-	-	USB	-

2.3. Acelerometría

La detección de crisis epilépticas se puede realizar mediante el análisis de las señales electroencefalográficas del paciente. Sin embargo, este tipo de detección requiere de monitoreo continuo de EEG. Existen otras alternativas para la detección de crisis epilépticas no basadas en EEG [29], [30], [31], [32]: electrocardiografía (ECG), electromiografía (EMG), audio, video, presión, acelerometría y combinaciones de varias técnicas.

La acelerometría se ha proyectado como una alternativa para la detección de convulsiones que no requiere la presencia de observadores externos ni mantener al paciente en una habitación o área determinada [12]. La acelerometría se define como el estudio de la aceleración y está presente en muchos campos de estudio, entre los que se encuentra el estudio de los movimientos del cuerpo humano.

La revisión de la literatura mostró la implementación de acelerómetros de 3 ejes en la detección de convulsiones epilépticas usando dispositivos en distintas partes del cuerpo de los pacientes (comúnmente en las muñecas), los cuales pueden, además de detectar la crisis, grabar la hora del evento, e incluso mandar un mensaje de alerta con la ubicación del paciente, ya sea de manera autónoma o trabajando de manera conjunta con una aplicación en un teléfono inteligente. La Tabla II compara características de interés en trabajos de detección de crisis epilépticas como: tipo de crisis que detecta, algoritmo utilizado, sensibilidad, precisión, posicionamiento de los sensores, si el procesamiento de datos se hizo en el dispositivo o de manera externa y si el algoritmo requiere ser ajustado a cada paciente.

Un par de estudios publicados en 2010 y 2011 [33] [34] mostraron una sensibilidad de 90 y 85% respectivamente, mientras que otros estudios publicados del 2011 al 2015 [35] [36] [37] [38] reportaron una sensibilidad de 91% y especificidades respectivas de 80%, 72%, 84% y 95%. Asimismo, un trabajo publicado en 2014 [39], obtuvo una sensibilidad y especificidad de 95%, aunque el estudio se centró únicamente en convulsiones nocturnas. Respecto al estudio publicado en 2015 [40], centrado en convulsiones psicógenas no epilépticas, éste reportó una sensibilidad del 100%, especificidad del 85% y una exactitud del 92%. Aunque un trabajo [41] analizó únicamente convulsiones nocturnas, se observa que logró una sensibilidad del 100% haciendo una combinación de acelerómetros en muñeca, tobillo y pecho, no necesitó ajuste de pacientes y el procesamiento se realizó de manera interna. El algoritmo utilizado en este caso fue el de media móvil ponderada exponencialmente (EWMA). Aunque el uso de support vector machines (SVM) y la extracción de parámetros de tiempo, frecuencia y transformada wavelet mostraron buenos resultados, el procesamiento de estos algoritmos fue realizada de manera externa, y no directamente en el dispositivo.

Tabla V. Comparación de trabajos en detección de crisis epilépticas con acelerómetros

Trabajo	Beniczky et al [35]	Cuppens et al [39]	Salem et al [41]	Milosevic et al [38]	Gubbi et al [40]
Año	2013	2014	2014	2015	2015
Pacientes	63	7 (ped)	100*	7 (ped)	27
Tipo de Crisis	CTCG	Nocturna	Nocturna	CTCG	Psicógenas ²

² Psicógeno: Manifestación física que es generada por estrés emocional o mental, o por desórdenes psicológicos o psiquiátricos.

Algoritmo	-	PDF ³ : Tiempo, Frec. y TW ⁴	EWMA	LS-SVM ⁵	Wavelets, SVM
Sensibilidad	91%	95%	100%	91%	100%
Precisión	53%	60%	87%	68%	92%
Ubicación	Muñeca	Muñecas y Tobillos	Muñ, Tob, Pecho	Varios + ECG	Muñeca
Procesamiento	Int.	Ext.	Int.	Ext.	Ext.
Ajuste	No	Si	No	Si	

También se ha reportado el uso IMUs para el seguimiento de movimientos del cuerpo [13] [42] [43], pero no se han utilizado para capturar movimientos de tipo convulsivo. Un trabajo de 2016 [44] propone un sistema de captura de movimiento combinado con EEG, pero utiliza video 3D (Kinect) en vez de acelerómetros, por lo que no es ambulatorio.

Sólo un trabajo publicado en 2016 [45] exploró el concepto de monitoreo selectivo de larga duración usando acelerómetros, pero aplicado a un sistema de monitoreo en video y no a un sistema ambulatorio.

2.4. Planteamiento del Problema

El video-EEG es el estándar de oro en la detección de crisis epilépticas, pero requiere mantener al paciente en un área determinada. La electroencefalografía ambulatoria es una opción que permite monitorear al paciente fuera de un hospital [10]. La revisión de la literatura mostró que la principal limitación en el uso de estas tecnologías para el diagnóstico es la duración de la batería, que se agota debido al monitoreo constante, además de que no proporcionan información de los movimientos del paciente (datos clínicos).

El presente trabajo busca superar las limitaciones de los dispositivos de video-EEG y EEG ambulatorios actuales proponiendo un sistema de electroencefalografía inalámbrica y de captura de movimiento que se active únicamente al detectar movimientos de tipo convulsivos usando acelerometría (monitoreo selectivo). Se usarán IMUs, que se servirán para obtener los datos de movimiento del paciente. Los datos de EEG y de movimiento serán la herramienta primordial para que el médico realice un mejor diagnóstico.

3. HIPÓTESIS

La activación selectiva de un sistema de captura de movimientos y de electroencefalografía inalámbrica, mediante el uso de acelerómetros en pacientes con epilepsia, permitirá superar las limitaciones de duración y memoria de los sistemas de EEG ambulatorios.

4. OBJETIVO

Desarrollar una herramienta que detecte convulsiones con acelerometría, activando selectivamente la captura de movimiento de las extremidades y el registro de la actividad cerebral en pacientes epilépticos.

5. METODOLOGÍA

³ Función de densidad de probabilidad. Siglas en inglés para: Probability Density Function.

⁴ Transformada Wavelet

⁵ Máquinas de vectores de soporte (SVM) de mínimos cuadrados (least square)

La Figura 3 muestra el diseño general del sistema a desarrollar. Dicho sistema estará conformado por 5 unidades de medición inercial (IMU) ubicadas en las extremidades y en la cabeza. Cuando uno o varios de los sensores detecten movimiento anormal, se transmitirá la información de forma inalámbrica al módulo de control, el cual utilizará un algoritmo de decisión para poner el sistema en modo registro. En este modo, se activa el sistema de electroencefalografía y las IMU pasan a modo captura de movimiento. Los datos de movimiento y de EEG se envían al módulo de control, donde serán almacenados en una memoria para su posterior análisis.

A continuación, se hará una descripción más detallada del desarrollo del sistema.

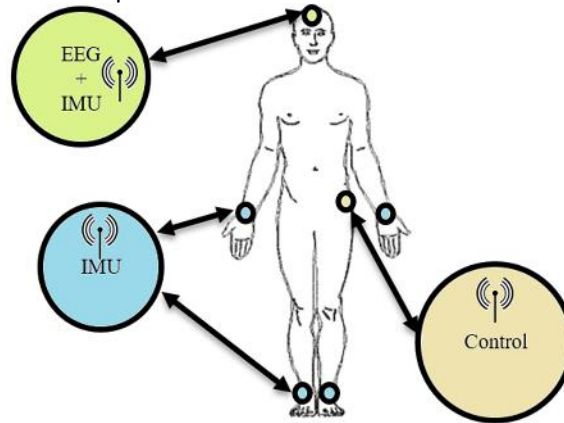


Figura 8. Diseño del sistema propuesto.

5.1. Diseño de un dispositivo que registre y envíe datos de los movimientos del paciente

Para la detección de movimiento se utilizará el sensor de orientación BNO055 [46], el cual incluye tanto un acelerómetro de tres ejes (rango de ± 16 g), como un giroscopio ($\pm 2000^\circ/\text{s}$) y un magnetómetro ($\pm 1300 \mu\text{T}$) de tres ejes cada uno. La información del giroscopio y el magnetómetro servirá para corregir y complementar los datos del acelerómetro, utilizando algoritmos de fusión de datos. En este caso, el BNO055 ya viene integrado con software interno de fusión de datos de Bosch Sensortec, por lo que puede proporcionar tanto datos individuales de cada sensor, como datos fusionados de orientación.

El sensor de movimiento será manejado por un microcontrolador, el cual se conectará a un módulo de radiofrecuencia para enviar los datos de forma inalámbrica al módulo de control. Todos estos componentes se encontrarán dentro de una banda o brazalete, alimentados con una batería de polímero de litio (Li-po). La Figura 4 muestra un diagrama de los componentes básicos del dispositivo.

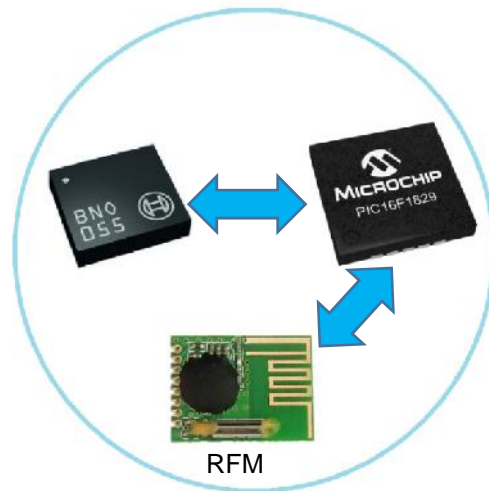


Figura 9. Componentes básicos para la detección de movimientos

5.2. Implementar un módulo para recepción y almacenamiento de datos de movimiento y electroencefalografía

El módulo principal contará con un módulo transmisor-receptor de radiofrecuencia (RFM) [47] para comunicarse con los brazaletes y el sistema de electroencefalografía. Un microcontrolador será el que lea y envíe datos a través del RFM. El controlador también estará conectado a un módulo de memoria para almacenar los datos de EEG y de orientación. También se incluirá un módulo bluetooth que servirá para enviar los datos a una PC. Los componentes básicos del módulo se muestran en la Figura 5.

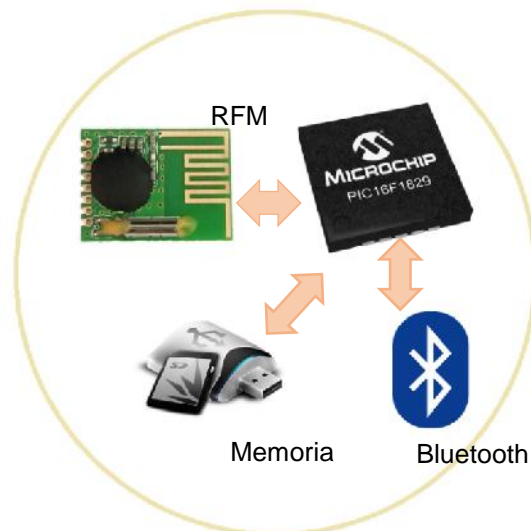


Figura 10. Componentes básicos del módulo de control

5.3. Diseño de un algoritmo de detección de crisis epilépticas basado en acelerometría

Actualmente existen relojes y brazaletes que detectan crisis epilépticas tónico-clónicas, ya sea trabajando de forma individual, combinando la acelerometría con otras técnicas [38] o usando más de un acelerómetro en distintas posiciones [48] [49]. En este trabajo se usarán 5 detectores de movimiento: uno en cada extremidad y otro en la cabeza. Cuando uno o varios de los acelerómetros detecten movimientos de tipo convulsivo, se envían datos al módulo principal, el cual procesará la información de cada acelerómetro y mediante un algoritmo de decisión determinará si se activará o no el sistema de EEG y comenzará a almacenar datos.

El uso de 5 IMUs, además de mejorar la sensibilidad y la precisión del algoritmo [49], tiene la función de generar un modelo básico del cuerpo y de sus movimientos [42], esto con el propósito de capturar los movimientos del paciente durante una convulsión. Aunque no se ha reportado previamente en la literatura la colocación de un IMU en la cabeza para la detección de crisis epilépticas, consideramos que es necesario para generar el modelo del cuerpo y para observar los movimientos de lateralización de la cabeza [50].

5.4. Desarrollo de un dispositivo EEG inalámbrico activado por la detección de convulsiones

Los electrodos recomendados para electroencefalografía son de copa de plata o de oro utilizados con crema conductora (colodión), los cuales deberán de estar en una malla o gorra para reducir el riesgo de movimiento cuando el paciente tenga una crisis. Se han realizado estudios para otro tipo de electrodos, ya sean activos o secos, pero esa tecnología aún está en desarrollo y no están disponibles comercialmente [51], [52].

Las señales de los electrodos pasan por un proceso de filtrado y amplificación para posteriormente ser digitalizadas y transmitidas para su almacenamiento y/o visualización. Esto se realizará con la interfaz analógica ADS1299 de Texas Instruments [53], el cual cumple con las especificaciones de diseño para electroencefalografía digital [19] [20] [21].

Se propone el siguiente patrón de diseño: los electrodos de electroencefalografía se conectarán a 4 módulos de adquisición ADS1299 para obtener un total de 32 canales de EEG. Los ADS1299 serán operados por un microcontrolador que recibirá los datos digitalizados y los enviará de manera inalámbrica al módulo principal.

Para aumentar el tiempo de monitoreo, el sistema se encontrará suspendido esperando únicamente la señal del módulo de detección, el cual, basándose en los acelerómetros, activará el registro de electroencefalografía solo cuando se haya detectado la presencia de una crisis convulsiva.

Este método propuesto presenta varias ventajas: Se ahorra energía al no haber necesidad de monitoreo continuo del EEG. Se tendrían únicamente datos relevantes de los eventos ocurridos, en vez de tener horas de datos. Junto con el registro del EEG se incluyen los datos de los movimientos del paciente, lo cual ayuda al diagnóstico al hacer una correlación entre los eventos neuronales y su manifestación física.

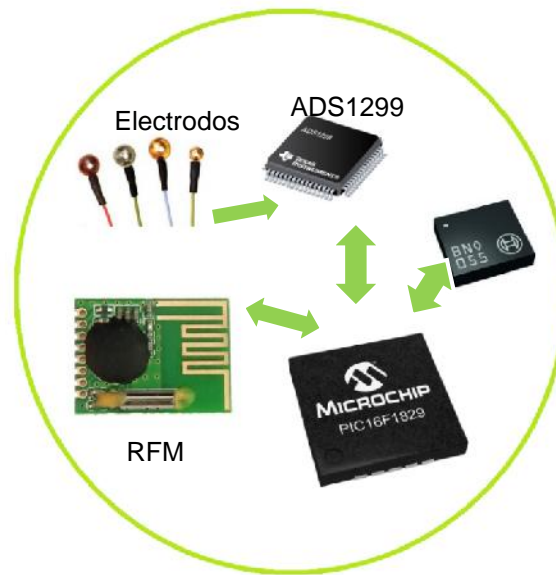


Figura 11. Componentes básicos del electroencefalógrafo

5.5. Verificación de la sensibilidad y precisión del algoritmo de detección

Para validar que la herramienta de detección sea confiable, se compararán los datos obtenidos por el sistema con los de un video-EEG. Se realizarán sesiones nocturnas entre las 20:00h y las 8:00h en un laboratorio de sueño. Se instruirá a los pacientes para que realicen sus actividades lo más normalmente posible dentro de la habitación. Además de dormir, se espera que los pacientes realicen actividades como: comer, leer, ver televisión, jugar videojuegos, usar computadora y lavarse los dientes. Todos los pacientes deberán firmar un formato de consentimiento informado y aceptar voluntariamente participar en el estudio.

El sistema de detección grabará de forma automática el número de episodios detectados, así como la duración de cada uno y la fecha y hora de detección. Por otro lado, los datos de video-EEG serán analizados por un experto para determinar visualmente la ausencia o presencia de convulsiones.

Al finalizar el periodo de estudio, se compararán los registros para calcular la efectividad de la detección basada en acelerometría con respecto a la basada en video-EEG.

Los casos de comparación son los siguientes:

- Crisis detectada por el sistema y por video-EEG: Verdadero positivo.
- Crisis detectada solo por video-EEG: Falso negativo.
- Crisis detectada solo por el sistema: Falso positivo.
- Crisis no detectada por ningún sistema: Verdadero negativo.

5.6. Verificación de la fiabilidad del sistema de electroencefalografía comparado con un sistema comercial

Para validar la herramienta de EEG, se utilizará un generador de funciones y se introducirán señales a distintas amplitudes y frecuencias en el prototipo desarrollado. Las mismas señales se introducirán en un electroencefalógrafo comercial. Se calculará la concordancia de los datos para determinar si el sistema desarrollado tiene la misma capacidad de medición que el comercial.

Posteriormente se realizará la misma prueba, pero utilizando registros reales tomados de una base de datos.

5.7. Pruebas finales del sistema integrado

Al finalizar con las pruebas y validaciones, el desarrollo del sistema habrá concluido. Sin embargo, se deberá comprobar la funcionalidad del sistema completo, es decir, comprobar que el sistema de detección active correctamente al sistema de captura de datos. Para lo anterior, primero se realizarán pruebas para medir la autonomía del sistema en cuanto a duración de la batería y espacio de memoria. Estas pruebas se realizarán en laboratorio, bajo condiciones controladas. Posteriormente, se realizará una prueba piloto en la que el sistema será usado por un paciente de manera continua, para comprobar la autonomía del sistema en condiciones reales. Se espera una duración mayor a 24 horas.

6. RESULTADOS

Se concluyó con la primera fase del proyecto, en la cual se elaboró un circuito prototipo (Figura 7) que puede transmitir inalámbricamente a una computadora datos de aceleración y orientación, los cuales son visualizados utilizando LabVIEW.

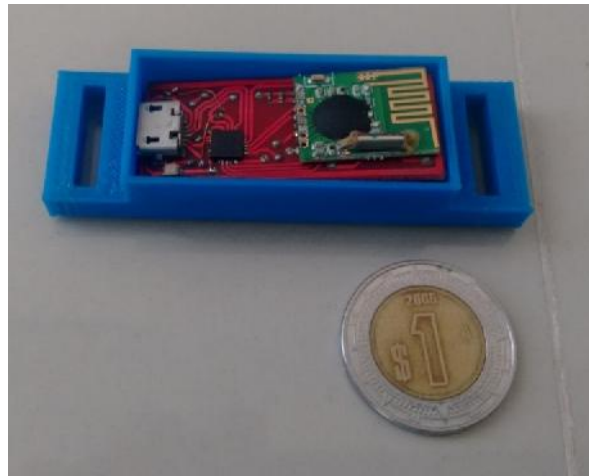


Figura 12. Circuito prototipo.

La posición de los ejes coordenados en el circuito se puede observar en la Figura 8. En el ejemplo de la Figura 9 se sostuvo el circuito en posición vertical y la visualización de la orientación en LabVIEW mostró la misma posición. En cuanto a la aceleración, los ejes X (blanco) y Z (verde) muestran aceleración de prácticamente 0. El eje Y (rojo) tiene una aceleración de 1 g, que es la aceleración ejercida por la fuerza de gravedad en ese eje. El ángulo de inclinación en X es cercano a 0°, mientras que el ángulo de inclinación en Y es cercano a 90°.

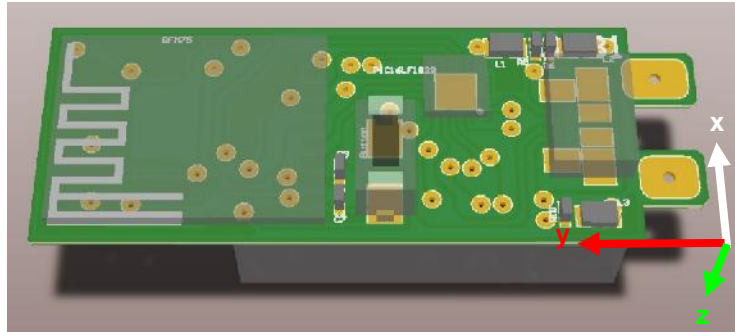


Figura 13. Ubicación de los ejes en el circuito.

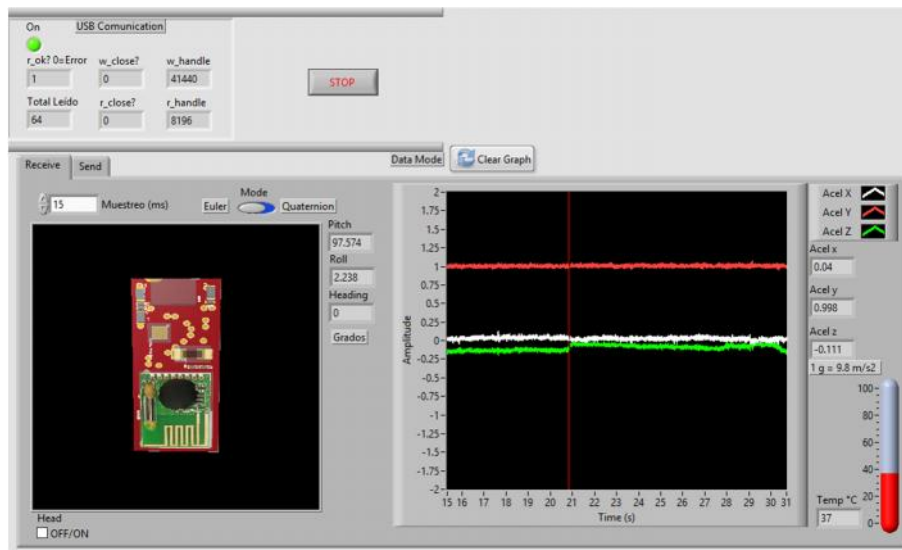


Figura 14. Visualización de datos en LabVIEW. Circuito en posición vertical.

La Tabla III y la Figura 10 muestran la comparación de la inclinación real en los ejes X y Y (medida con un inclinómetro), con los ángulos de Euler enviados por el IMU y observados en LabVIEW como roll (rotación en X) y pitch (rotación en Y). Los límites de concordancia fueron de -3.8° a 4.6° con 95% de confianza, por lo que se puede concluir que el desempeño del algoritmo de fusión de datos del dispositivo BNO055 es aceptable, tomando 5° de error como límite.

Tabla VI. Ángulos medidos vs. Ángulos de Euler.

Eje X	Roll	Diferencia	Eje Y	Pitch	Diferencia
0°	2°	-2°	0°	3°	-3°
30°	32°	-2°	30°	30°	0°
45°	45°	0°	45°	44°	1°
60°	58°	2°	60°	57°	3°
90°	86°	4°	90°	89°	1°

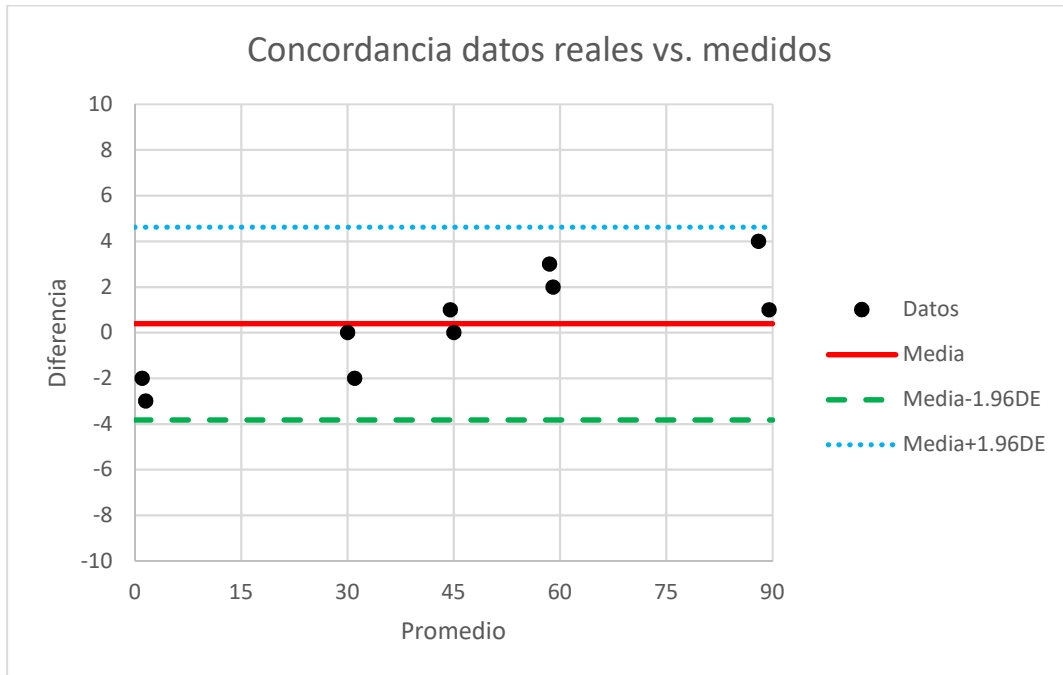


Figura 15. Gráfica Bland-Altman de ángulos reales vs ángulos observados con LabVIEW

El trabajo se encuentra actualmente en la fase 2, en la cual se desarrollarán brazaletes para cada extremidad, con lo cual se podrá dar inicio tanto al desarrollo del algoritmo de detección como al sistema de captura de movimientos.

7. CONCLUSIONES

Se elaboró un circuito prototipo para la detección de movimientos en pacientes epilépticos, el cuál puede transmitir inalámbricamente datos de aceleración y orientación a una computadora, los cuales son visualizados utilizando LabVIEW. Los resultados obtenidos en las pruebas iniciales con el circuito prototipo dan pie a continuar a las fases siguientes del proyecto.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. Hirsch y R. Brenner, *Atlas of EEG in critical care*, "EEG Basics", (John Wiley & Sons), pp. 1-37, (2011)..
- [2] F. Ramos-Argüelles, G. Morales, S. Egozcue, R. M. Pabón y M. T. Alonso, *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, **32**, 3, 69-82, (2009).
- [3] C. P. Panayiotopoulos, *The epilepsies: seizures, syndromes and management*, "Clinical Aspects of the Diagnosis of Epileptic Seizures and Epileptic Syndromes", (Bladon Medical Publishing, Oxfordshire), (2005).
- [4] D. P. Moore y B. K. Puri, *Textbook of Clinical Neuropsychiatry and Behavioral Neuroscience*, "Seizure and Epilepsy", (Hodder Arnold), 286-312, (2012).
- [5] A. H. Ropper y R. H. Brown, *Principios de Neurología*, "Epilepsia y Otros Transtornos Convulsivos", (Mc Graw Hill), 269-301, (2005).
- [6] *Atlas: Epilepsy Care in the World*, "Epilepsy: The disorder", (World Health Organization), 15-27, (2005).
- [7] C. P. Panayiotopoulos, *The epilepsies: seizures, syndromes and management*, "Optimal Use of the EEG in the Diagnosis and Management of Epilepsies", (Bladon Medical Publishing, Oxfordshire), (2005).
- [8] S. J. M. Smith, *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatr.*, **76**, 2, ii2-ii7, (2005).
- [9] J. Alving y S. Beniczky, *Seizure*, **18**, 7, 470-473, (2009).
- [10] J. R. Ives y D. L. Schomer, *Atlas of Ambulatory EEG*, "A Brief History of Ambulatory EEG", B. S. Chang, S. C. Schachter y D. L. Schomer, (Academic Press), 3, (2005).
- [11] J. R. Ives y D. L. Schomer, *Atlas of Ambulatory EEG*, "III. Continuous versus Event/Intermittent Recording", B. S. Chang, S. C. Schachter y D. L. Schomer, (Academic Press), 5-7, (2005).
- [12] T. M. Nijsen, J. B. Arends, P. A. Griep y P. J. Cluitmans, *Epilepsy Behav.*, **7**, 1, 74-84, (2005).
- [13] E. Bergamini, G. Ligorio, A. Summa, G. Vannozzi, A. Cappozzo y A. M. Sabatini, *Sens*, **14**, 10, 18625-18649, (2014).
- [14] S. Noachtar y A. S. Peters, *Epilepsy Behav.*, **15**, 2-9, (2009).
- [15] M. A. Alonso Venegas, B. Estañol Vidal, S. Garza Morales, J. Gavito Higerá, J. M. Ibarra Pulg, C. López Hernández y J. N. Ramos Peek, *Epilepsia*, "Definición y clasificación de las crisis epilépticas, síndromes epilépticos y epilepsias", F. Rubio Donnadieu, (Programa prioritario de la epilepsia).

- [16] M. A. Alonso Venegas, B. Estañol Vidal, S. Garza Morales, J. Gavito Higera, J. M. Ibarra Pulg, C. López Hernández y J. N. Ramos Peek, *Epilepsia*, "Neurofisiología Clínica", F. Rubio Donnadiou, (Programa Prioritario de la Epilepsia).
- [17] *Informe sobre la epilepsia en américa latina y el caribe*, (Organización Panamericana de la Salud, Washington, D.C.), (2013).
- [18] A. Lawley, S. Evans, F. Manfredonia y A. E. Cavanna, *Epilepsy Behav.*, **53**, 26-30, (2015).
- [19] "Guideline One: Minimum Technical Requirements for Performing Clinical Electroencephalography", (American Clinical Neurophysiology Society), (2008).
- [20] "Guideline 8: Guidelines for Recording Clinical EEG on Digital Media", (American Clinical Neurophysiology Society), (2006).
- [21] M. R. Nuwer, G. Comi, R. Emerson, A. Fuglsang-Frederiksen, . J.-M. Guérit, H. Hinrichs, . A. Ikeda, F. J. Luccas y P. Rappelsberger, *Recommendations for the Practice of Clinical Neurophysiology: Guidelines of the International Federation of Clinical Physiology*, "IFCN standards for digital recording of clinical EEG", G. Deuschl y A. Eisen, (Elsevier Science B.V.), (1999).
- [22] TREA® Ambulatory EEG System, Grass Technologies, [En línea]. Available: <http://www.grasstechnologies.com/products/clinsystems/trea1.html>. [Último acceso: 9 Noviembre 2015].
- [23] Emotiv EPOC, Emotiv, Inc, 2014. [En línea]. Available: <http://emotiv.com/epoc.php>. [Último acceso: 9 Noviembre 2015].
- [24] F. Pinho, J. H. Correia, N. J. Sousa, J. J. Cerqueira y N. S. Dias, *Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, 2014 IEEE 3rd International Conference on, "Wireless and wearable eeg acquisition platform for ambulatory monitoring", (2014).
- [25] *Enobio NE @ Brainwaves made simple*, (Barcelona: Neuroelectrics), (2015).
- [26] *g.Nautilus - Wireless Biosignal Acquisition*, (Austria: Guger Technologies), (2014).
- [27] B. R. Myung y S. K. Yoo, *Engineering*, **5**, 5, 93, (2013).
- [28] J. D. Pinzón Vivas, *Diseño y construcción de un electroencefalógrafo ambulatorio inalámbrico con memoria y manejo del consumo de energía basado en el movimiento del paciente. (Tesis Maestría)*, (Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán,), (2013).
- [29] J. Bidwell, T. Khuwatsamrit, B. Askew, J. A. Ehrenberg y S. Helmers, *Seizure*, **32**, 109-117, (2015).
- [30] C. Jory, R. Shankar, D. Coker, B. McLean, J. Hanna y C. Newman, *Seizure*, **36**, 4-15, (2016).
- [31] J. van Andel, R. D. Thijs, A. de Weerd, J. Arends y F. Leijten, *Epilepsy Behav.*, **57**, 82-89, (2016).

- [32] S. Ramgopal, S. Thome.Souza, M. Jackson, N. E. Kadish, I. Sánchez Fernández, J. Klehm, W. Bosl, C. Reinsberger, S. Schachter y T. Loddenkemper, *Epilepsy Behav.*, **37**, 291-307, (2014).
- [33] P. Jallon, *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE*, "A bayesian approach for epileptic seizures detection with 3d accelerometers sensors", (2010).
- [34] J. Lockman, R. S. Fisher y D. M. Olson, *Epilepsy Behav.*, **20**, 4, 638-641, (2011)
- [35] S. Beniczky, T. Polster, T. W. Kjaer y H. Hjalgrim, *Epilepsia*, **54**, 4, e58-e61, (2013).
- [36] U. Kramer, S. Kipervasser, A. Shlitner y R. Kuzniecky, *J Clin Neurophysiol*, **28**, 1, 36-38, (2011).
- [37] A. Dalton, S. Patel, A. R. Chowdhury, M. Welsh, T. Pang, S. C. Schachter y P. Bonato, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, **59**, 11, 3204-3211, (2012).
- [38] M. Milosevic, A. Van de Vel, B. Bonroy, B. Ceulemans, L. Lagae, B. VanRumste y S. Van Huffel, *J. Biomed. Health Inform.*, (2015).
- [39] K. Cuppens, P. Karsmakers, A. Van de Vel, B. Bonroy, M. Milosevic, S. Luca y B. Vanrumste, *J. Biomed. Health Inform.*, **18**, 3, 1026-1033, (2014).
- [40] J. Gubbi, S. Kusmakar, A. Rao, B. Yan, T. O'Brien y M. Palaniswami, *J. Biomed. Health Inform.*, (2015).
- [41] O. Salem, Y. Rebhi, A. Boumaza y A. Mehaoua, *e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom), 2014 IEEE 16th International Conference on*, "Detection of nocturnal epileptic seizures using wireless 3-D accelerometer sensors", (2014).
- [42] J. Tautges, A. Zinke, B. Krüger, J. Baumann, A. Weber, T. Helten y B. Eberhardt, *ACM T Graphics*, **30**, 3, 18, (2011)
- [43] Q. Riaz, G. Tao, B. Krüger y A. Weber, *Graph Models*, **79**, 23.38, (2015).
- [44] J. P. S. Cunha, H. M. Pereira Choupina, A. P. Rocha, J. M. Fernandes, F. Achilles, A. M. Loesch, C. Vollmar, E. Hartl y S. Noachtar, *PloS one*, **11**, 1, e0145669, (2016).
- [45] A. M. M. Van de Vel, B. Bonroy, K. Cuppens, L. Lagae, B. Vanrumste y B. Ceulemans, *Epilepsy Behav Case Rep*, **5**, 66-71, (2016).
- [46] *BNO055, Intelligent 9-axis absolute orientation sensor*, (Bosch Sensortec), (2015).
- [47] *RFM73, Low Power High Performance 2.4 GHz GFSK Transceiver*, (HopeRF Electronic), (2006).
- [48] I. Cleland, B. Kikhia, C. Nugent, A. Boytsov, J. Hallberg, K. Synnes, S. McClean y D. Finlay, *Sensors*, **13**, 7, (2013).

- [49] T. M. E. Nijsen, *Accelerometry based detection of epileptic seizures*, (Universidad Tecnológica de Eindhoven), (2008).
- [50] R. O'Dwyer, S. Cunha, C. Vollmar, C. Mauerer, B. Feddersen, R. C. Burgess, A. Ebner y S. Noachtar, *Epilepsia*, **48**, 3, 524-530, (2007).
- [51] H. Peng, J. Liu, H. Tian, Y. Dong, B. Yang, X. Chen y C. Yang, *Sensor Actuat B-Chem*, **226**, 349-356, (2016).
- [52] G. Li, D. Zhang, S. Wang y Y. Duan, *Sensor Actuat B-Chem*, (2016).
- [53] *Low-Noise, 8-Channel, 24-Bit Analog Front-End for Biopotential Measurements*, (Texas Instruments), (2012)..

2.2 SISTEMA DE INTERACCIÓN PARA PACIENTES CON TETRAPLEJIA

José Alfredo Estrada Soto
Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco
Departamento de Electrónica
Av. San Pablo 180 Col Reynosa C. P. 02200, Delegación Azcapotzalco
México, D. F.
jestrada@correo.azc.uam.mx

RESUMEN

La tetraplejía conlleva una dependencia total por parte de la persona que la padece. Para este tipo de pacientes es imposible el movimiento de las extremidades y, en ocasiones, no puede emitir sonido alguno debido a daños en ciertas regiones del cerebro. Para su operación, el Sistema de Interacción para Pacientes con Tetraplejía hace uso de dispositivos para el registro de la actividad cerebral y de tecnologías con base en los sistemas digitales; con ello, es posible la comunicación y el manejo de de controles on-off de dispositivos. El sistema está orientado a mejorar la calidad de vida tanto de los pacientes que sufren de tetraplejía como de las personas responsables de su cuidado.

ABSTRACT

Quadriplegia involves a total reliance by the person suffering. For these patients it is impossible movement of the limbs and sometimes can no sound due to damage in certain brain regions. For its operation, the Interaction System for Patients with quadriplegia makes use of devices for recording brain activity and technologies based on digital systems; thus, communication and management of on-off control devices is possible. The system is aimed at improving the quality of life of patients suffering from quadriplegia as persons responsible for their care.

1. INTRODUCCIÓN

Las capacidades físicas con las que cuenta un ser humano, le permiten llevar a cabo determinadas actividades sin depender de terceros. Si alguna de estas capacidades se llega a perder, es posible que la persona requiera de la ayuda de otros para cubrir la necesidad en turno; esto se agrava aún más, a medida que crece el número de pérdidas de tales capacidades físicas. De acuerdo a la época, los investigadores han propuesto una serie de soluciones a este tipo de problemas con base en la tecnología del momento; la electrónica y la computación no son la excepción.

Los accidentes, las enfermedades degenerativas, entre otras, son factores que pueden redundar en la parálisis o discapacidad física, parcial o total, de una persona. Cuando alguien llega a padecer una parálisis total de sus extremidades (denominada tetraplejía o cuadriplejía), su vida cambia por completo debido a que queda a expensas de la ayuda de otras personas. Socialmente hablando, en México el porcentaje de integrantes de la familia que se dedican por completo al cuidado del hogar es cada día más bajo; esto debido al trabajo o al estudio, principalmente. Así, el cuidado de un paciente con tetraplejía puede llegar a ser una carga no tan soportable por aquel miembro de la familia que sea el encargado de estar al pendiente del paciente. En años recientes, se han construido

una serie de prototipos para ayudar en este tipo de situaciones y son los antecedentes directos para el desarrollo de este trabajo [1] [2] [3] [4] [5].

En sí, cuando la médula espinal llega a sufrir algún daño, por ejemplo, en la vertebras cervicales, generalmente resulta en la parálisis parcial o total de las extremidades ya que la función principal de la médula espinal es el intercambio de mensajes entre el cerebro y diferentes partes del cuerpo [6], donde el propósito de estos mensajes es el coordinar aquellas acciones relacionadas con el movimiento y con el sistema nervioso autónomo, entre otras.

A principios del siglo XX, el neurólogo alemán Hans Berger encausó sus esfuerzos hacia el estudio de la actividad eléctrica del sistema nervioso. Los resultados obtenidos por Berger permitieron sembrar las bases para la posterior construcción de dispositivos orientados al registro y evaluación de los potenciales eléctricos generados por el cerebro; esto mediante el uso de electrodos situados sobre la superficie del cuero cabelludo. Nace así, en primera instancia, el electroencefalograma (EEG), que es el registro de la actividad eléctrica de las neuronas del encéfalo y que sirvió como base al Dr. Walter Grey para desarrollar la primera interfaz entre el cerebro y la computadora en 1964. En años recientes han surgido una variedad de interfaces cerebro computadora, con características tales que van desde simples juguetes, hasta potentes dispositivos que permiten un muy amplio registro de la actividad eléctrica del cerebro. Ejemplos de este tipo son las diademas neuronales desarrolladas por la empresa Emotiv.

La diadema neuronal Emotiv [7] permite la interacción cerebro computadora y consta de una interfaz gráfica para el monitoreo y captura de estados afectivos y expresivos.

El trabajo que se presenta, muestra los componentes de un sistema cuyo objetivo es brindar un cierto nivel de autonomía a un paciente con tetraplejía y un apoyo a la persona encargada de su cuidado. Lo anterior con base en una interfaz cerebro computadora y dispositivos móviles inteligentes.

2. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Para el paciente que sufre tetraplejía es imposible el movimiento de las extremidades y, en ocasiones, no puede emitir sonido alguno debido a daños en la médula espinal o en ciertas regiones del cerebro. Sin embargo, otras tantas regiones del cerebro siguen mostrando actividad. Con base en esto, el Sistema de Interacción para Pacientes con Tetraplejía (SIPTe), hace uso de la actividad cerebral para poder interactuar con otras personas y para manipular algunos dispositivos de manera autónoma. La figura 1 muestra la arquitectura del sistema.

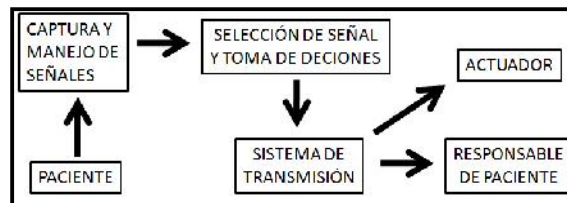


Figura 1. Arquitectura de SIPTe.

2.1 Captura y manejo de señales

Existen diversos procedimientos para captar la actividad eléctrica cerebral, sin embargo, el empleado para SIPTe es sobre el cuero cabelludo mediante electrodos superficiales que se aplican sobre el cuero cabelludo sin necesidad de procedimiento quirúrgico alguno. Si bien es cierto que siempre es posible utilizar cierto tipo de electrodos, también es cierto que el nivel de las señales obtenidas es relativamente bajo y requerirían de un hardware especializado para amplificar y digitalizar tales señales para su posterior manejo. Además, los montajes de los electrodos deben seguir ciertas directrices y un número mínimo de canales. En 1986 la *American Electroencephalographic* hizo la recomendación del uso de 16 canales para un EEG, Sin embargo, múltiples trabajos han demostrado que un registro aceptable de actividad cerebral es posible a partir de un mínimo de 8 canales y siguiendo el Sistema Internacional Estándar de colocación de electrodos diez-veinte, el cual se muestra en la figura 2 [8].

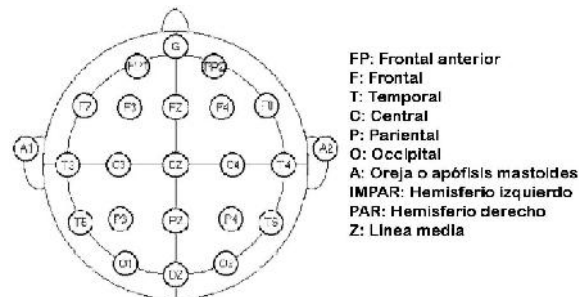


Figura 2. Sistema diez-veinte

Este sistema trata la colocación de los electrodos utilizando referencias craneanas. Se le denomina 10-20 debido a que la distancia entre los electrodos es de un 10-20% de acuerdo a determinadas referencias craneanas. Para SIPTe se emplea una diadema neuronal de la empresa Emotiv que cumple con las recomendaciones anteriores ya que, entre otras características, consta de 16 electrodos y un sistema de desarrollo que permite su empleo como interfaz cerebro-computadora. La figura 3 muestra la distribución de los electrodos.

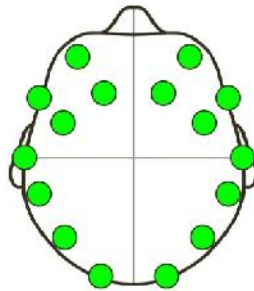


Figura 3. Distribución de los electrodos de la diadema neuronal.

De esta manera la actividad cerebral es captada por la diadema; cada señal es amplificada y digitalizada para después ser puesta a disposición de la selección de señales y toma de decisiones.

2.2 Selección de señales y toma de decisiones

Las señales captadas durante un EEG son tan variadas como la actividad cerebral del paciente las genere. Además, entre otros factores, las señales varían según la edad del paciente y si está despierto o dormido. Una de las ventajas de la diadema que se utiliza es que puede ser caracterizada de acuerdo al paciente y permite ubicar el tipo de señal a emplear.

Para este trabajo, las señales que interesan son aquellas que tienen que ver con la expresión facial. Así, de acuerdo a la expresión facial captada se envía un caracter al puerto de entrada estándar de la computadora. Este caracter puede ser visualizado o bien, manipulado previa lectura del puerto. Las combinaciones propuestas para cada expresión se muestran en la tabla I, y son las empleadas en [1].

Tabla I

Expresiones	Caracter
Ojo derecho cerrado	A
Ojo izquierdo cerrado	B
Ambos ojos cerrados	C
Boca abierta	J
Ceja derecha levantada	L
Ceja izquierda levantada	M
Ambas cejas levantadas	N

Tabla I. Ejemplo de combinaciones con base en expresiones

Una vez hecha la lectura del puerto, el contenido del buffer es relacionado con una acción en particular. SIPTe considera dos acciones: enviar un mensaje al cuidador en turno o controlar un dispositivo de encendido-apagado.

2.3 Sistema de transmisión

El años recientes el empleo de Internet para el desarrollo de aplicaciones hombre-máquina ha venido predominando. Sin embargo, por increíble que parezca, aún existe un sector importante que no cuenta con tal servicio. Es por ello que SIPTe emplea como medio de transmisión el bluetooth [9] pero a nivel de capa de transporte con base en modelo cliente-servidor.

Las aplicaciones para la transmisión de la información, que en realidad son comandos, están con base en lenguaje C y el SDK de Eclipse [10]. Con ello es posible la comunicación vía bluetooth y es posible su empleo en una amplia variedad de sistemas embebidos y con smartphones Android. Cabe mencionar que la aplicación para el servidor considera únicamente servidores interactivos, es decir, servidores que atienden a un solo cliente a la vez. Esta decisión es debida a la importancia que tiene que el cuidador en turno realmente sienta que es responsable del paciente; ya que si el servidor fuera concurrente, permitiría tener varios cuidadores con la probabilidad de que cada uno de ellos pudiera no atender al paciente pensando que otro más lo haría.

La figura 4 muestra algunos elementos de programación que se emplean para el manejo del bluetooth y de los sockets bajo Eclipse.

```
import android.bluetooth.BluetoothAdapter;
import android.bluetooth.BluetoothDevice;
import android.bluetooth.BluetoothServerSocket;
import android.bluetooth.BluetoothSocket;

private BluetoothSocket mmSocket=null;
private BluetoothDevice device=null;

adapler=BluetoothAdapter.getDefaultAdapter();
mmSocket = device.createRfcommSocketToServiceRecord(MY_UUID);
mmSocket.connect();
```

Figura 4. Elementos de programación para SIPTe

La aplicación emplea sockets tipo flujo para asegurar que el comando enviado es el recibido. Esto es gracias a que los sockets tipo flujo funcionan mediante el protocolo TCP. Se generaron dos procedimientos para el envío de los comandos: uno si el comando es para el cuidador y otro si es para el actuador.

2.4 Acciones

La ejecución de la acción depende del comando generado. Si el paciente requiere de la atención del cuidador, el comando es enviado al smartphone de este, en caso contrario, se envía a módulo actuador.

2.4.1 Acción para el cuidador y el actuador

Para que el cuidador se entere que el paciente requiere de su atención, recibe en un smartphone uno de los seis mensajes mostrados en la tabla 2. Para ello, el smartphone opera bajo Android. La aplicación para el smartphone se desarrolla con el SDK de Eclipse siguiendo también el modelo cliente-servidor y el uso de sockets tipo flujo.

Se emplean los sockets debido a que el núcleo de Android está con base en Linux y así el adaptador de Bluetooth del smartphone es llevado a un nivel lógico de manera tal que puede ser manipulado mediante simples llamadas al sistema de lectura-escritura, tal como si fuese un archivo.

Tabla II

Código	Tipo de necesidad
A	El paciente tiene frío
B	El paciente tiene calor
C	El paciente está confortable con la temperatura actual
D	El paciente tiene sed
E	El paciente tiene hambre
F	El paciente esta satisfecho

Tabla II. Mensajes disponibles para la atención del paciente

Cuando el paciente requiere únicamente el encendido o apagado de la luz, se emplea el código M para el encendido y el código N para el apagado. Estos comandos, M y N, son recibidos por un sistema embebido con base en un Arduino vía bluetooth que, mediante un transistor, activa un relevador que realiza la función de encendido-apagado de una lámpara. De esta forma el paciente puede decidir el estado actual de iluminación.

3 PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas incluyeron únicamente dos pacientes de edades similares (34 y 37 años) y ambos conservan la capacidad del habla. El número de pacientes es reducido debido a la dificultad para conseguir el permiso de los familiares de otros pacientes.

Para cada paciente se solicitó a los familiares un smartphone con Android y se empleó una maqueta, previamente construida, con una lámpara y el circuito de potencia para no modificar las instalaciones del lugar. Se caracterizó a cada paciente y fue relativamente rápido el ajuste de las aplicaciones para obtener las señales correspondientes a las expresiones faciales que importaban.

Básicamente, la comunicación entre los dispositivos se comportó muy bien a pesar de que la construcción de uno de los sitios contaba con una cantidad fuerte de acero. En cuanto a la aplicación, no fue posible la concurrencia de las tareas que debían llevar a cabo el mecanismos de mensajes y el del control on-off, por lo que se empleó una metodología de exclusión mutua para sección crítica.

4 CONCLUSIONES

La ergonomía siempre ha estado enfocada a la comodidad de los usuarios de aquellos lugares que la contemplan; comodidad en términos de "aunque lo puedas hacer, yo lo hago por ti", Es decir, tal comodidad está pensada para los usuarios que generalmente cuentan con la mayoría de sus capacidades. Cuando una persona llega a lastimarse, por ejemplo, una mano o un pie, le es difícil cumplir con las actividades que realiza día a día; el cómo es la vida de un paciente con tetraplejia, es totalmente ajena para la mayoría de las personas. Los sistemas digitales, en conjunto con las ciencias médicas, son una excelente combinación con un gran campo de aplicación para generar soluciones a problemas de la sociedad. De acuerdo a los resultados obtenidos, SIPTe es una buena opción para brindar una mejor calidad de vida a pacientes con tetraplejia. Sin embargo, hay que considerar que el uso de la diadema, por largos intervalos de tiempo, puede llegar a molestar al paciente. En años recientes se han retomado algunas soluciones desarrolladas en la década de los 90 tales como el manejo de computadoras mediante el movimiento del ojo [11]; otras, con base en el kinect, están aún en fase de investigación [12]. En ambos casos el paciente requiere estar siempre frente a una pantalla expuesto también a sufrir problemas visuales. Como trabajo a futuro, se propone que los problemas de concurrencia pueden ser satisfechos empleando sistemas embebidos que contemplen sistemas operativos embebidos multitarea

REFERENCIAS

- [1] Estrada JA, Cosme JF. *Intérprete de necesidades básicas para pacientes con cuadriplejia y pérdida del habla*. (Memorias del 1er Congreso Iberoamericano de Instrumentación y Ciencias Aplicadas. Campeche, Campeche, México), Octubre 28-31, 2013.
- [2] Estrada JA, Medina A. *On-off control for those people with lower extremity disability*. (Proceedings of the 1st International Congress on Instrumentation and Applied Sciences. Quintana Roo, México), October 26-29, 2010.
- [3] Estrada JA, García MA. *Una aplicación para teléfonos inteligentes*. (Memorias del XII Congreso Nacional de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Mayab. Yucatán, México), Abril 23-27, 2012.
- [4] Estrada JA, Cosme JF. *Control on/off como apoyo a personas con limitaciones en sus extremidades inferiores*. (Memorias del XXVII Congreso de Instrumentación. Sinaloa, México), Octubre 29-31, 2012.
- [5] Estrada JA, Esquivel M. *Sistema de control como apoyo a minusválidos*. (Memorias del XI Congreso Nacional de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Mayab. Yucatán, México), Abril 10-13, 2013.

- [6] Facultad de Medicina Universidad Complutense de Madrid: *Tetraplejia traumática tras fractura vertebral cervical: Estudio comparativo de tratamiento conservador quirúrgico*. Disponible en: <http://eprints.ucm.es/12573/1/T32718.pdf> (Ultimo acceso: Abril 23, 2016).
- [7] EMOTIV EPOC, "MANUAL PARA EL EMOTIV DEVELOPMENT KIT". Disponible en: <http://emotiv.com>. (Ultimo acceso: Agosto, 2016).
- [8] SISTEMA 10-20, imagen. Disponible en: <http://anestesar.org> (Ultimo acceso: Enero 24, 2016)
- [9] Bluetooth Especial Interest Group. Disponible en: <http://www.bluetooth.org/apps/content> (Ultimo acceso: Noviembre 15, 2011)
- [10] PLATAFORMA DE DESARROLLO para Android. Disponible en: <http://developers.android.com> (Ultimo acceso: Marzo 13, 2016)
- [11] THE EYEGAZE EDGE. Disponible en: <http://www.eyegaze.com/eye-tracking-assistive-technology-device> (Ultimo acceso: Octubre 30, 2016)
- [12] SISTEMA "LOW COST PARA TETRAPLÉJICOS". Disponible en: <http://www.medulardigital.com/?act=dnews&s=1&n=9521> (Ultimo acceso: Octubre 29, 2016)

2.3 DISEÑO DE UN FILTRO DIGITAL PARA LA EXTRACCIÓN DEL PULSO CARDIACO EN MEDICIONES FOTOPLETISMOGRÁFICAS.

Mildred González Hau, Geenkel Coss Lara, Carlos Brito Loeza, Arturo Espinosa Romero
Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Matemáticas
Laboratorio de Aprendizaje Automático y Visión Computacional, www.clir-lab.org
miltere.coss00@gmail.com, carlos.brito_eromero@correo.uady.mx

RESUMEN

La fotoplethysmografía (PPG) es un método utilizado para calcular la frecuencia cardiaca de una persona, y se basa en los cambios en la reflexión de luz de la piel debido a los cambios en el volumen de sangre. La principal ventaja de este método es que los dispositivos que lo utilizan pueden ser pequeños, portables y cómodos, sin embargo, la señal obtenida por el sensor es muy pobre en amplitud y es necesario implementar un filtro para amplificar la señal y eliminar el ruido eléctrico y el debido al movimiento y la luz ambiental. En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un filtro digital para la obtención de la señal de fotoplethysmografía limpia y para calcular la frecuencia cardíaca con el método de cruce por cero. Este filtro puede ser usado en microcontroladores de capacidad limitada.

ABSTRACT

Photoplethysmography (PPG) is a method to calculate the heart rate of a person based on changes in light reflection of the skin due to changes in blood volume. The main advantage of this method is that it allows for the design of small and portable devices. However, the signal obtained by this sensor is very poor in amplitude hence it is necessary to implement a filter to amplify it and to reduce electrical noise and those due to movement and ambient light. In this paper the design and implementation of a digital filter is presented for obtaining a clean Photoplethysmography signal and to calculate the heart rate with the zero-crossing method. The proposed filter may be used on microcontrollers with limited capacity.

1. INTRODUCCIÓN.

Un filtro es un sistema que permite el paso de señales a un rango de frecuencias definido e impide el paso de las demás. En el caso de los filtros digitales, estos se utilizan para filtrar señales discretas en tiempo y amplitud. Este tipo de filtros tienen la ventaja de ser programables y su comportamiento puede cambiarse fácilmente.

Los filtros digitales tienen una gran cantidad de aplicaciones: se utilizan para el procesamiento de imágenes, de señales de audio o para reducir o remover el ruido en cualquier señal. Una aplicación particular de los filtros digitales se encuentra en el área de acondicionamiento físico, para medir la frecuencia cardíaca de una persona mientras realiza actividades físicas. Para la captura de esta señal se utiliza un pulsioxímetro. Este dispositivo emite una luz hacia la piel del usuario y mediante un sensor se recupera la señal de luz reflejada (o transmitida) por la piel y los tejidos debajo de ésta. Los cambios en el volumen de sangre provocan cambios en la cantidad de luz reflejada que serán captados por el sensor. Esta técnica para extraer la señal del pulso de una persona es llamada fotoplethysmografía (PPG, por sus siglas en inglés). La señal PPG consta de dos componentes: el primero es el componente variable, que proviene de los cambios en el volumen de sangre arterial provocado por el bombeo del corazón, y el segundo es el componente constante que proviene de la luz reflejada por los tejidos y la sangre venosa. Existen distintas fuentes de ruido que pueden contaminar esta señal, como pudiera ser el ruido eléctrico, el ruido provocado por el movimiento de la persona durante la actividad física o por la luz ambiental. Del componente variable de la señal PPG puede extraerse fácilmente la frecuencia cardíaca contando los cruces por cero. Sin embargo,

los factores antes mencionados, distorsionan la señal PPG añadiendo componentes de diferentes frecuencias que impiden poder calcular la frecuencia cardíaca sin realizar previamente un filtrado para eliminar los diferentes tipos de ruido.

2. DISEÑO DE FILTROS.

Según las frecuencias que un filtro deja pasar se clasifican en:

- Pasa-bajas
- Pasa-altas
- Pasa-banda
- Rechaza-banda

Los filtros pasa-bajas permiten el paso de frecuencias por debajo de una frecuencia seleccionada y atenúan las frecuencias por arriba de ésta. Los filtros pasa-altas funcionan de manera contraria a los pasa-bajas. Los filtros pasa-banda permiten el paso de frecuencias dentro de una banda, esto es, frecuencias dentro de un rango definido por dos frecuencias seleccionadas, y atenúan las demás. Por último, los rechaza-banda se comportan de manera inversa a los pasa-banda. Las frecuencias en las que el comportamiento del filtro cambia, esto es, en el que la señal reduce su amplitud a $1/\sqrt{2}$ de su valor máximo (atenuación de 3 decibeles), se les denomina frecuencias de corte.

Matemáticamente, la representación de la salida de un filtro digital está dada por la ecuación 1, en donde n es el número de muestras y x es la entrada del filtro.

$$y[x] = \sum_{k=0}^N b_k \cdot x(n-k) - \sum_{k=1}^M a_k \cdot y(n-k) \quad (1)$$

Los coeficientes a y b determinan el comportamiento del filtro, por lo tanto, el diseño de filtros digitales consiste en encontrar los coeficientes adecuados para obtener el comportamiento deseado.

Los puntos que se deben tomar en cuenta en el diseño de un filtro son:

- Las frecuencias de corte deseadas.
- La ganancia o atenuación en la banda de paso y banda de rechazo.
- El rizo en la banda de paso.
- El ancho de la banda de transición.

En la ecuación 1, si $a_k = 0$ sólo tendríamos coeficientes b_k y la salida del filtro sólo depende de valores de la señal de entrada. A este tipo de filtros se les conoce como filtros de respuesta finita al impulso (FIR, por sus siglas en inglés). Cuando la salida del filtro si depende de valores previos de la salida se les conoce como filtros de respuesta infinita al impulso (IIR, por sus siglas en inglés).

Los filtros FIR tienen la ventaja de ser siempre estables y por lo tanto no entran en oscilaciones. Además, tienen una respuesta en fase más lineal que los IIR. Sin embargo, para lograr la respuesta en frecuencia deseada, generalmente se necesitan más coeficientes, sobre todo si se requiere una banda de transición corta, y por lo tanto se incrementa el costo computacional al ejecutar el filtro. Por otro lado, los filtros IIR pueden tener bandas de paso cortas con pocos coeficientes, sin embargo, pueden ser inestables y no tener una fase lineal.

2. FILTROS IIR.

Estos filtros dependen de instantes anteriores de la y cuenta con ceros y polos a diferencia de los filtros FIR que sólo tienen ceros. En la ecuación 2 se encuentra la función de transferencia de los filtros IIR:

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_M z^{-M}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_N z^{-N}} \quad (2)$$

en donde b_k y a_k son los coeficientes del filtro. El diseño de filtros digitales IIR consiste en encontrar estos coeficientes que definen el comportamiento del filtro.

Los polos de la función de transferencia del filtro definen su estabilidad. Si todos los polos están dentro del círculo unitario $|z| = 1$, el filtro será estable, y si alguno de ellos se encuentra fuera, el filtro será inestable. Los polos pueden ser calculados encontrando las raíces del siguiente polinomio obtenido de factorizar z^{-N} en el denominador de la función de transferencia:

$$z^N + a_1z^{N-1} + a_2z^{N-2} + \dots + a_N$$

Como se mencionó anteriormente, los filtros IIR no pueden diseñarse para tener fase lineal, sin embargo, tienen la ventaja de que con un menor número de coeficientes se puede lograr una mejor respuesta en frecuencia. Los métodos para diseñar filtros IIR se dividen en métodos directos y métodos indirectos. En los métodos indirectos se transforma un filtro analógico diseñado previamente, en uno digital que tenga respuesta en frecuencia muy parecida.

MATLAB provee de herramientas para diseñar filtros digitales de tipo IIR. Estas herramientas por lo general devuelven los valores de los coeficientes a_i y b_i recibiendo como parámetros las especificaciones que deseamos del filtro, como las frecuencias de corte.

Existen diferentes técnicas que pueden utilizarse para optimizar la programación en software de un filtro digital. Al optimizar el filtro se puede reducir la memoria necesaria y el tiempo de procesamiento. Esto adquiere importancia cuando el filtro debe ejecutarse en un dispositivo embebido en donde los recursos son limitados. En la siguiente sección se describirá cómo se obtiene la señal PPG sin filtrar, el proceso de diseño de un filtro digital de tipo IIR para extraer la señal PPG y el método para el cálculo de la frecuencia cardíaca a partir de la señal filtrada.

3. EXTRACCIÓN DE LA SEÑAL PPG.

Como se mencionó anteriormente, la señal PPG obtenida de la reflexión de la luz de la piel, puede estar contaminada de varias fuentes de ruido, lo que dificulta el cálculo de la frecuencia cardíaca. Para obtener una señal PPG de la que se pueda extraer la frecuencia cardíaca es necesario diseñar un filtro que atenúe el ruido y amplifique la señal deseada. En esta sección se describirá como se obtiene la señal PPG contaminada, el filtro diseñado para extraer la señal de interés y la obtención de la frecuencia cardíaca a partir de la señal filtrada.

3.1. Obtención de la señal.

Para obtener las señales PPG se utilizó la tarjeta de desarrollo de *Texas Instruments* AAFE4404EVM (Figura 1). La tarjeta consiste básicamente en un microcontrolador MSP432F5529 que cuenta con un módulo para comunicación USB con la computadora y un Analog Front-End AFE4404. A esta tarjeta se le conecta una tarjeta más pequeña que se coloca en la muñeca, de donde se toma la señal, y que posee un circuito integrado SFH-7050. Este circuito integrado está conformado por 3 diodos LED de color infrarrojo, verde y rojo y, además, contiene un fotodiodo con el que se recupera la señal de la luz reflejada por la piel. El AFE4404 se encarga automáticamente de controlar los diodos LED y de convertir las muestras analógicas del fotodiodo en digitales.



Figura 1. Tarjeta de desarrollo de *Texas Instruments AFE4404EVM*

Con el microcontrolador se recuperan las muestras digitales del AFE4404 a través de comunicación SPI. En primera instancia, se configuró el AFE4404 para obtener muestras a 100 Hz y enviarlas a la computadora utilizando comunicación USB. Estas muestras son almacenadas en un archivo de texto y las cuales se grafican con ayuda de un programa diseñado en LabView de tal manera que se pueda observar la señal en el tiempo. Para este trabajo solamente se utilizaron las muestras provenientes del LED de color verde.

En la figura 2 se puede observar la gráfica en LabView de la señal. En total se graficaron 20 segundos de señal y, como se puede observar, la señal está contaminada con ruido, lo cual dificulta poder encontrar la frecuencia cardiaca.

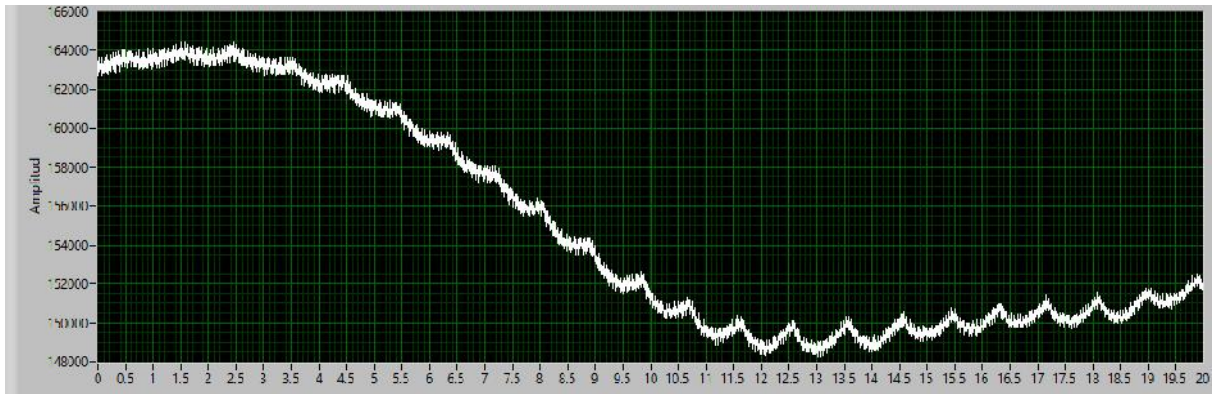


Figura 2. Grafica de la señal obtenida.

En el programa LabView se utilizó la herramienta de medición espectral para graficar el espectro de frecuencias de la señal PPG contaminada. En la figura 3 se puede ver esta gráfica. En ella podemos observar que existe ruido en varias frecuencias, siendo la señal cercana a 40Hz la fuente de ruido mayor. El pico encontrado en aproximadamente 1.1Hz corresponde al pulso cardiaco.

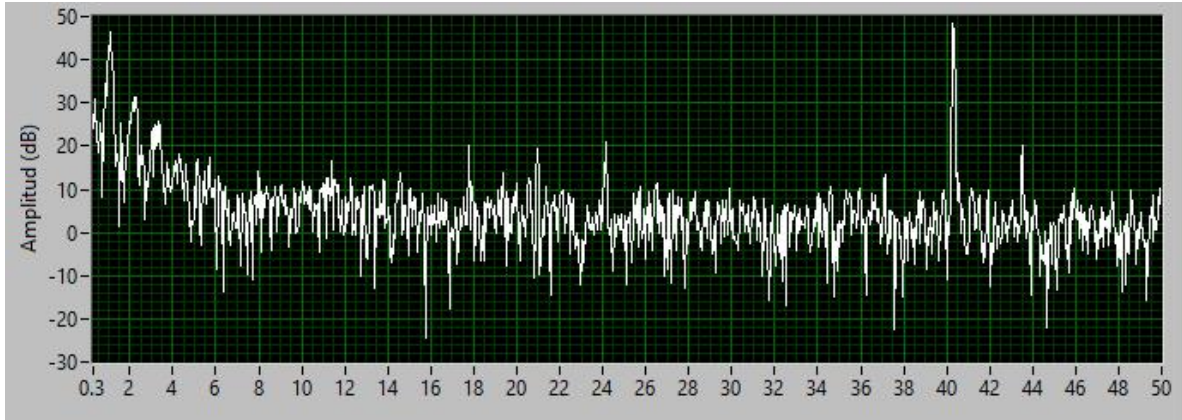


Figura 3. Grafica del espectro de frecuencias de la señal obtenida.

3.2. Diseño del filtro digital para la obtención de la señal PPG.

Recordando lo mencionado anteriormente, los filtros IIR tienen la ventaja de que con pocos coeficientes se puede obtener la respuesta en frecuencia deseada. Esto adquiere una mayor importancia cuando el filtro debe funcionar en tiempo real en un microcontrolador en donde los recursos de memoria y de procesamiento son bastante limitados como es el caso de la tarjeta de desarrollo AFE4404-EVM.

En este trabajo se diseñó un filtro IIR pasa-banda para la extracción de la señal PPG. Este filtro tiene como frecuencias de corte 1Hz y 3Hz, lo que significa que se podrá medir un pulso cardíaco entre 30 y 180 latidos por minuto. El filtro es de orden 6, es decir, su función de transferencia contiene 6 polos.

Para el diseño se utilizó la función $[b, a] = \text{butter}(n, Wn, \text{ftype})$ de MATLAB. Esta función devuelve en b y a los coeficientes de la función de transferencia del filtro de orden $2n$ con frecuencias de corte indicadas en Wn . Para un filtro pasa-banda de orden 6 con frecuencias de corte 1 y 3, la llamada a la función queda como se muestra a continuación.

$$[B, A] = \text{butter}(3, [0.02, 0.06], 'bandpass')$$

En donde 0.02 y 0.06 se obtienen de normalizar las frecuencias de corte dividiendo cada una entre la frecuencia de Nyquist que es la mitad de la frecuencia de corte.

Con la función $\text{freqz}(B, A)$ podemos graficar la respuesta en frecuencia del filtro (figura 4). En los puntos rojos de la gráfica se encuentran las frecuencias de corte del filtro.

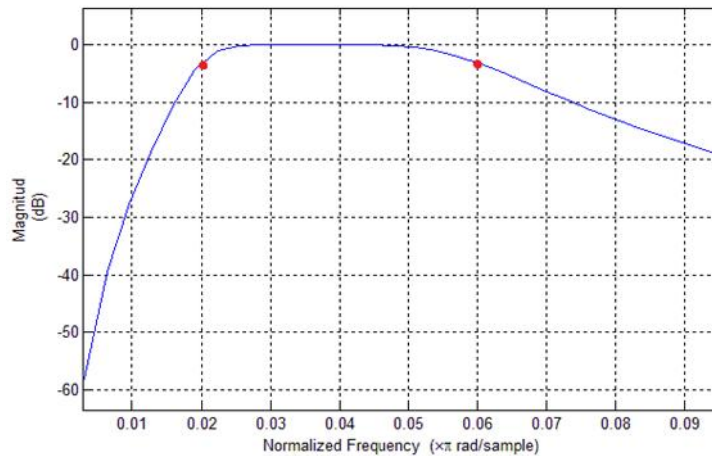


Figura 4. Gráfica de la respuesta en frecuencia.

3.3. Implementación del filtro digital.

Para la implementación del filtro digital en el microcontrolador, se decidió utilizar una estructura de filtro en cascada para reducir la complejidad del cálculo. El filtro consta de 3 etapas. Para hallar los nuevos coeficientes del filtro en cascada a partir del filtro original, se calculan las raíces del denominador y numerador y después se agrupan de tal forma que se formen factores de polinomios de segundo orden. Lo anterior se realiza en el siguiente código en MATLAB:

```
rb=roots(B);
ra=roots(A);

a1=conv([1 -ra(1)],[1 -ra(2)]);
a2=conv([1 -ra(3)],[1 -ra(4)]);
a3=conv([1 -ra(5)],[1 -ra(6)]);

b1=conv([1 -rb(1)],[1 -rb(2)]);
b2=conv([1 -rb(3)],[1 -rb(4)]);
b3=conv([1 -rb(5)],[1 -rb(6)]);
```

De esta forma en a_i y en b_i quedan guardados los coeficientes para la etapa i del filtro en cascada. La ecuación 3 representa la función de transferencia del filtro en cascada.

$$H(z) = \left(\frac{1 + 2z^{-1} + 1z^{-2}}{1 - 1.88z^{-1} + 0.91z^{-2}} \right) \left(\frac{1 - 1z^{-2}}{1 - 1.96z^{-1} + 0.97z^{-2}} \right) \left(\frac{1 - 2z^{-1} + 1z^{-2}}{1 - 1.87z^{-1} + 0.88z^{-2}} \right) \quad (3)$$

Para el cálculo de la salida del filtro se utilizó el diagrama de la figura 6. El diagrama representa la realización de un filtro en cascada de 3 etapas. A la estructura en la que se encuentra cada etapa se le conoce como forma directa II.

El filtro digital se programó en el microcontrolador con la estructura del diagrama para probar su funcionamiento. Las muestras de salida del filtro se enviaron a un programa en LabView para obtener la gráfica de la señal filtrada. La gráfica se encuentra en la figura 7 y se puede observar en ella que el ruido fue eliminado. Con esta señal el cálculo de la frecuencia cardíaca se vuelve sencillo.

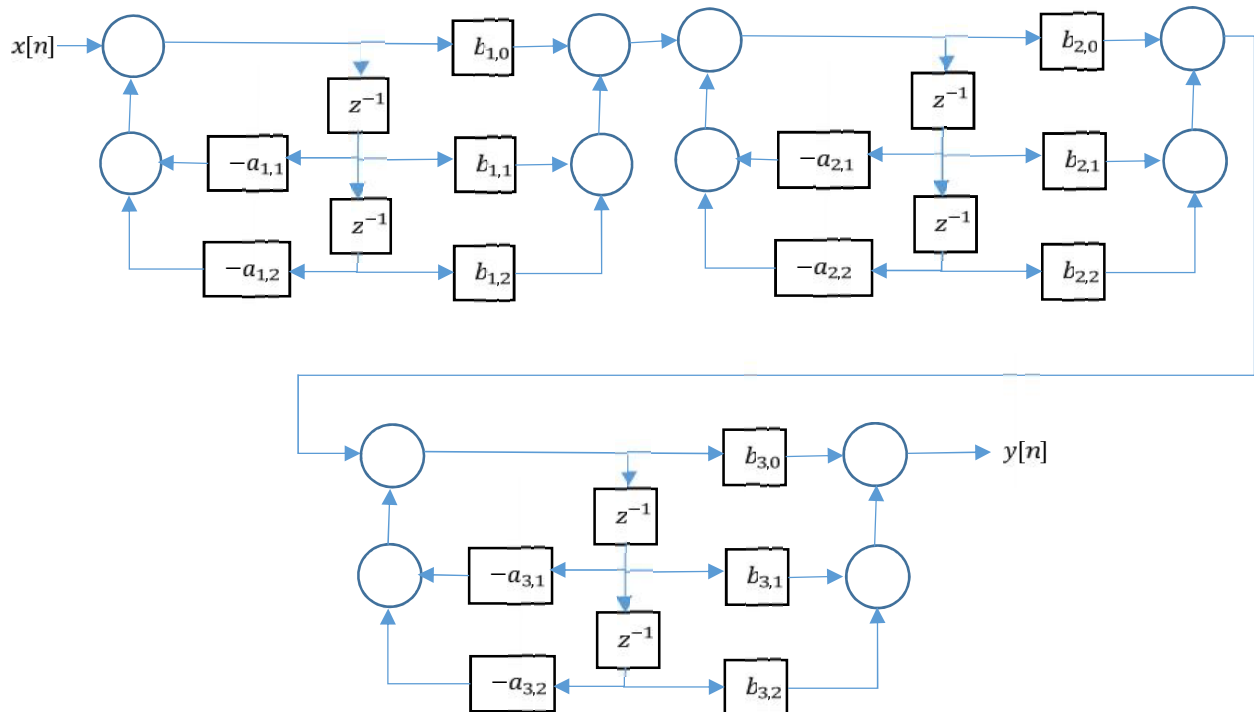


Figura 6. Diagrama de realización del filtro.

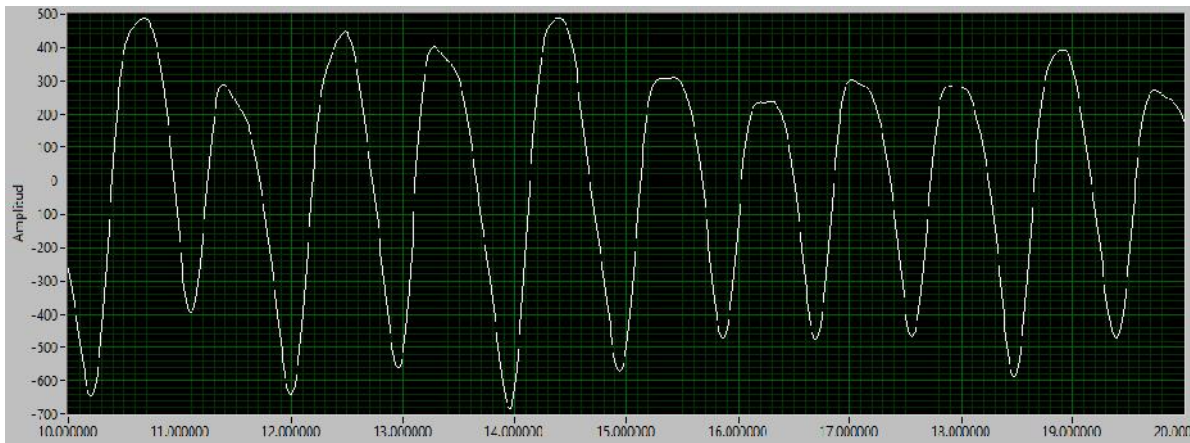


Figura 6. Gráfica de la señal PPG filtrada.

3.4. Cálculo del pulso cardíaco.

Debido a que el filtro utilizado es de tipo pasa-banda, la componente de DC se elimina y el cálculo de la frecuencia cardíaca se puede realizar mediante un algoritmo de cruce por cero. Este algoritmo identifica el cambio de la señal de negativo a positivo de la señal filtrada y contabiliza las muestras que se procesan hasta que se detecte otro cambio de negativo a positivo. Con el número de muestras contadas se calcula el tiempo que dura un ciclo completo de la señal. Con la ecuación 4 se puede calcular la frecuencia cardíaca en latidos por minuto.

$$\text{Latidos por minuto} = \frac{60 \times f_s}{\text{muestras contadas}} \quad (4)$$

En donde f_s es la frecuencia de muestro.

4. CONCLUSIONES.

En la literatura es recurrente encontrar el uso de filtros digitales para eliminar el ruido en señales de fotoplethysmografía. Sin embargo, no se detalla la implementación de estos y se deja al lector esta tarea. Cuando dicho filtro debe ser implementado en un sistema embebido con fuertes limitaciones de poder computacional, el diseño e implementación del filtro es crucial para un buen funcionamiento. En este trabajo se aborda el diseño e implementación de un filtro IIR de orden 6 y con realización en cascada. La frecuencia de muestro elegida es de 100 Hz lo cual es mucho menos a la tradicionalmente usada de 500 Hz. Esta selección permite a un microcontrolador tener suficiente tiempo para llevar a cabo otras rutinas mientras llega el siguiente impulso de muestreo sin decimar la calidad de la señal recuperada y afectar el cálculo de la frecuencia cardiaca.

REFERENCIAS

1. Nakajima, K., Tamura, T., & Miike, H. (1996). Monitoring of heart and respiratory rates by photoplethysmography using a digital filtering technique. *Medical engineering & physics*, 18(5), 365-372.
2. Shelley, K. H. (2007). Photoplethysmography: beyond the calculation of arterial oxygen saturation and heart rate. *Anesthesia & Analgesia*, 105(6), S31-S36.
3. Allen, J. (2007). Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement. *Physiological measurement*, 28(3), R1.
4. Asada, H. H., Shaltis, P., Reisner, A., Rhee, S., & Hutchinson, R. C. (2003). Mobile monitoring with wearable photoplethysmographic biosensors. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 22(3), 28-40.
5. Alan V. Oppenheim, Ronald W. Schaffer. Discrete-Time Signal Processing, 3th Edition, (1999).
6. Alan Selesnick. Eeweb.poly.edu. (2015). EL 713. [online] Available at: <http://eeweb.poly.edu/iselesni/EL713/zoom/>

2.4 ANÁLISIS DE LA FATIGA MUSCULAR UTILIZANDO SENSORES INERCIALES

M.C. Irving Cifuentes González,
IMT. Luis Ernesto Dominguez Uriostegui,
Dr. Humberto Salgado Burgos,
Dr. Francisco José Heredia López

Centro de Investigaciones Regionales “Dr. Hideyo Noguchi”
irving.aacg@gmail.com, hburgos@corre.uady.mx, hlopez@correo.uady.mx

RESUMEN

La fatiga muscular se caracteriza por una reducción en la fuerza o en la potencia de trabajo. Actualmente, el estudio de la fatiga utiliza el análisis de señales de electromiografía (sEMG), ya que estudiar la fuerza o potencia resulta complicado en muchas aplicaciones. Sin embargo, poco se ha estudiado la relación entre la fatiga y los sensores de movimiento. En este trabajo se presenta un análisis de correlación entre la potencia de trabajo y parámetros extraídos de señales de sEMG (RMS y frecuencia media) y de sensores de movimiento (área bajo la curva de la trayectoria del movimiento realizado por el sujeto - *iangle*). En el estudio participaron 29 voluntarios los cuales realizaron una rutina de flexión y extensión del codo hasta llegar al cansancio. Únicamente las características de frecuencia media de sEMG (Pearson 0.128, $p < 0.05$) y *iangle* (Pearson -0.5, $p < 0.05$) resultaron significativas. Esto sugiere que es posible usar sensores de movimiento en vez de las tradicionales señales de electromiografía para el análisis de la fatiga muscular.

ABSTRACT

The muscle fatigue is presented as a reduction in the force or in the muscle power output. However this analysis results expensive and need a laboratory controlled techniques. To avoid these complications, the study of sEMG is preferred. It is known that these signals present an amplitude increase and a frequency band decrease under fatigue conditions. However the relationship between power output and movement signals is still unexplored. In this work we present a correlation analysis between the power output and features extracted from the sEMG signals (RMS value and the Mean frequency) and from movement signals (area under the curve of the subject's movement trajectory, the *iangle*). 29 healthy and non-athletes voluntary subjects participated on the experimental procedure that involved an elbow flexion routine until the failure. The results showed a significant correlation between the power output and Mean frequency (0.128, $p < 0.05$) and with the *iangle* (0.5, $p < 0.005$). This suggests that is possible to use the movement signals for muscle fatigue tracking.

1. INTRODUCCION

La fatiga muscular puede ser definida como la reducción en la habilidad de un músculo para ejercer una contracción y para ejercer fuerza [1]. Este fenómeno es el resultado de procesos metabólicos, cambios estructurales y energéticos en los músculos debido a la insuficiencia de oxígeno y la falta de nutrientes en el torrente sanguíneo [2]. La fatiga muscular puede llegar a ocasionar lesiones físicas, alteraciones al ciclo de sueño, dolores y hasta problemas crónicos. Debido a esto, resulta de vital importancia llevar a cabo un constante monitoreo del estado de fatiga muscular. Sin embargo, actualmente, los principales métodos para la identificación de la fatiga muscular son del tipo subjetivo y otros presentan características altamente invasivas. Uno de estos métodos consiste en obtener muestras sanguíneas mientras se realiza la actividad física. El objetivo es evaluar la cantidad de ácido láctico presente en la sangre. Por otro lado, las técnicas subjetivas requieren de la participación de un observador experto, el cual debe emitir un juicio sobre cuando se presenta la fatiga. Debido a esto, resulta muy difícil el poder evaluar la fatiga muscular de manera no invasiva y de manera

objetiva. Adicional a estos métodos, existen nuevas técnicas que pueden ser usadas para la identificación no invasiva de la fatiga muscular, las cuales resultan más objetivas que el método de observación directa. Estas técnicas incluyen el uso de registros de Electromiografía de superficie (sEMG) y sensores de movimiento.

1.1 Electromiografía

La sEMG consiste en el registro de los potenciales eléctricos generados durante las contracciones musculares voluntarias, para realizar esta tarea, se utilizan electrodos de superficie. Los potenciales eléctricos de sEMG presentan amplitudes en el orden de los mili-volts y componentes de frecuencia entre los 20 y 500 Hz [3]. Cuando un músculo se ve afectado por la fatiga muscular, su registro de EMG presenta un decremento en la frecuencia de disparo de los potenciales eléctricos de las motoneuronas y un incremento en la amplitud, esto debido al aumento de unidades motoras que son reclutadas para alcanzar el nivel de fuerza requerido [3]. Se ha sugerido que el incremento en la amplitud de la señal de EMG durante ejercicios de cargas constantes, está asociado a reclutamiento adicional y progresivo de unidades motoras grandes para mantener la fuerza perdida por las fibras fatigadas [4].

1.2 Sensores de movimiento.

Actualmente, es posible encontrar dos técnicas principales para el registro de los movimientos del cuerpo humano, las técnicas basadas en sensores ópticos (cámaras) y las basadas en sensores MEMS [5]. Los sistemas ópticos miden la reflectancia o luz reflejada en una serie de “marcadores”, los cuales son colocados en los principales nodos relacionados con el movimiento del cuerpo. Se utilizan varias cámaras posicionadas en diferentes ángulos dentro de un cuarto o laboratorio previamente adaptado para tal propósito. Para el análisis del movimiento se utilizan algoritmos de procesamiento de imágenes en tiempo real, tarea para la cual se requiere una gran capacidad de cómputo debido al gran tamaño y cantidad de las imágenes. Por otro lado, Los sistemas MEMS han presentado grandes avances en los últimos años, reduciendo sus costos y aumentando su precisión, lo que ha permitido que sean usados en una gran gama de productos, tales como celulares, cámaras fotográficas, relojes etc. Algunos de los sensores MEMS más comunes son los acelerómetros, utilizados para medir la aceleración experimentada por un objeto debido a la fuerza de la gravedad; los giroscopios, los cuales miden las velocidades angulares y los magnetómetros, usados para orientar un objeto respecto al campo magnético de la tierra.

El registro del movimiento usando sensores inerciales resulta mucho más asequible que los sistemas basados en cámaras, esto es debido a que no requieren de un lugar con luz controlada, ya que pueden ser usados tanto dentro como fuera de un laboratorio. Sin embargo, el uso de un solo sensor inercial, genera errores de offset o de deriva que se van acumulando a lo largo del tiempo. Para evitar este problema, es posible introducir otros sensores que sirvan de forma complementaria para evitar la deriva en conjunto con algoritmos especializados.

1.3 Detección de la fatiga muscular

A pesar de que la sEMG es la principal técnica para el análisis de la fatiga muscular, el registro de estas señales resulta muy susceptible al ruido electromagnético, tipo, tamaño y posición de los electrodos. Debido a esto, se plantea el uso de sensores de movimiento como una posible alternativa para ayudar a la identificación de la fatiga muscular.

En este trabajo se presenta el estudio de parámetros extraídos de las señales de sEMG (el valor RMS y la frecuencia media) y de sensores de movimiento (área bajo la curva de la trayectoria del movimiento realizado por el sujeto) registrados durante un protocolo experimental que involucra contracciones isotónicas, cuyo objetivo es el de ocasionar fatiga en el músculo bíceps. Los parámetros a evaluar representan, por un lado, información sobre la amplitud y la frecuencia de las señales de sEMG y por el otro, información del movimiento realizado por la extremidad. Posteriormente, estos parámetros serán correlacionados con la potencia de trabajo, la cual fue registrada con ayuda de un dinamómetro Primus RS (BTE Technology, Colorado, EU). La correlación entre los parámetros con la potencia de trabajo, ayudará a establecer de forma objetiva la relación entre la fatiga y los parámetros extraídos de las señales de sEMG y de las señales de movimiento.

2. METODOLOGIA

La metodología planteada consiste en dos partes. La primera es la etapa de adquisición de datos y la segunda etapa corresponde a la del procesamiento de los datos. Durante la etapa de adquisición de datos, se presentan las herramientas y el protocolo experimental diseñado para poder realizar el registro de la actividad de EMG en conjunto con la potencia muscular. Finalmente, en la etapa de procesamiento, se describen las transformaciones realizadas a los datos crudos para posteriormente poder realizar el estudio de correlación.

2.1 Adquisición de datos

Para realizar la adquisición de datos, se usó un sistema previamente desarrollado por Peraza-Mues et al. 2015 [6]. Este sistema inalámbrico tiene la capacidad de registrar la actividad de sEMG de hasta ocho músculos al mismo tiempo en conjunto con las señales provenientes de tres sensores inerciales: acelerómetro, giroscopio y magnetómetro. El segundo equipo de medición usado en este trabajo, es el dinamómetro Primus RS (BTE Technologies). Usando el Primus RS, es posible realizar movimientos excéntricos y concéntricos del bíceps con cargas o resistencias programables. Adicionalmente, el Primus RS puede registrar la potencia de trabajo ejercida durante cada movimiento.

Para el registro de los datos, se consiguió la participación de 29 sujetos voluntarios. Se procuró que estos sujetos no realicen actividad física o deportiva más de 8 horas a la semana. Antes de iniciar el protocolo experimental, cada sujeto dio su consentimiento por escrito. El protocolo experimental fue dividido en dos etapas, cada una separada por al menos 3 días de diferencia. La primera etapa consistió en encontrar la repetición máxima (1 RM). El 1 RM es el valor de peso máximo que el sujeto puede levantar una sola vez. Posteriormente, la etapa 2 del protocolo experimental involucró el desarrollo de una serie de flexiones y extensiones del codo usando un peso con un valor correspondiente al 65% de 1 RM. El protocolo experimental se describe a continuación:

Etapa 1

1. **Calentamiento.** Consiste en realizar una serie de 10 repeticiones de flexiones y extensiones de codo utilizando una carga con valor de 2 Kg.
2. **Recuperación.** Se refiere al período de descanso de 3 minutos luego de la sesión de calentamiento para asegurar que el paciente no se encuentre fatigado antes de iniciar la prueba.
3. **Obtención del 1 RM.** Para encontrar el 1 RM, se realizan una serie de flexiones y extensiones del codo con un peso inicial. Si el sujeto es capaz de ejecutar el movimiento de manera correcta, entonces el peso utilizado se incrementa. Este proceso se detendrá cuando el sujeto no sea capaz de realizar el ejercicio de manera correcta y en un tiempo adecuado. El último valor del peso que el sujeto fue capaz de levantar será conocido como el 1 RM.

Etapa 2

1. **Calentamiento.**
2. **Posicionamiento de la herramienta de adquisición de datos.** Se procede a montar la herramienta de adquisición desarrollada por Peraza-Mues et al.[6] sobre la extremidad del sujeto de estudios. Para adquirir la señal de sEMG se utilizaron electrodos de copa de plata, los cuales fueron lubricados con gel conductor antes de ser posicionados sobre el vientre del músculo bíceps del brazo dominante del sujeto voluntario. La distancia inter-electrodo usada fue de 1 cm. Los sensores de movimiento fueron colocados sobre el antebrazo del sujeto.
3. **Ejercicio de flexión y extensión.** Se instruyó al sujeto de estudio para realizar una serie de flexiones y extensiones de bíceps hasta el cansancio. El sujeto debe levantar una masa con un valor del 65% del 1 RM. Durante este proceso, se lleva a cabo el registro de la actividad de sEMG usando una frecuencia de muestre de 2 kHz. Al finalizar el ejercicio, los datos fueron almacenados en archivos de texto para su posterior procesamiento. Para

proporcionar el valor de la masa correspondiente al 65% del 1RM se utiliza el dinamómetro Primus RS. Adicionalmente, se usó este dispositivo para registrar la potencia muscular realizada por el brazo al momento de levantar la masa. Esta potencia es medida como el trabajo a través del tiempo. Para mantener la estabilidad del movimiento, y asegurar de que el trabajo sea realizado solo por el musculo bíceps, el sujeto fue sentado en una silla del predicador, Figura 1.



Figura 1. Posición del sujeto de estudios durante la sesión de ejercicios de flexión y extensión del codo. El Dinamómetro Primus RS proporciona una resistencia proporcional al 65% del valor del 1 RM.

2.2 Procesamiento de los datos

El procesamiento de las señales fue realizando usando el software LabVIEW 10.0. Las señales de sEMG fueron filtradas usando un filtro pasa-bandas Butterworth de cuarto orden en el rango de frecuencias de 20 y 500 Hz. Se consideró únicamente la sección de las señales de sEMG correspondiente a la contracción concéntrica, es decir, la parte del movimiento en la que el bíceps se contrae, ya que durante esta etapa se realiza la mayor parte del esfuerzo mecánico. Para poder segmentar adecuadamente la señal e identificar la sección concéntrica de la excéntrica, se utilizó la señal del acelerómetro la cual permitió identificar claramente ambos eventos. Posteriormente, se realizó una extracción de parámetros de amplitud y frecuencia de la señal de sEMG segmentada. Estos parámetros fueron el valor cuadrático medio (RMS) y la frecuencia media (FM). Se seleccionaron estas características debido a los cambios que sufren como consecuencia de la fatiga muscular, un incremento en la amplitud y un decremento en la frecuencia [7].

El valor RMS es una de las características en el dominio del tiempo más utilizada para cuantificar la amplitud de las señales de sEMG y es definido como sigue [7]:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x_i^2} \quad (1)$$

Donde M es la dimensión de la ventana de análisis, x_i es el valor de la señal en la posición i.

La frecuencia media es una frecuencia promedio calculada como la suma del producto de la potencia de la señal y la frecuencia. Esta sumatoria luego es dividida entre la suma total del espectro de frecuencia [8].

$$FM = \frac{\sum_0^{f_s} f P(f)}{\sum_0^{f_s} P(f)} \quad (2)$$

Donde f_s es la frecuencia de muestreo y $P(f)$ es el espectro de potencia de la señal calculado de la transformada de Fourier.

Para la estimación del ángulo de movimiento, hemos usado el algoritmo del filtro complementario [9]. Esta técnica fusiona la información proveniente del acelerómetro y el giroscopio, evitando los errores de baja frecuencia propios del acelerómetro y los errores de deriva o *drift* del giroscopio.

Luego de estimar el ángulo de movimiento del brazo, se calculó el parámetro denominado *iangle* como sigue:

$$iangle = \sum_{i=1}^N x_i \Delta t \quad (3)$$

Donde N es el tamaño de la ventana, x_i es el valor del ángulo en la posición i y Δt es la constante de tiempo. En este trabajo, dado que las señales fueron muestreadas a 2 kHz, $\Delta t = 0.0005$.

Los parámetros extraídos (RMS, FM, *angulo int* y potencia) fueron normalizados con respecto a la información de las primeras dos repeticiones realizadas por el sujeto de estudio. Esto se realizó así ya que se considera que durante estas dos primeras repeticiones, el sujeto de estudio aún no se encuentra fatigado, por lo tanto este estado puede ser referenciado como estado de no-fatiga. Luego de normalizar los datos, se realizó el análisis de correlación Pearson con la potencia de trabajo y los parámetros de sEMG y de movimiento.

3. RESULTADOS

La Figura 2, muestra el sistema de adquisición de datos de sEMG. Los electrodos de sEMG están localizados sobre el bíceps, mientras que en el antebrazo se encuentran ubicados los sensores de movimiento. La Tabla 1 presenta las características de los sujetos voluntarios que participaron en el experimento.



Figura 2. Sistema de registro de actividad de sEMG y de movimiento.

Tabla 1. Información de los 29 sujetos que participaron en el protocolo experimental.

	Edad (años)	Peso (Kg)	Altura (m)	1 RM (Kg)	65% del 1 RM (Kg)	Numero de Repeticiones
Media	22.6	65.3	1.64	17.4	11.42	17
Desviación estándar	2.3	12.17	0.083	6	4	2.7

La Figura 3 muestra los segmentos procesados de sEMG de los cuales se calcularon los valores de RMS y de FM. La señal de acelerómetro (rojo) ayudó a identificar los diferentes eventos biomecánicos presentes en el movimiento del brazo.

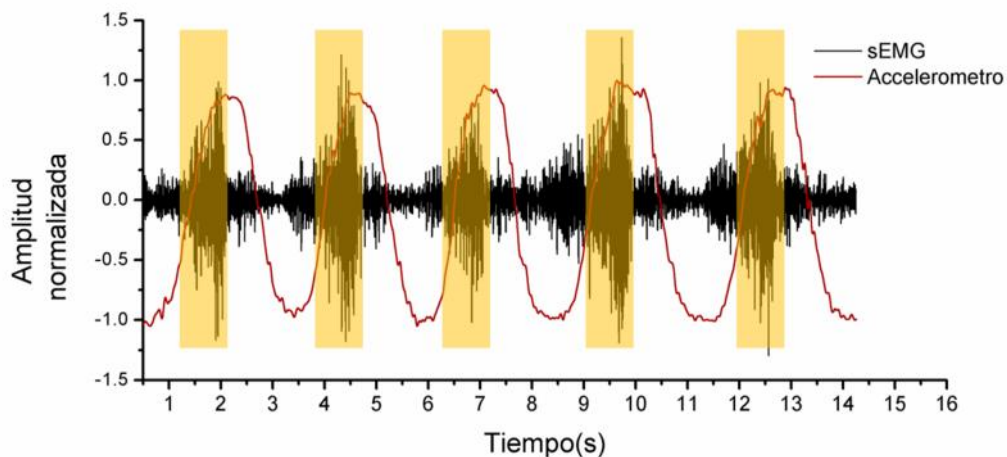


Figura 3. Señal de sEMG segmentada con ayuda del sensor de aceleración. Los segmentos de la señal de sEMG corresponden solo a las contracciones concéntricas.

La Figura 4 muestra la gráfica de los parámetros estudiados, en relación con el número de la repetición realizada. Estos datos fueron tomados de un sujeto de pruebas. Es posible identificar los cambios mencionados en la literatura: un incremento en los valores del parámetro RMS, y un decremento en el parámetro de FM de las señales de sEMG. Por otro lado, también se graficó la potencia de trabajo y la característica denominada iangle. La grafica muestra la comparación entre

los parámetros estudiados y la potencia de trabajo. Las correlaciones de Pearson obtenidas de esta prueba con el sujeto 1 fueron las siguientes: coeficiente de correlación de Pearson de 0.068 para los valores RMS y la potencia ($p=0.83$), 0.215 para los valores de FM y potencia ($p=0.424$) y de -0.6 para los valores de iangle y la potencia ($p=0.014^*$).

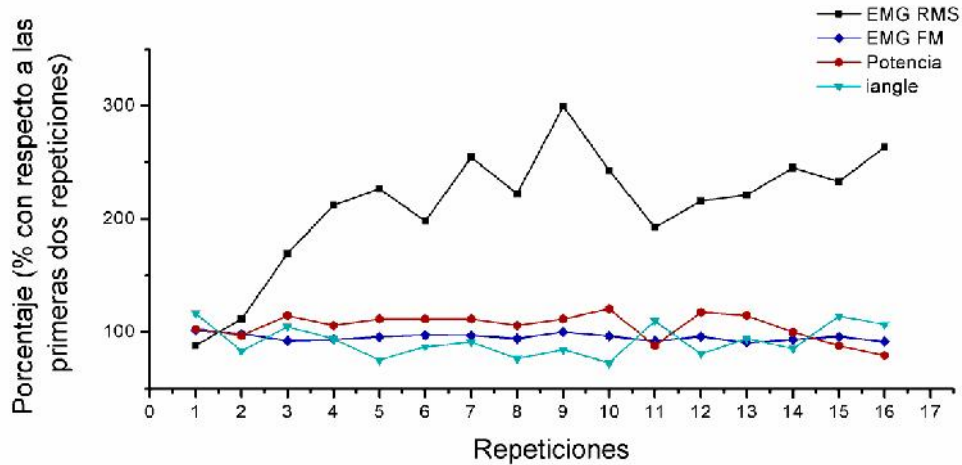


Figura 4. Gráfica de la Potencia de trabajo contra los valores de FM de sEMG y recta de ajuste de la regresión lineal. Se obtuvo una pendiente de 0.46 ($p<0.05^*$) y un coeficiente de correlación de Pearson de 0.128. Se registró un incremento arriba del 200% con respecto al valor inicial del valor de RMS.

Luego de analizar un caso en particular, se procedió a estudiar la relación de los parámetros y la potencia de trabajo, pero ahora, usando a los diez sujetos de estudio. En las gráficas de las Figuras 5, 6 y 7, se presentan los valores de los parámetros extraídos de las señales de sEMG y de los sensores de movimiento de los 29 sujetos y la recta de regresión entre estos datos y los valores de la potencia. Posteriormente se realizó el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson para cada caso. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: se obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson de -0.035 ($p=0.45$) para el caso de los valores de RMS y la potencia de trabajo; 0.128 ($p<0.05^*$) para los valores de FM y potencia y -0.5 ($p<0.05^*$) para el caso de los valores de iangle y la potencia.

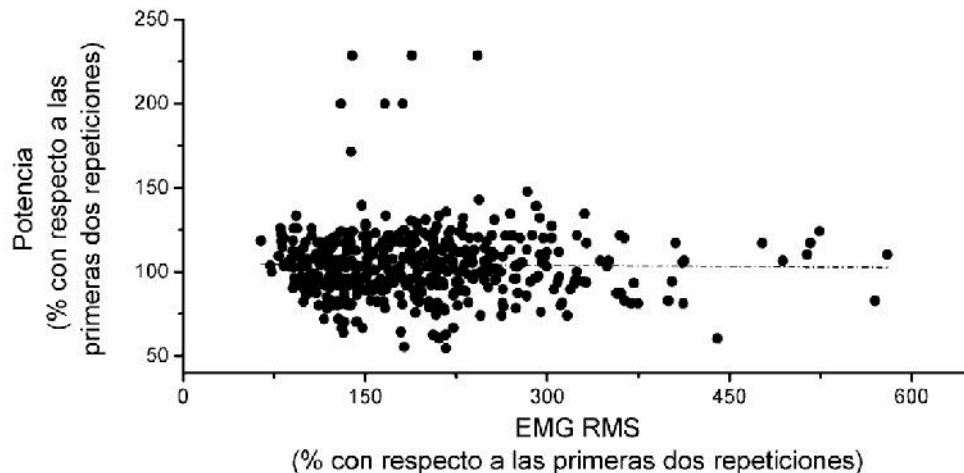


Figura 5. Gráfica de la Potencia de trabajo contra los valores de RMS de sEMG y recta de ajuste de la regresión lineal. Se obtuvo una pendiente de -0.008 ($p=0.45$) y un coeficiente de correlación de Pearson de -0.035 . Se registró un decremento del 10% con respecto al valor inicial del parámetro de FM.

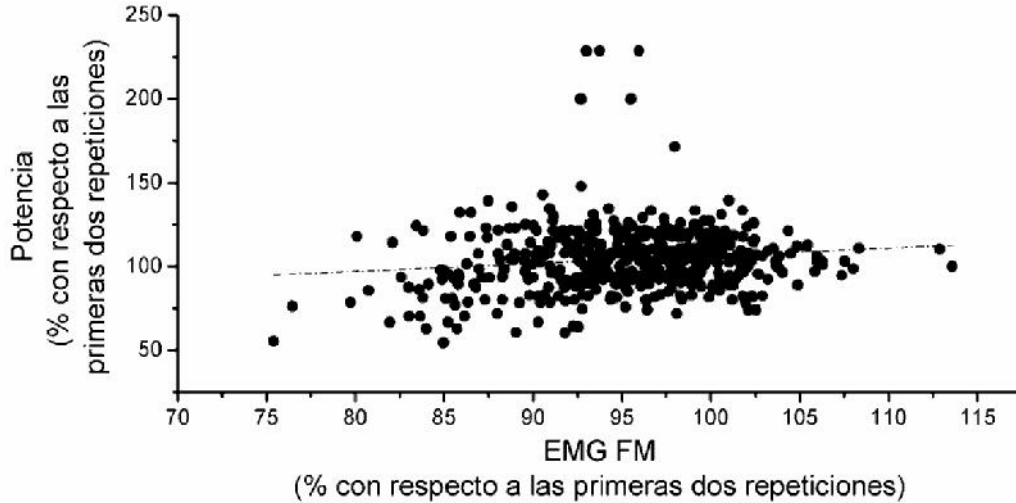


Figura 6. Gráfica de la Potencia de trabajo contra los valores de FM de sEMG y recta de ajuste de la regresión lineal. Se obtuvo una pendiente de 0.46 ($p<0.05^*$) y un coeficiente de correlación de Pearson de 0.128 .

En la Figura 7 es posible observar una clara tendencia entre los datos. La potencia de trabajo tiende a disminuir conforme el área bajo la curva generada por el movimiento del usuario tiende a aumentar. Esto se debe a que, conforme la fatiga se va presentando, la potencia disminuye, lo que conlleva un aumento en el tiempo que le toma al sujeto el completar la flexión. Este aumento en el tiempo se ve reflejado en la característica *iangle*.

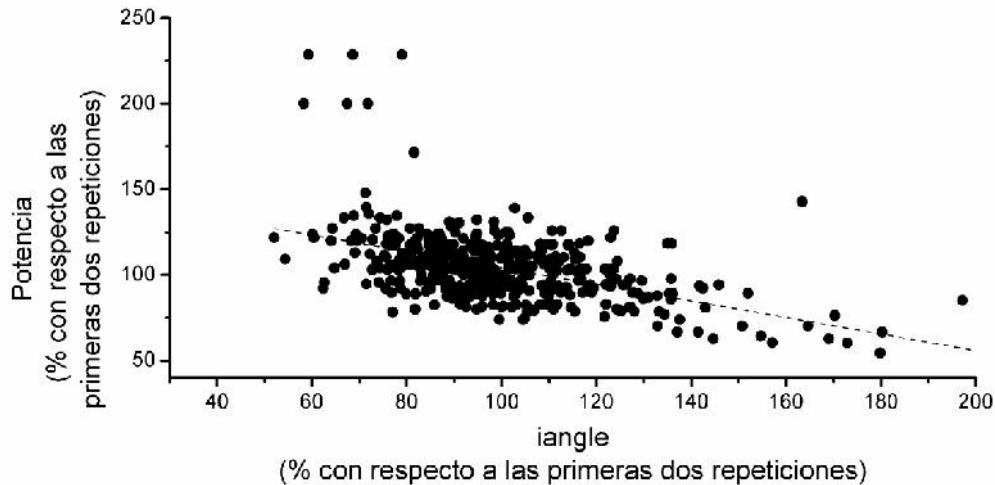


Figura 7. Regresión lineal de la potencia contra la integral del ángulo. Se obtuvo una pendiente de -0.48 ($p<0.05$) y un coeficiente de correlación de Pearson de -0.5 .

Los resultados mostraron los cambios reportados en la literatura relacionados con los parámetros de sEMG: un incremento en la amplitud (mapeado por el valor RMS) y un decremento en el parámetro de FM. Sin embargo, aunque estos cambios están presentes, únicamente el parámetro de FM mostró una correlación significativa con la potencia de trabajo. Por otro lado, el parámetro de *iangle* mostró tener una mayor correlación con la potencia de trabajo (coeficiente de -0.5).

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó un análisis entre la potencia de trabajo y varios parámetros extraídos de las señales de sEMG y de señales de movimiento, durante un ejercicio de flexión de codo. El correlacionar estos parámetros con la potencia ayudaría a estimar un decremento en esta última, evento atribuido al inicio de la fatiga muscular. Los resultados de correlación mostraron que los parámetros extraídos de las señales de sEMG no presentan una fuerte relación con la potencia de trabajo durante esta serie de ejercicios isotonicos. Los coeficientes de correlación encontrados entre los parámetros de sEMG sugieren que tal vez sea necesario realizar una etapa de extracción de características más fina, cambiando la transformada de Fourier por alguna técnica de análisis multi-resolución, como lo podría ser la transformada Wavelet. La correlación entre el área bajo la curva de la trayectoria del movimiento (*iangle*) y la potencia de trabajo fue significativa con un coeficiente de correlación de Pearson de -0.5. Esto indica una relación inversamente proporcional entre la potencia de trabajo y el área bajo la curva del ángulo. Estos resultados sugieren que es posible utilizar sensores de movimiento para detectar cambios en la potencia de trabajo y por ende, en la fatiga muscular. Esto permitirá sustituir los dinamómetros, por simples sistemas de sensores de movimiento, los cuales resultan mucho más baratos. Adicionalmente, el combinar datos de diferentes sensores (sEMG y acelerómetros) mostró ser una buena estrategia sobre todo para la identificación de los diferentes eventos biomecánicos presentes en los movimientos humanos.

5. REFERENCIAS

- 1 M. R. Al-Mulla, F. Sepulveda, and M. Colley, An autonomous wearable system for predicting and detecting localised muscle fatigue, *Sensors*, 11, 2, 1542–57, 2011.
- [2] S. Ostojic, M. Cifrek, V. Medved, and S. Tonkovic, Surface EMG based muscle fatigue evaluation in biomechanics, *Clin. Biomec.*, 24, 327–340, 2009.
- [3] P. P. Roberto Merletti, *Electromyography - Physiology, Engineering and Noninvasive Applications*, Wiley-IEEE. Wiley-IEEE Press; 1 edition, 494, 2004.
- [4] D. a. Winter, *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*, vol. 2nd. 2009.
- [5] F. Renaut, MEMS Inertial Sensors Technology, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Zurich, 2013.
- [6] M. Peraza Mues, Desarrollo de un sistema inalámbrico para la adquisición de señales electromiográficas, Universidad Autónoma de Yucatán, 2015.
- [7] M. González-Izal, A. Malanda, E. Gorostiaga, and M. Izquierdo, Electromyographic models to assess muscle fatigue., *J. Electromyogr. Kinesiol.*, 22,4, 501–12, 2012.
- [8] A. Phinyomark, S. Thongpanja, and H. Hu, The Usefulness of Mean and Median Frequencies in Electromyography Analysis, in *Computational Intelligence in Electromyography Analysis - A Perspective on Current Applications and Future Challenges*, , 195–220, 2012.
- [9] W. Dong, K. Y. Lim, Y. K. Goh, and K. D. Nguyen, A low-cost motion tracker and its error analysis," *2008 IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, 311–316, 2008.

2.5 IDENTIFICAR RUTINAS DE EJERCICIO MEDIANTE EL RECONOCIMIENTO DE PATRONES DE SEÑALES ELECTROMIOGRÁFICAS

IMT. Luis Ernesto Domínguez Urióstegui, M.C. Irving Aarón Cifuentes Gonzáles, Dr. Humberto Salgado Burgos, Dr. Francisco José Heredia López
Centro de Investigaciones Regionales "Dr. Hideyo Noguchi"
dominguez-ing-meca@hotmail.com, irving.aacg@gmail.com, humberto.salgado@correo.uady.mx
hlopez@correo.uady.mx

RESUMEN

En este trabajo se propone el uso del reconocimiento de patrones de señales electromiográficas como herramienta para identificar tres diferentes rutinas de ejercicios. Se utilizó una red neuronal artificial, de retro-propagación, como clasificador. El vector de características de las señales de electromiografía puede incluir: Root Mean Square (RMS), Waveform Length (WL) y la diferencia de envolvente de las señales registradas. Los resultados demuestran que con este vector de características es posible identificar las diferentes rutinas de ejercicio.

ABSTRACT

In this paper the use of pattern recognition electromyographic signals as a tool to identify three different exercise routines is proposed. An Artificial Neuron Network Back-Propagation, such as sorting was used. The feature vector can include: Root Mean Square (RMS), Waveform Length (WL) and the difference of the recorded signals envelope. The results show that with this feature vector is possible to identify different exercise routines.

1. INTRODUCCIÓN

La electromiografía es una técnica para la evaluación y registro de la actividad eléctrica producida por la contracción muscular, conocida como señales de electromiográficas (EMG). El instrumento médico que se utiliza para adquirir las señales de EMG se le llama electromiógrafo y produce un registro llamado electromiograma. Las amplitudes (en voltios) que se pueden medir en una señal de EMG varían entre los $50\mu\text{V}$ hasta los 5mV y sus rangos de frecuencias van entre los 20Hz a los 500Hz . Las mediciones se pueden realizar de dos formas, la primera es de forma no invasiva, registrando señales de EMG en la superficie del músculo, donde dos electrodos (generalmente de plata-cloruro de plata) se colocan de manera lineal a lo largo del músculo de interés con una separación de 2cm , mientras un tercer electrodo, el cual tiene la función de servir como referencia, es colocado en cualquier parte del cuerpo lejos del músculo a medir, donde existan muy pocas fibras musculares, por ejemplo cerca de algún hueso como sería el área del codo. La otra manera de medir es mediante un método invasivo, el cual consiste en una medición intramuscular mediante la inserción de una aguja en el músculo, la aguja tiene recubrimiento aislante menos en la punta en la cual se realiza la medición [1].

1.1 Problemática

El mundo del deporte es exigente con los atletas, por lo tanto estos deben mantenerse en forma y tener cuidado de su cuerpo durante sus entrenamientos. Una forma de llevar un control de su rendimiento es monitoreando que realicen correctamente las rutinas de ejercicio.

Cuando se realiza una actividad en particular se activan ciertos músculos específicos, por lo tanto, es posible determinar la actividad realizada utilizando las señales de EMG obtenidas del músculo. Imagine el siguiente escenario, el entrenador físico de un equipo de fútbol no puede monitorear a todos los jugadores al mismo tiempo cuando se ejercitan, pero quiere asegurarse que realicen las rutinas de ejercicio de manera correcta, así que decide que los jugadores se monitoreen y aseguren que lo están haciendo bien. Para lograr esto se necesita de un sistema que les diga "Estas haciendo la rutina X", este sistema se basa en un previo aprendizaje por parte del entrenador, el jugador y el mismo sistema. El aprendizaje se da de la siguiente manera: el jugador está conectado al sistema (computador, dispositivo móvil, etc...) mediante electrodos de superficie (estos electrodos medirán la actividad eléctrica de los músculos los cuales generaran patrones característicos), el entrenador le enseña la manera correcta de hacer la rutina, el jugador la realiza y el sistema aprende. Una vez que el sistema á aprendido ya puede el jugador entrenar por su cuenta (debe estar conectado al dispositivo todo el tiempo que realice las rutinas), ahora bien, si el jugador empieza a realizar el ejercicio y lo hace de manera incorrecta, o sea de una manera diferente de cómo le dijo el entrenador en el momento en que el sistema aprendió, el sistema no va a reconocer esa rutina o le dirá que está haciendo otra rutina debido a que las sEMG registradas no corresponden a la rutina, seguirá así hasta que la realice correctamente.

1.2 Antecedentes

En 2011 se publicó un artículo donde plantearon la idea de un sistema de bajo costo para rehabilitación con control a base de señales electromiográficas [2]. En 2012, en otro artículo, se menciona cómo utilizan las señales electromiográficas para crear un modelo que predice la fuerza muscular necesaria en el rendimiento del ejercicio de levantamiento de mancuerna [3]. Otro caso documentado fue en 2012 donde utilizaron las características en el dominio del tiempo de señales electromiográficas en la clasificación de ejercicios para evitar caídas en adultos mayores [4].

1.3 Rutinas de ejercicio

Una rutina es la costumbre o hábito adquirido de hacer algo de un modo determinado, que no requiere tener que reflexionar o decidir. Una rutina de ejercicio es realizar la actividad física de un modo determinado. Para el deportista es importante tener cuidado y control de su cuerpo por eso al ejercitarse no debe sobre cargar su cuerpo y de ser posible monitorear su desempeño en sus rutinas de ejercicio. Las rutinas a considerar serán 3 diferentes y los músculos a considerar, en las tres rutinas, son el bíceps y el tríceps, los cuales son los responsables de la flexión y extensión del codo. Durante la flexión del codo el bíceps se contrae y el tríceps se relaja, mientras que durante la extensión el tríceps es el que se contrae y el bíceps se relaja, esto es importante debido que así es como nuestro cuerpo puede moverse, con la contracción de un grupo de músculos al mismo tiempo que otros grupos de músculos se relajan. Para propósitos de este trabajo se consideraron tres rutinas de ejercicios: Levantamiento de mancuerna, levantamiento de mancuerna por detrás de la cabeza y lagartijas. Durante las tres rutinas de ejercicios, sólo se registraron las actividades eléctricas de los músculos bíceps y tríceps del brazo derecho.

1.3.1 Rutina 1, Levantamiento de mancuerna

Consiste en levantar una mancuerna con una sola mano, estando parados con el cuerpo recto y solo se realiza fuerza con el brazo [5]. Flexionar y extender el codo cuenta como un evento, ver figura 1.

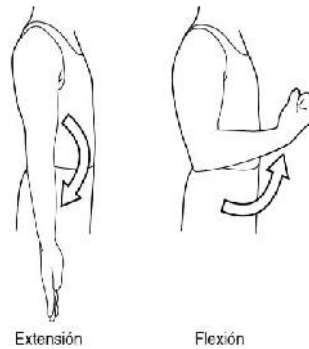


Figura 1. Flexión y extensión del codo

1.3.2 Rutina 2 Levantamientos de mancuerna por detrás de la cabeza

Consiste en levantar y bajar con ambos brazos una mancuerna que es colocada atrás de la cabeza. Flexionar y extender el codo cuenta como un evento. Principal músculo que trabaja es el tríceps. Ver figura 2.



Figura 2. Levantamiento de pesa por detrás de la cabeza

1.3.3 Rutina 3 Lagartijas

También conocidas como planchas, consiste en acostarse boca abajo, luego utilizando los brazos despegarse lo más que se pueda del piso utilizando las puntas de los dedos del pie como punto de apoyo mientras se mantiene recta la espalda y las piernas. Flexionar y extender el codo cuenta como un evento. Principal músculo que trabaja es el tríceps. Ver figura 3.



Figura 3. Lagartija o plancha

1.4 Propuesta y alcance

Se considera factible identificar diferentes rutinas de ejercicio, de manera adecuada, utilizando las señales electromiográficas de los músculos que participan en dicha rutina. Ésta identificación ayudará al deportista a entrenar correctamente. El alcance del trabajo es clasificar diferentes rutinas de ejercicio mediante reconocimiento de patrones de las señales de sEMG que han sido registradas y almacenadas, no en tiempo real.

2. METODOLOGÍA

Consiste en una serie de tres etapas consecutivas: En la primera etapa se hizo el registro de EMG de las tres rutinas. Segunda etapa consistió en filtrar la información útil y extraer el vector de características de las señales electromiográficas de cada evento de cada rutina. En la tercera etapa se entrenó a la red neuronal artificial para que clasifique que características de EMG corresponden a qué rutina. La secuencia de las tres etapas se observa en la figura 4.



Figura 4. Secuencia de las tres etapas realizadas.

2.1 Medición de señales EMG

Se midió la actividad eléctrica en los músculos bíceps y tríceps durante las diferentes rutinas utilizando un electromiógrafo portátil inalámbrico y electrodos de superficie de plata-cloruro de plata [6]. El electromiógrafo consta de dos canales, el canal 1 mide la actividad eléctrica del bíceps mientras que el canal 2 mide la actividad eléctrica del tríceps. En ambos músculos se necesitan 2 electrodos además de un quinto electrodo que servirá como electrodo de referencia para ambos músculos. Los electrodos que van en los músculos deben colocarse en la parte central del musculo con una separación de dos centímetros. La figura 5 es una foto del electromiógrafo y el receptor de radio frecuencia, en la figura 5a, 5b y 5c se muestran las señales EMG de las rutinas R1, R2 y R3 respectivamente. La magnitud de la señal esta en voltios y el tiempo de registro fue de 30seg.

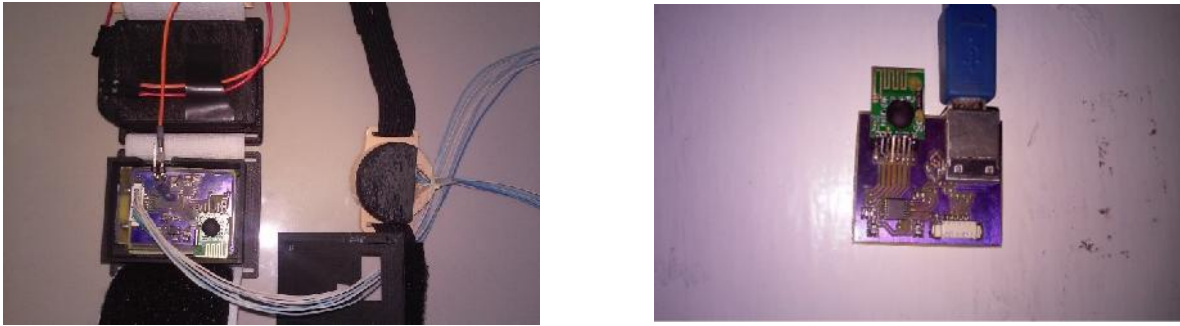


Figura 5. Electromiógrafo portátil inalámbrico y receptor

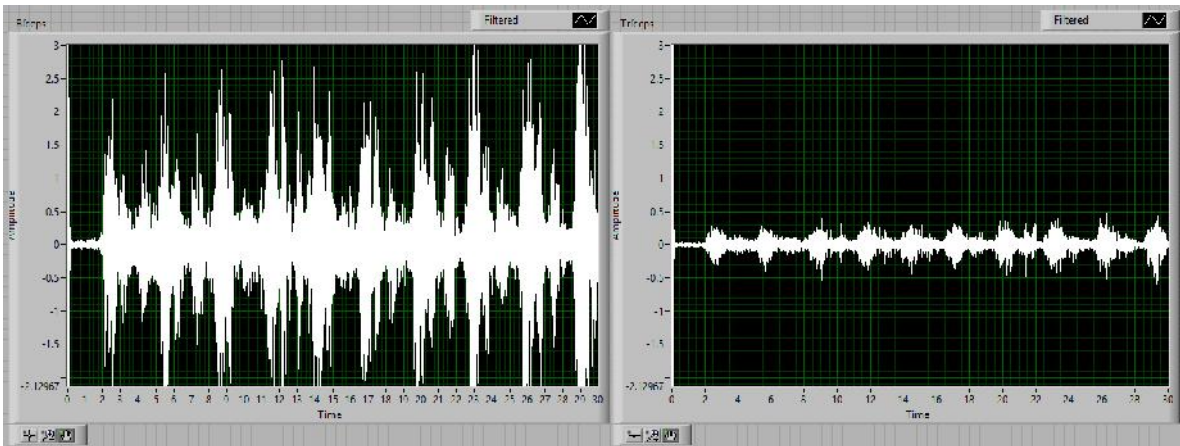


Figura 5a. Señales de EMG del bíceps y tríceps de la rutina R1

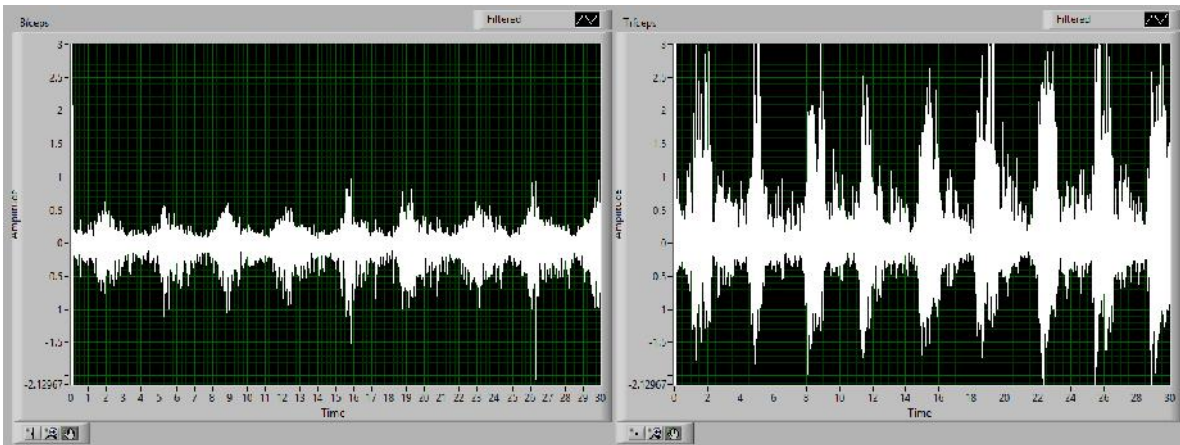


Figura 5b. Señales de EMG del bíceps y tríceps de la rutina R2

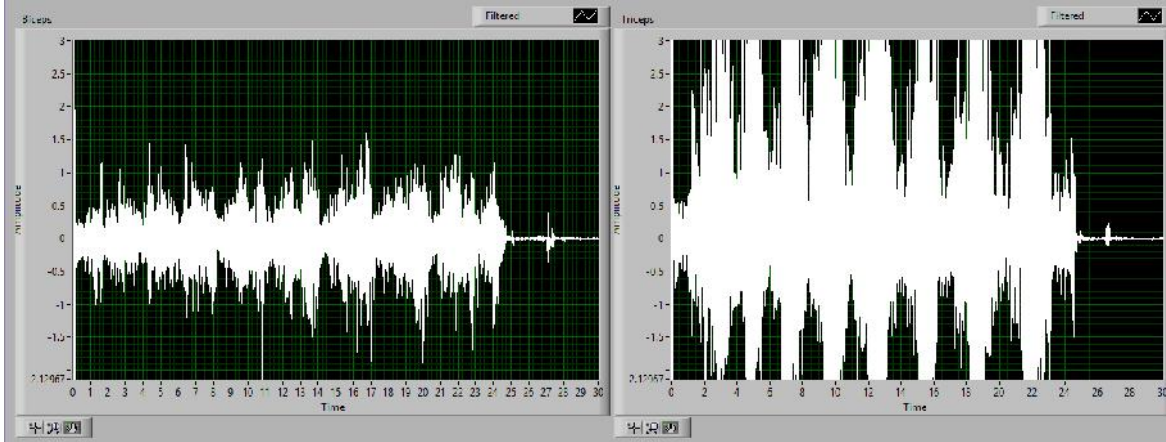


Figura 5c. Señales de EMG del bíceps y tríceps de la rutina R3

El electromiógrafo se comunica vía radiofrecuencia a un receptor que está conectado al computador. Se realizó una interface con LabView 2010 para visualizar las señales y almacenarlas.

2.2 Procesamiento de las señales

El procesamiento consiste en leer las señales de EMG guardadas de cada evento, escalarlas para que sus valores representen su amplitud real en voltios, filtrar componentes de frecuencia que están fuera de los rangos de frecuencia de una señal EMG, utilizando un filtro pasa banda de entre 20 y 500 Hz. Posteriormente se extrajeron las características de estas señales (Root Mean Square (RMS), Waveform Length (WL), Diferencia de Envolventes). Estas características son los valores de entrada de un clasificador que se entrenó para ser capaz de identificar dichos patrones en cada señal con lo cual se pueden identificar las diferentes rutinas de ejercicio. Cabe mencionar que las dos primeras características (RMS, WL) han sido utilizadas como valores de entrada en diversos clasificadores como Back-propagation Artificial Neural Network (BPANN) with Levenberg-Marquardt training algorithm, Support Vector Machine (SVM), BPANN(Gradient-descent algorithm), BPANN, y se han obtenido resultados favorables con clasificaciones correctas por arriba del 89% [7]. Todo el trabajo de procesamiento se realizó con LabView2010. A continuación una breve descripción de las tres características empleadas.

2.2.1 Root Mean Square

Root Mean Square (RMS) se modela como una señal de amplitud modulada. Este valor RMS está relacionada con la fuerza constante y contracción sin fatiga [8]. Se puede expresar como:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^2}$$

2.2.2 Waveform Length

Longitud de forma de onda (WL) es la longitud acumulada de la forma de onda sobre el segmento de tiempo [8]. WL está relacionada con la amplitud de la forma de la onda, frecuencia y tiempo. Se expresa como:

2.2.3 Diferencia de Envoltentes

$$WL = \sum_{n=1}^{N-1} |x_{n+1} - x_n| .$$

El electromiógrafo utilizado tiene 2 canales, cada canal sirve para medir la señal eléctrica de un músculo en éste caso bíceps y tríceps. Después de pasar por el filtro pasa-banda, se calcula la envolvente de ambas señales durante la misma rutina. Se obtiene el promedio de cada envolvente y se restan. Si se está extrayendo características del bíceps, entonces al promedio de la envolvente del bíceps se le resta el promedio de la envolvente del tríceps y en caso de querer extraer características del tríceps, al promedio de la envolvente del tríceps se le resta el promedio de la envolvente del bíceps. Se decidió emplear esta característica ya que se observó durante los experimentos cambios en la misma con el tipo de rutina de ejercicio realizada.

2.3 Entrenamiento de la red neuronal artificial

Para identificar las distintas rutinas es necesario clasificar las señales electromiográficas que han sido obtenidas. El clasificador que se usó consiste en una Red Neuronal Artificial de Retro-propagación (Back-propagation Artificial Neural Network BANN).

En 2008, Flórez describe a las Redes Neuronales Artificiales (RNA) como modelos computacionales que surgieron como un intento de conseguir formalizaciones matemáticas acerca de la estructura del cerebro y están basadas en el aprendizaje a través de la experiencia, con la consiguiente extracción de conocimiento a partir de la misma. El fin último es la emulación del sistema nervioso central biológico a través de procesadores artificiales, que incluso permitan evitar los fallos o errores humanos [9].

La unidad básica del sistema nervioso central es la neurona. La “neurona” de una RNA recibe una serie de señales que son valores de entrada, también un conjunto de pesos y una respuesta valor de salida en función de los valores de entrada y los pesos. Una “neurona” tendrá pesos, tantos como valores de entrada. La suma de las multiplicaciones de los valores de entrada con sus respectivos pesos es utilizada como parámetro en una función sigmoide cuyo resultado es el valor de salida de la neurona. Muchos procesos naturales y curvas de aprendizaje de sistemas complejos muestran una progresión temporal desde unos niveles bajos al inicio, hasta acercarse a un clímax transcurrido un cierto tiempo; la transición se produce en una región caracterizada por una fuerte aceleración intermedia. La función sigmoide permite describir esta evolución [10]. Dicho de otra manera el objetivo de una RNA es aprender, en éste caso patrones de señales de EMG para poder clasificarlos. La RNA consiste en un conjunto de “neuronas” organizadas como se muestra en la figura 6.

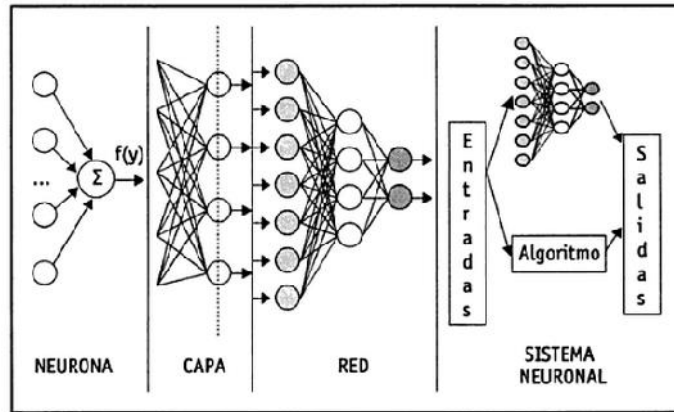


Figura 6. Estructura jerárquica de un sistema basado en RNA

La primera etapa de una RNA consiste en un conjunto de “neuronas” especiales, las “neuronas” de entrada, las cuales son las encargadas de recibir el vector de características, existirán tantas neuronas de entrada como la longitud del vector de características. A cada valor le corresponde una “neurona” de entrada. La siguiente etapa de la RNA consiste en capas ocultas cuyas “neuronas” poseen pesos y la función sigmoide (función de activación) con la que se obtendrá un valor de salida, debe existir al menos una capa oculta. Pueden existir n capas ocultas, los valores de salida de las “neuronas” de entrada son los valores de entrada de la primera capa oculta, los valores de salida de la primera capa oculta son los valores de entrada de la siguiente capa oculta y así sucesivamente hasta llegar a la capa de salida. Los valores de salida de la última capa oculta son los valores de entrada de la capa de salida. Es en ésta capa de salida en la cual vemos los resultados del procesamiento de los valores iniciales de entrada.

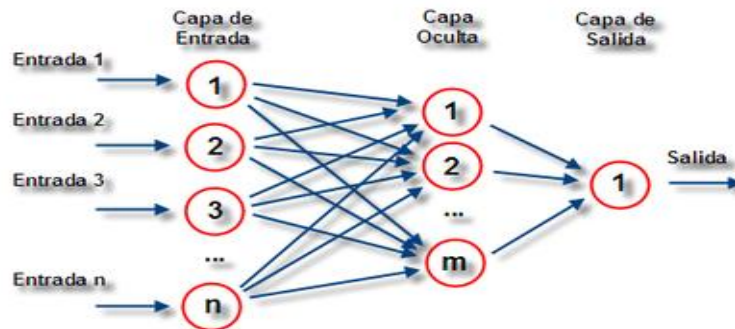


Figura 7. RNA

ejecución de izquierda a derecha y de regreso para el ajuste de pesos.

Cada evento de cada rutina es un ejemplo y cada ejemplo posee las 3 características mencionadas en la sección 2.2. La RNA tiene que aprender que evento pertenece a que rutina y así poder identificar la rutina en cuestión. Esto se logra entrenando la RNA. El entrenamiento consiste en ingresar a la RNA muchos ejemplos de cada rutina y decirle a que rutina pertenece cada ejemplo. Éste proceso se repite por varias épocas (iteraciones) hasta que aprenda, así cuando se le ingrese un nuevo ejemplo debe poder clasificarlo e identificar la rutina [11].

La principal característica de la RNA de Retro-propagación es que se ingresa un ejemplo y los valores de la capa de salida se comparan con los valores que corresponden a su rutina. Se calcula el error entre los valores de salida y los valores correspondientes a su rutina. Éste error se propaga hacia atrás haciendo que los pesos de cada “neurona” cambien en relación al error encontrado, el objetivo de esto es que el error se reduzca por cada época, a veces se necesita de un gran cantidad

de épocas para que aprenda. Cuando el error de salida es muy bajo, digamos menos a 0.05, en todos los ejemplos, se podría decir que la RNA ya aprendió.

Para crear una RNA y que aprenda se debe definir los siguientes parámetros: “Neuronas” por capa oculta, Capas ocultas, “Neuronas” en la capa de salida, Épocas, Alfa (factor de aprendizaje). Las “Neuronas” de la capa de entrada son las características extraídas ya mencionadas y Cantidad de ejemplos son los ejemplos con los que se disponga, entre más ejemplos se tenga mucho mejor ya que una RNA aprende con más certeza. En este trabajo se disponían de 125 ejemplos en total y 15 ejemplos para pruebas, 5 de cada rutina. Todos estos factores crean una configuración que determina que tan rápido aprenderá la RNA. No existen parámetros fijos, en muchos casos es prueba y error, en otros casos se puede dar una idea basado en trabajos previos.

4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

La RNA de Retro-propagación fue programada en lenguaje C++ en Geany, el cual es un editor de texto pequeño y ligero, basado en cinilla con características básicas de un entorno de desarrollo integrado(IDE).

Para que aprendiera a clasificar los patrones que formaban las señales EMG de las diferentes rutinas, se probaron varias configuraciones. La configuración con mejores resultados se muestra en la Tabla 1. Se consideraron como mejores resultados un periodo de aprendizaje reducido y un alto porcentaje de éxito.

Tabla 1

Neuronas de la capa de entrada	3
Neuronas por capa oculta	8
Capas ocultas	1
Neuronas de salida	3
Épocas	10,000
Alfa (factor de aprendizaje)	0.1
Ejemplos de aprendizaje (31 ejemplos rutina 1) (43 ejemplos rutina 2) (51 ejemplos rutina 3)	125
Ejemplos a clasificar (5 ejemplos rutina 1) (5 ejemplos rutina 2) (5 ejemplos rutina 3)	15
Tiempo de ejecución para el aprendizaje (segundos)	25

Tabla 1. Mejor configuración de la RNA utilizada

Se obtuvo una correcta clasificación de los 15 ejemplos de prueba con un porcentaje de aciertos del 100%. El proceso de aprendizaje o entrenamiento en todos los casos se concluyó cuando se obtuvo un error menor a 0.01. Las tres características propuestas resultaron adecuadas para clasificar las señales electromiográficas, al poder el sistema propuesto identificar de manera correcta a que rutinas pertenecen las señales de EMG que le fueron presentadas.

5. CONCLUSIONES Y DISCUSIONES

Este trabajo muestra que las características RMS, WL y diferencia de formas pueden emplearse para entrenar clasificadores basados en redes neuronales artificiales con arquitectura tipo retro-

propagación para identificar y clasificar patrones de actividad electromiográfica de superficie en los músculos bíceps y tríceps. Estos resultados abren la posibilidad de continuar estudiando el uso de estas características de la actividad electromiográfica junto con microcontroladores más poderosos y sistemas electrónicos de bajo peso y consumo energético para considerar el desarrollo de estos sistemas en forma de dispositivos portátiles, fáciles de llevar encima, que podrían proporcionar información muy útil para mejorar patrones de entrenamiento ayudando así a lograr mejor desempeño en deportistas y ayudar a evitar lesiones o daños por rutinas realizadas de manera errónea.

Referencias

- [1] R. B. Northrop. *Noninvasive Instrumentation and Measurement in Medical Diagnosis*. CRC PRESS, pag. 107-112, 2002
- [2] Yee Mon Aung, Adel Al-Jumaily. *Rehabilitation Exercise with Real-Time Muscle Simulation based EMG and AR*. 2011 IEEE
- [3] Fatemeh Moosavi, Hossein Ehsani, Arefeh Pasdar, Mostafa Rostami. *An EMG-driven musculoskeletal model to predict muscle forces during performing a weight training exercise with a dumbbell*. Proceedings of The 19th Iranian conference on Biomedical Engineering (ICBME 2012), Tehran, Iran, 21-22 December 2012.
- [4] Angkoon Phinyomark, Gongrit Chujit, Pornchai Phukpattaranont, Chusak Limsakul, Huosheng Hu. *A Preliminary Study Assessing Time-Domain EMG Features of Classifying Exercises in Preventing Falls in the Elderly*. 2012 IEEE
- [5] Sean Cochran, Tom House. *Musculación del tronco superior y brazos*. Editorial HISPANO EUROPEA, 2002, pag. 33, 34.
- [6] Br. Mariana Peraza Mues, I.C. Diego E. Salazar Loría, M.C. Irving Cifuentes González, Dr. Francisco José Heredia López. "Diseño de un sistema inalámbrico versátil para la adquisición de señales electromiográficas de alta densidad". XIV Congreso Nacional De Ingeniería Eléctrica Electrónica Del Mayab, abril del 2014.
- [7] Rubana H. Chowdhury, Mamun B. I. Reaz, Mohd Alauddin Bin Mohd Ali, Ashrif A. A. Bakar, Kalaivani Chellappan and Tae G. Chang. *Surface Electromyography Signal Processing and Classification Techniques*. *Sensor* 2013, 13(9), 12431-12466; doi: [10.3390/s130912431](https://doi.org/10.3390/s130912431). Review.
- [8] Angkoon Phinyomark, Chusak Limsakul, and Pornchai Phukpattaranont. *A Novel Feature Extraction for Robust EMG Pattern Recognition*. *JOURNAL OF COMPUTING*, VOLUME 1, ISSUE 1, DECEMBER 2009, ISSN: 2151-9617
- [9] Flórez L. Raquel, Fernández F. José M. *Las Redes Neuronales Artificiales, Fundamentos teóricos y aplicaciones prácticas*. 1º edición, NETbiblio, 2008.
- [10] Escolano R. Francisco, Cazorla Q. Miguel A., Alfonso G. María I., Colomina P. Otto, Lozano O. Miguel A. *Inteligencia Artificial. Modelos, Técnicas y Áreas de Aplicación*. Paraninfo, 2003.
- [11] Laurene V. Fausett. *Fundamentals of Neural Networks, Architectures, Algorithms, and Applications*. Prentice-Hall, 1994.

2.6 DISEÑO DE PRÓTESIS-HERRAMIENTA ROBÓTICA DE EXTREMIDAD SUPERIOR ARTICULADA EN LA MUÑECA (PROTHER)

Ing. Iván Manuel Gil Domínguez, Dr. Enrique Josué Chan y Díaz,
Br. Omar Fernando Pérez Saldívar, Br. Eduardo Denis Alcocer, Br. Daniel Saldaña Andrade
Instituto Tecnológico de Mérida
Mérida, México

omarp295@gmail.com

denis.alcocer07@gmail.com

luciodanielsaldanaandrade@gmail.com

Resumen

El trabajo presentado a continuación es sobre el diseño de una prótesis robótica de un grado de libertad para extremidad superior articulada en la muñeca que cuenta con un conjunto de herramientas que el usuario puede emplear para llevar a cabo una tarea específica. Se desarrolló un diseño mediante un software CAD para su visualización y estudio de movimiento. De igual forma se presenta la propuesta del sistema del control de la prótesis mediante el empleo de señales musculares. La prótesis tiene la capacidad de ser adaptada al trabajo que lleva a cabo el usuario en determinado momento.

Abstract

This work presents the design of a robotic prosthesis with one degree of freedom, articulated in the wrist. This prosthesis has a group of tools that could be used by the user to perform a specific activity. We develop a computer assisted design draw for its visualization and motion analysis. Also it is presented the suggest of a control system through muscles signals of the user. The prosthesis has the capability to be adapted depending of the activity carried out by the person.

1. Introducción

En México el 46.2% de la población total es de escasos recursos y el 58.3% (62.4% en Yucatán) de la población con discapacidad le pertenece a una dificultad motriz, siendo así el porcentaje más alto de discapacidad entre las que se encuentra la amputación de alguna extremidad [1]. En la actualidad existen empresas y centros de investigación dedicados a desarrollar y producir prótesis para distintos tipos de discapacidades motrices con la finalidad de atender a las necesidades de las personas que padecen de este tipo de discapacidad. Una de las propuestas innovadoras para mejorar el desempeño de una prótesis es el poder controlar su movimiento, a este tipo se les denomina prótesis robótica debido a que cuentan con cierta autonomía y son capaces de realizar las funciones de la parte faltante del cuerpo.

Por mencionar un ejemplo, existen dos prótesis que se encuentran en desarrollo: la prótesis brazo DEKA, con un sistema mioeléctrico que se controla con métodos no-invasivos, y la prótesis de brazo modular cuyo sistema puede ser controlado neuronalmente. La prótesis DEKA cuenta con varios grados de libertad y puede ajustarse a múltiples niveles de amputación en cuanto a la prótesis modular, ésta puede llegar a emplear 17 motores para controlar 26 grados de libertad [2]. Estos dos ejemplos de prótesis son sólo una pequeña parte de las que se encuentran en el mercado actualmente y la mayoría cuentan con características similares.

Varios estudios muestran que las personas, que han sufrido la amputación de alguna extremidad, no se encuentran satisfechas con la tecnología de las prótesis actualmente. Muchos optan por

negarse o abandonar el uso de una prótesis debido al tipo del dispositivo empleado, poca o nula capacitación para su uso, mal ajuste, uso limitado y el costo de compra y mantenimiento [3]. El costo de una prótesis es el factor que más impacta en las personas al momento de tomar la decisión de empezar usarla para mejorar su calidad de vida.

En el siguiente trabajo se presenta el diseño de una prótesis robótica no convencional, denominada PROTHER. La definimos de esta manera ya que es una alternativa nueva para las personas que sufren alguna amputación de una extremidad superior, en particular a nivel muñeca, la cual consiste en una prótesis que contiene herramientas para llevar a cabo alguna tarea específica. Anteriormente se mencionó la complejidad de las prótesis robóticas que se desarrollan actualmente y los motivos por los cuales las personas abandonan o no usan las prótesis, donde el costo del dispositivo es uno de los más influyentes en el usuario.

El PROTHER es una prótesis para brazo, su nombre se deriva de la unión de dos palabras: prótesis y herramienta. Como su nombre lo indica, es una prótesis que el usuario podrá emplear como herramienta de trabajo, estudio o recreación. A diferencia de las otras prótesis, PROTHER no pretende emular a una mano debido a las complicaciones que esto implica y de esta manera poder desarrollar un producto accesible para la sociedad ya que se emplearán materiales baratos para su construcción y componentes electrónicos convencionales para su control.

2. Diseño mecánico de prótesis-herramienta

En la sección anterior se mencionó que el PROTHER es una herramienta para las personas que padecen de una amputación de muñeca. El dispositivo se podrá adecuar al usuario ya que contará con diferentes extensiones y se muestra en la Figura 1. La pregunta es: ¿cómo se puede lograr que una prótesis se adapte al usuario?, la respuesta se encuentra en una característica fundamental del PROTHER: es modular, lo que significa que el dispositivo constará de distintos módulos algunos fijos y otros intercambiables (extensiones).

A continuación se presentará la descripción de los componentes del PROTHER y sus respectivos diseños tentativos realizados con el software de diseño asistido por computadora (CAD) SolidWorks como se han propuesto en otros trabajos de investigación en el que se emplean este tipo de software para el desarrollo de prótesis [4,5].

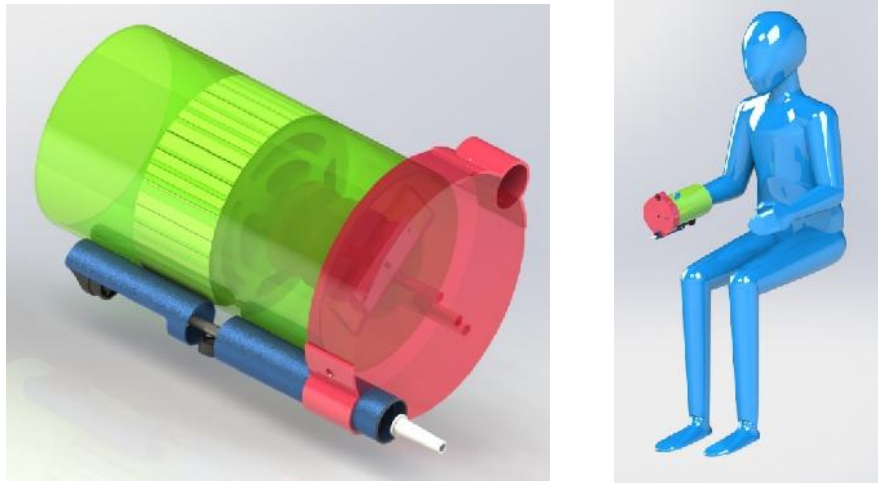


Figura 1. Diseño del PROTHER ubicado en la amputación a nivel muñeca

2.1. Módulo fijo: núcleo

El núcleo es la parte del PROTHER que contendrá la estructura principal del dispositivo, junto la unidad motriz que se encargará de darle movimiento a la prótesis. En la Figura 2 se puede apreciar la carcasa y un servomotor 360 en el centro. La carcasa será elaborada con un tubo de acrílico de 3 mm de espesor, el soporte del servomotor con polímeros ABS o PLA de impresión 3D. Este núcleo fue diseñado tomando como medidas de referencia las de un puño y muñeca de un hombre adulto, con una longitud de 15 cm y un diámetro de 9 cm.

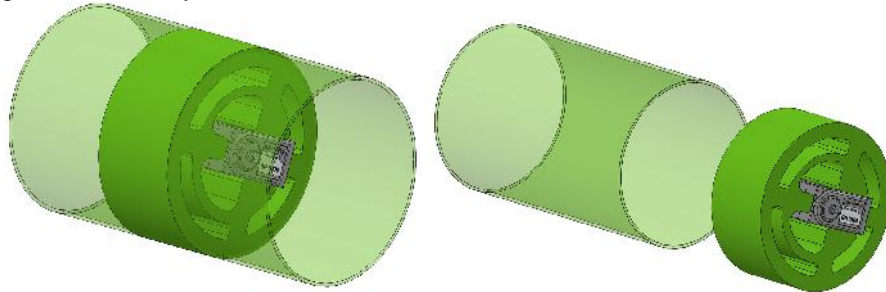


Figura 2. Dibujo en software CAD del módulo fijo con sus dimensiones

2.2. Módulo intercambiable: extensión

La extensión es la sección del PROTHER que podrá ser removida, en ella se encontrarán situadas las herramientas. En este trabajo se han propuesto dos extensiones llamadas ELECTRO-PROTHER, PROTHER-KIDS. El material propuesto para su construcción es el ABS o PLA, polímeros empleados en la manufactura por medio de impresión 3D, cabe mencionar que la impresión 3D ha sido aplicada para elaborar prótesis de extremidad debido a su versatilidad y bajo costo [4,5].

ELECTRO-PROTHER, es una extensión diseñada para personas que requieran trabajar con dispositivos electrónicos. Contará con herramientas útiles para el usuario al momento de desempeñar trabajos de electrónica, ver Figura 3. Las herramientas que contendrá la extensión se encuentran en la **Tabla 1**.

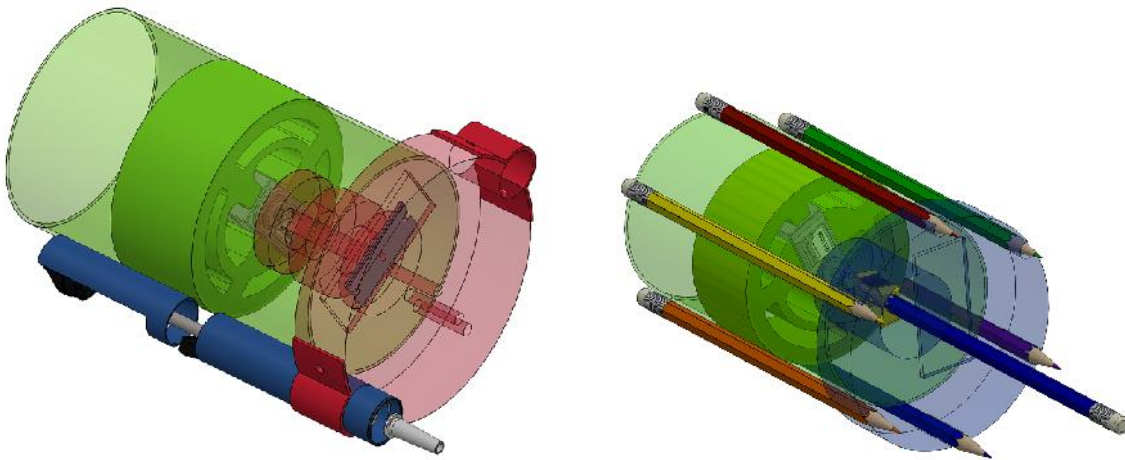


Figura 3. Modelo de la extensión: ELECTRO-PROTHER, izquierda; PROTHER-KIDS, derecha

PROTHER-KIDS, es una extensión dirigida hacia los niños en el ámbito escolar. Contará con útiles escolares para garantizar un buen desempeño académico como se puede apreciar en la Figura 3. El uso de la prótesis facilitará la experiencia del niño al momento de tomar apuntes, hacer tarea, actividades escolares, etc.

Tabla 1: Herramientas contenidas en la extensión del PROTHER según su modelo

Modelo del PROTHER	Herramientas
ELECTRO-PROTHER	- Pelador de cables automático
	- Succionador de estaño
	- Dispensador de cable
	- Dispensador de estaño
PROTHER-KIDS	- Pinzas de sujeción
	- Lámpara LED
	- Imán (para retención de piezas metálicas)
	- Desarmador de múltiples puntas
	- Lámpara LED
PROTHER-KIDS	- Calculadora
	- Compartimiento para borrador
	- Dispensador de Post-it
	- Tajador automático
	- Porta tijeras
PROTHER-KIDS	- Porta pegamento
	- Compartimiento para colores
	- Compartimiento para plumas

2.3. Funcionamiento del PROTHER: cinemática y ensamblaje

El funcionamiento consta en un movimiento radial de la extensión (color rojo), en torno al eje axial de la prótesis como se muestra en la Figura 4. Es un sistema de un grado de libertad controlado por un servomotor, ubicado en el núcleo, el servomotor será controlado por el usuario mediante señales tomadas de los músculos próximos al nivel de amputación (en la sección 3 se presenta la propuesta de control).

El usuario podrá controlar la prótesis para elegir las herramientas a utilizar o para desempeñar una labor en especial.

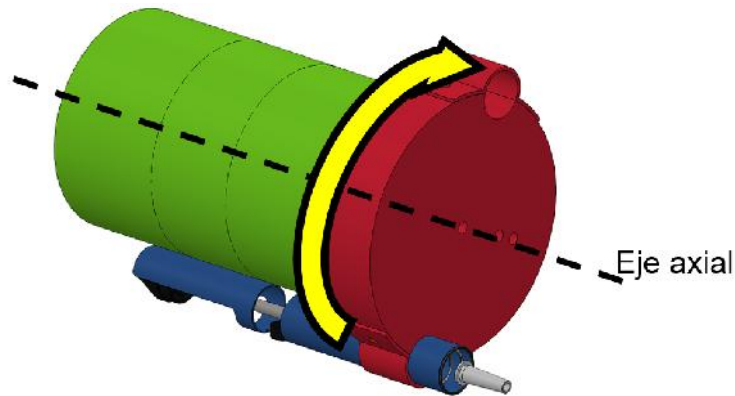


Figura 4. Movimiento de la extensión en torno al eje axial de la prótesis

En las secciones anteriores se mencionó que la prótesis-herramienta contará con dos módulos, uno fijo y otro intercambiable. El ensamble del PROTHER se ilustra en la Figura 4, se puede apreciar que el acople/desacople de la extensión se realiza con un movimiento sobre el eje axial del módulo fijo en donde se encuentra el piñón del servomotor. Esta propuesta de ensamble es sencilla y permite al usuario intercambiar la extensión de una manera rápida y sin necesidad de emplear una herramienta especial. El tipo de sujeción entre el piñón del servomotor y la extensión es por fricción, el eje del servomotor cuenta con una superficie estriada y esto permite que el módulo intercambiable se mantenga en su lugar durante su operación.

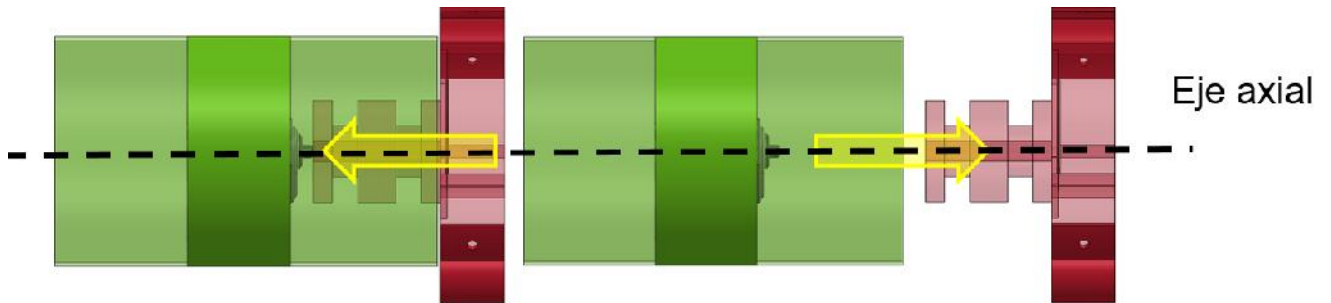


Figura 5. Representación del acoplamiento de la extensión al núcleo

3. Procesamiento de señal y control

A continuación, se muestra el diagrama a bloques del funcionamiento del control de la prótesis herramienta (Figura 6).

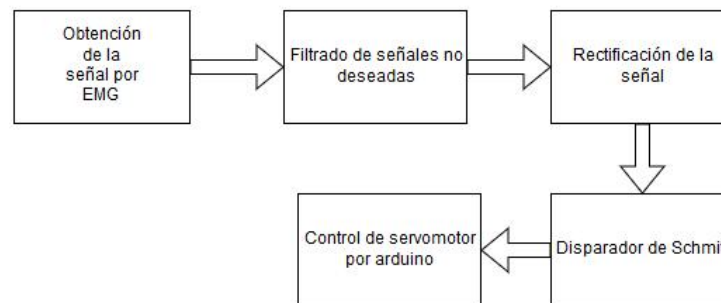


Figura 6. Diagrama de bloques de funcionamiento del control de la prótesis

3.1. Obtención de la medida de los voltajes pico de la señal

Las señales a procesar serán obtenidas a través de los bíceps y tríceps, debido a que son los músculos que mayor potencial de acción registran además de encontrarse cerca del lugar de inserción de la prótesis. Se emplearán tres electrodos de Ag-AgCl de superficie, dos para el registro del potencial de acción y uno referenciado a tierra, los cuales estarán conectados a un EMG (electromiografo) quien será el encargado de medir el potencial de acción de dichos músculos en una escala de mV. En este paso se pretende obtener el voltaje de los músculos que fungirán como controladores de la prótesis al momento de que éstos ejerzan fuerza.

Las señales que el cuerpo maneja se encuentran en el rango de los μV a mV, las cuales para poder ser adquiridas necesitan pasar a través de un amplificador instrumentación. Éste tiene la función de facilitar el procesamiento de la señal de entrada gracias a sus características eléctricas [6].

3.2. Filtrado de señales no deseadas

Como se mencionó anteriormente, en el cuerpo humano se pueden encontrar muchas señales que van en el rango de μV a mV todos exponiéndose al mismo tiempo, por esta razón es necesario aplicar al circuito un apartado de filtrado.

En el apartado de filtrado se podrá dar de baja a las señales no deseadas que en este caso serán consideradas como ruido. El circuito estará conformado por un filtro pasa-banda, el cual a su vez está compuesto por un filtro pasa altas, el cual permite el paso de las frecuencias que estén por encima de la frecuencia de corte, y otro pasa bajas que permite el paso de las frecuencias que estén por debajo de la frecuencia de corte. En la Figura 7 se puede apreciar el funcionamiento de ambos filtros en conjunto. La señal a la que se le permitirá el paso está en el rango de 50 a 150Hz [6].

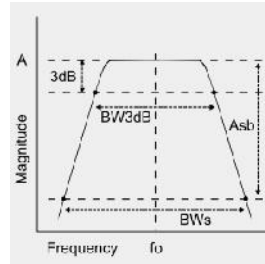


Figura 7. Ejemplo del comportamiento de un filtro pasa banda

Una vez obtenido el voltaje a la frecuencia deseada es necesario que éste sea procesado por medio de un rectificador de onda completa. Lo anterior servirá para deshacernos de las señales negativas captadas.

3.3. Disparador de Schmitt

En esta parte del circuito se pretende emular un umbral para la señal que permita la activación del próximo bloque. Se espera que cuando el usuario ejerza una fuerza suficiente, como para que el pico de la señal arrojada por el músculo sobrepase dicho umbral, éste deje pasar la señal para que el siguiente bloque pueda interpretarla como “encendido” y así activar al servomotor para dar paso a la rotación programada. Se pretende lograr rotación hacia la izquierda con el tríceps y hacia la derecha con el bíceps.

Para culminar con la explicación del funcionamiento de la prótesis con respecto al control se expone este último bloque el cual consta de un circuito integrado arduino el cual se encargará de interpretar los voltajes de entrada que envía el disparador de Schmitt, dándole así la orden al servomotor de rotar hacia la izquierda o derecha, esto depende de la programación del mismo

4. Conclusiones

Un producto accesible, funcional e innovador son tres palabras clave que hacen del PROTHER algo nuevo en mercado de prótesis robóticas. Será accesible porque para su producción se emplearán materiales económicos, dispositivos electrónicos comunes y herramientas de uso diario; funcional debido a que el PROTHER se puede adaptar a las necesidades de cada usuario e innovador ya que para la manipulación de materiales se emplearán tecnologías de manufactura nuevas como son el corte láser e impresión 3D y para su diseño se usará un software CAD (diseño asistido por computadora). De igual manera, en lo que respecta al apartado de control, la adquisición de la señal por medio de EMG, así mismo el tratamiento de la misma por medio del rectificador de onda completa, el disparador de Schmitt y la activación del servomotor por medio del arduino, los componentes electrónicos requeridos para el mismo son bastante accesibles en lo que respecta a lo económico.

5. Referencias

1. INEGI; Censo de Población y Vivienda 2010; Base de datos de la muestra censal
2. Marlis González-Fernandez, Arch Phys Med Rehabil; **95**; 1013-1015; 2014.
3. Linda Resnik, Marissa, R. Meucci, Shana, Lieberman-Klinger; Arch Phys Med Rehabil; **93**, 710-717, 2012.
4. Giho Jang; Ghulwoo Lee, Hoyul Lee; Mechatronics; **23**; 318-325; 2013.
5. Matthew B. Burn, Anderson Ta, Gloria R. Gogola; American Soc. for Surgery of the Hand; **41**; 103-109; 2016.



6. Ma. Teresa García González, Aída Jiménez González, Ma. del Rocío Ortiz Pedroza, Miguel Ángel Peña Castillo; *Potenciales bioeléctricos: origen y registro*, “amplificador de instrumentación”; Departamento de Ingeniería Eléctrica; UAM unidad Iztapalapa, 117-145; 1998.

2.7 DESARROLLO DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE MICROANEURISMAS EN IMÁGENES DE COLOR DE FONDO

Álvarez Cervera M.M1 , Nava Martínez R.1, Escalante Paredes M.F.1, Castillo Ortiz C.2

Malvares2002@yahoo.com

1 Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Instituto Tecnológico de Mérida, Mérida, Yucatán, México.

2 Departamento de oftalmología, Hospital Regional de Alta Especialidad de la Península de Yucatán, Mérida, Yucatán, México

Abstract. – La detección de microaneurismas en imágenes a color de fondo de ojo sigue siendo un tema abierto en el procesamiento de imágenes médicas debido a la baja disponibilidad de programas confiables. En este trabajo se propone un sistema de detección de microaneurismas (MAs) automatizado basado en la utilización de la matriz Hessian y contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE). Así también en la extracción de características como el disco óptico, árbol vascular y otras patologías para la disminución de los falsos positivos.

Para evaluar el sistema de detección de MAs, se examinaron 111 imágenes a color de fondo de ojo, clasificados por padecimientos y comparados con imágenes con fluorescencia, es decir con angiogramas. La sensibilidad dio mejores resultados en la fase de retinopatía diabética no proliferativa leve por lo que este sistema podría ser utilizado en la detección precoz del padecimiento.

I. INTRODUCTION.

La retinopatía diabética (RD) está considerada como una de las enfermedades más graves y extensas de la población activa del mundo (1). Se desarrolla como una complicación de la enfermedad de Diabetes Mellitus (DM) (2) y presentan signos como MAs, hemorragias, exudados algodonosos, anormalidades microvasculares intrarretinianas, rosarios venoso y neovascularización (3; 4; 5). En México el 10% de la población general padecen DM, un 3-4% por encima de lo referido en otros países (6).

Los MAs son las primeras lesiones que aparecen en la retinopatía diabética y su detección precoz disminuiría la incidencia de problemas oculares graves y pérdida visual severa. Los MAs son dilataciones en forma de saco de las paredes vasculares, que se observan mayormente en los capilares venosos (7). Estas lesiones aparecen como pequeños puntos rojos circulares que tienen márgenes bien definidos con un tamaño entre 10 μ -135 μ (8; 9). En la angiografía de la retina,

los MAs se observan fácilmente como pequeños puntos blancos y en mayor número que el que se observa en una imagen a color (10).

Debido a la similitud con otras características de la retina y el pequeño tamaño, además de las sinfín de cualidades que contiene las imágenes a color, como el contraste, la iluminación y los errores de lente o humanos; resulta una tarea muy difícil en la detección de los MAs.

En el trabajo se propone el desarrollo de un sistema que se use como una herramienta screening de apoyo, tanto al médico general como especialista, el sistema propuesto está constituido con las técnicas matriz Hessian y CLAHE para la detección de MAs y en la extracción de otras características como el árbol vascular, el disco óptico y otra patología para la disminución de los falsos positivos.

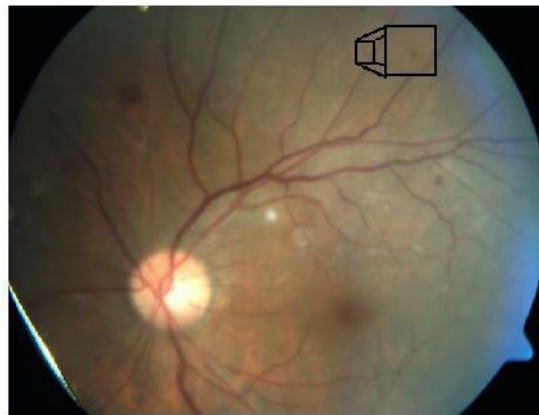


Figura.1 Microaneurisma en la superficie de la retina.

II. MATERIALS.

Se procesaron 81 imágenes a color del fondo del ojo de 27 pacientes otorgados por el Hospital Regional de Alta Especialidad de la Península de Yucatán, estas imágenes tienen una amplia variedad de cualidades como iluminación, contraste, brillo y errores de lente.

Tabla1 Clasificación de pacientes

Enfermedad del ojo	No. de pacientes	No. color de la imagen de fondo
Mid Nonproliferative retinopathy	4	8
Moderate Nonporliferative retinopathy	6	20

Photocoagulation with Mild Nonproliferative retinopathy	2	6
Photocoagulation without diabetic retinopathy	2	5
Other disease without diabetic retinopathy	9	26
Healthy patient	4	16

Se clasificaron los pacientes por padecimientos de la retina, véase la Tabla 1, esto es para evaluar el funcionamiento del sistema en diferentes condiciones.

II. Método Propuesto

El sistema está dividido en dos fases, la primera fase es la preparación de la imagen que trata sobre el realce de contraste, aumento de intensidad y conversiones a los planos RGB, es decir, poner en un mismo formato para su procesamiento las imágenes que el sistema recibe como entrada; toda esta parte se encuentra en el módulo de preprocesamiento mientras que la segunda fase se buscarán puntos tales que consideraremos, en virtud de una serie de características, como posibles MAs con las técnicas de la matriz Hessian y CLAHE (segmentación de posibles MAs). En la Figura 2 puede observarse el diagrama general del sistema.

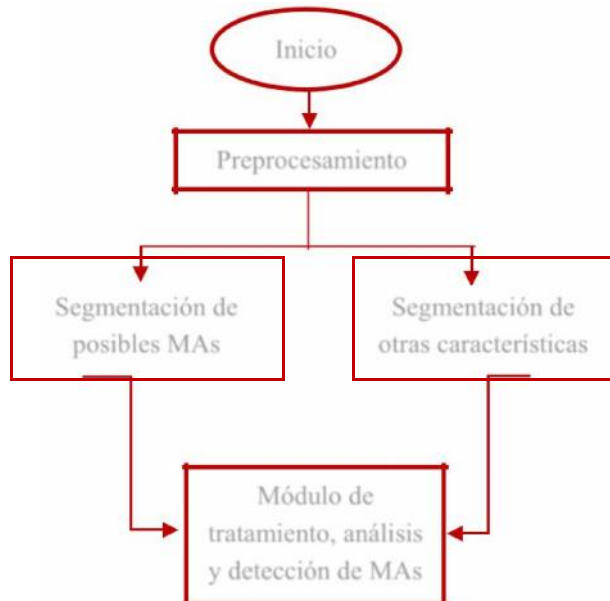


Figura.2 Diagrama de flujo de la detección de microaneurimas

Módulo de tratamiento, análisis y detección de MAs

En la sección de segmentación de posibles MAs tiene la función de extraer áreas que cumplan las condiciones de tamaño (menos de 200 píxeles) y de contraste mientras que la sección de segmentación de otras características, se buscan extraer el árbol vascular, el disco óptico y otras patologías como exudados algodonosos, neovasos, etc., con el objetivo de disminuir los falsos positivos que puede contener en la búsqueda de posibles MAs, es decir, el resultado de esta sección se compara con los resultados de la segmentación de los posibles MAs con la finalidad de eliminar los píxeles en las zonas del árbol vascular, disco óptico u otras patologías. El proceso continúa con el análisis de la imagen buscando conjuntos de píxeles con forma circular y con un tamaño entre 10 a 55 píxeles.

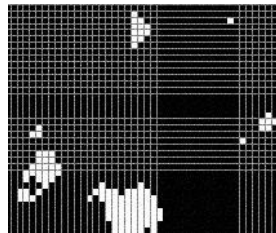


Figura.3 Proceso de análisis, buscando áreas con tamaño entre 10-55 píxeles y forma circular.

A. CLAHE.

Es una técnica popular en el procesamiento de imágenes biomédicas, ya que es muy eficaz en la fabricación de las partes sobresalientes generalmente interesantes más visible. La imagen se divide en regiones disjuntas, y en cada región se aplica una ecualización de histograma (11).

La ecualización del histograma es una transformación de escala de grises para la mejora del contraste. El objetivo es conseguir una imagen con niveles de intensidad distribuidas de manera uniforme sobre toda la escala de intensidad (12).

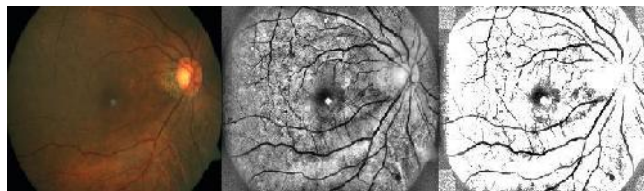


Figura.4 Módulo CLAHE

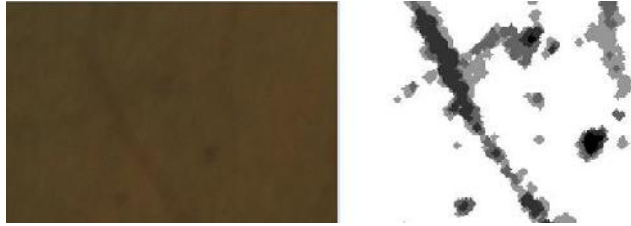


Figura.5 Detección de MAs mediante el módulo CLAHE

B. Matriz Hessian.

La matriz Hessian es una matriz cuadrada de las funciones derivadas de segundo orden parcial de diferenciación. Cuando la superficie curva de intensidad de la imagen se puede aproximar por la función, la matriz de Hessian se puede observar en las siguientes ecuaciones:

$$H(x,y)=[L_{xx}(x,y)L_{xy}(x,y)L_{yx}(x,y)L_{yy}(x,y)]$$

$$L_{xx}(x,y) = G_{xx}(x,y) * I(x,y)$$

$$L_{xy}(x,y) = G_{xy}(x,y) * I(x,y) \quad (2)$$

$$L_{yx}(x,y) = G_{yx}(x,y) * I(x,y) \quad (3)$$

$$L_{yy}(x,y) = G_{yy}(x,y) * I(x,y) \quad (4)$$

Donde * es el operador de convolución, I (x,y) es el procesado de la imagen, y Gxx (x,y),Gxy (x,y),Gyx (y,x),y Gyy (y,y) son las funciones derivadas de segundo orden parcial de las funciones gaussianas en cada dirección. La función Gaussiana G(x,y) se describe como:

$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-((x^2+y^2)/2\sigma^2)} \quad (5)$$

Donde σ es un parámetro de escala determinado de la función Gaussiana (13).

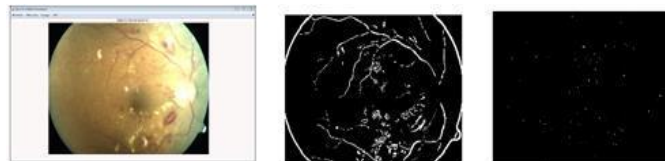


Figura.6. Detección de MAs con técnica de la matriz Hessian

IV. RESULTADOS

Los resultados están divididos de acuerdo al padecimiento que contiene la retina.

Para evaluar los resultados del sistema, se usó la fórmula de sensibilidad (sen). Detallada en la ecuación 6

$$\text{sen} = \frac{\text{TRUE MAs candidate}}{\text{ALL Mas candidate}} \times 100 \quad (6)$$

Los resultados fueron comparados con angiogramas que tengan la misma posición que la imagen a color del fondo de ojo (Figura 7). Los candidatos que aparecen en el angiograma se tomara en cuenta como TRUE MAs mientras que los candidatos que otorga el sistema y no se encuentra en el angiograma serán falsos positivos (FP).

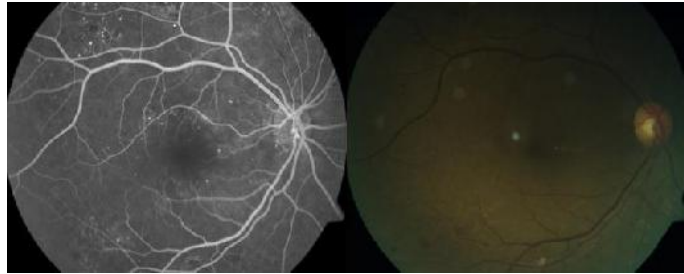


Figura.7. Angiograma e imagen a color del fondo de ojo

El sistema da como resultados entre 30-80 falsos positivos por imagen en etapas no proliferativa leve y moderada de la retinopatía diabética y una sensibilidad de 24% y 14% respectivamente, en pacientes sanos dio 6 falsos positivos por imagen, mientras que en otros padecimientos sin retinopatía diabética otorga 17 falsos por

imagen. Habiendo una diferencia de detección de MAs en diferentes padecimientos y etapa de la retinopatía diabética.



Figura.8. Resultado del sistema comparado con angiograma.



Figura 9 Resultado de un paciente sano

V. DISCUSIÓN

En el trabajo se propuso un nuevo método, que consiste en la combinación de las técnicas CLAHE y matriz HESSIAN para la extracción de los candidatos a MAs principalmente del fondo de la retina. Por esa razón se evaluó las primeras etapas (no proliferativa leve y moderada) de la retinopatía diabética, así como pacientes sin retinopatía diabética o pacientes sanos.

La Figura 4 muestra una imagen de ejemplo en la aplicación del módulo CLAHE que hizo más fácil la distinción para la detección de candidatos a MAs ubicados en el fondo de la retina.

El sistema detecto todos los MAs visibles, es decir, localizados en la superficie de la retina, así también tuvo buenos resultados detectando los MAs no visibles a simple vista, los que se encuentran en el fondo de la retina. En pacientes sanos se detectó 6 FP por imagen otorgando una diferencia en detección de candidatos de MAs entre pacientes sanos y paciente con retinopatía diabética no proliferativa leve y moderada.

VI. CONCLUSION

En este trabajo se ha demostrado que mediante el análisis de la imagen, se es posible la detección de MAs tanto de la superficie como en el fondo de la retina y así también la disminución de los falsos positivos, tanto en paciente sin síntomas de RD como en paciente con RD.

El sistema es fácil de usar ya que solo cuenta con una pantalla en donde se introduce la imagen en donde procesa en forma automatizada, y bastante rápido.

REFERENCIAS

1. **Salud, Organización Mundial de la.** Organización Mundial de la Salud. *Organización Mundial de la Salud*. [En línea] Organización Mundial de la Salud, Enero de 2015. [Citado el: 12 de Febrero de 2016.] <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs312/es/>.
2. **Klein, R., Klein, B. E. K., & Moss, S. E.** *The Wisconsin epidemiologic study of diabetic retinopathy*. VI. retinal photocoagulation +a. *Ophthalmology*. 1987. págs. 747-752.
3. **Biblioteca Nacional de Medicina de Estados Unidos** . Biblioteca Nacional de Medicina de Estados Unidos . *Biblioteca Nacional de Medicina de Estados Unidos* . [En línea] Biblioteca Nacional de Medicina de Estados Unidos . [Citado el: 02 de 02 de 2016.] nlm.nih.gov.

4. *The clinical implications of recent studies on the structure.* **Yimlui Cheung, Carol, y otros.** 5, s.l. : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015, Vol. 58.
5. *Diabetic retinopathy in patients with newly diagnosed type 2 diabetes mellitus in Jordan: prevalence and associated factors.* **Jammal H, Khader Y, Alkhatib S, Abujbara M, Alomari M, Ajlouni K.** 2, s.l. : J Diabetes, 2013, Vol. 5.
6. *Diagnóstico temprano de retinopatía diabética en el primer nivel de atención.* **María Valeria Jiménez-Báez, Horacio Márquez-González, Rodolfo Bárcenas-Contreras, Carlos Morales-Montoya.** 1, Colombia : Colombia Medica, 2015, Vol. 46.
7. **Association, American Diabetes.** *The Diabetes Dictionary.* Segunda. s.l. : American Diabetes Association, 2015.
8. **Intituto Mexicano Seguro Social.** *Deteccion de retinopatía diabética en primer nivel de atención. Guía de referencia rápida.* [IMSS] s.l. : Dirección de prestaciones médicas (Unidad de atención médica). IMSS-735-14.
9. **Instituto Quimico Biologo.** *Retinopatía diabética. Retinopatía diabética.* [En línea] Instituto Quimico Biologo, 2013. [Citado el: 17 de Enero de 2016.] www.igb.es/d_mellitus/medico/complica/retina/cap01_4.htm.
10. **Pontificia Universidad Católica de Chile.** *Capitulo 1.5 Fondo de ojo, Hemorragias y microaneurimas.* s.l. : Pontificia Universidad Católica de Chile.
11. *Improvement of automated detection method of hemorrhages in fundus images.* **Hatanaka, Y., y otros.** [ed.] IEEE. s.l. : Engineering in Medicine and Biology Society, 2008. EMBS 2008. 30th Annual International Conference of the IEEE , 2008. Improvement of automated detection method of hemorrhages in fundus images. págs. 5429 - 5432. ISSN: 1557-170X .
12. *A Novel Method of Determining Parameters of CLAHE Based on Image Entropy.* **Seok Min, Byong, y otros.** 5, 2013, International Journal of Software Engineering and Its Applications, Vol. 7, págs. 113-120. ISSN: 1738-9984 IJSEIA.
13. *Automated Microaneurysm Detection Method Based on Eigenvalue Analysis Using Hessian Matrix in Retinal Fundus Images.* **Inoue, Tsuyoshi, y otros.** Osaka, Japon : 35th Annual International Conference of the IEEE EMBS, 2013. págs. 5873-5876. 978-1-4577-0216-7.

3. COMPUTACIÓN

3.1 CREATION OF A MUTI-SOCIAL-EMOTIONAL AGENT FOR THE ACCOMPLISHMENT OF WORKING GROUPS WITH SIMILAR EMOTIONS.

Arnulfo Alanis Garza
Departamento de Sistemas y Computacion
Instituto Tecnológico de Tijuana
Tijuana, B.C. México
alanis@tectijuana.edu.mx

Jacquelyne Maryuri Chavez Duarte
Departamento de Sistemas y Computacion
Instituto Tecnológico de Tijuana
Tijuana, B.C. México
maryurid.chavez@tectijuana.edu.mx

Bogart Yail Marquez Lobato
Departamento de Sistemas y Computacion
Instituto Tecnológico de Tijuana
Tijuana, B.C. México
Bogart@tectijuana.edu.mx

Jose Sergio Magdaleno Palencia
Departamento de Sistemas y Computacion
Instituto Tecnológico de Tijuana
Tijuana, B.C. México
jmagdaleno@tectijuana.edu.mx

Dulce Anyra Alida Cota Salazar
Directora del Centro de Entrenamiento Psicologico infantil, la paz
C.E.P.I
Ignacio Ramírez, Mineros, 23097 La Paz, B.C.S
anyracs@hotmail.com

Abstract— This paper presents the architecture and creation of a Multi-Agent System Social-Emotional-SMA-SoE, which performs the recognition of basic emotions, based on research by Paul Ekman and with the support of psychology, emotional intelligence, intelligent agents, computer vision and artificial neural networks that represent emotions empathy in order to create groups with similar characteristics to work collaboratively and achieve a common goal. Results will be applied in autonomous mobile robots to support children with the autism disorder.

Keywords— Emotions, Emotions Model, Collaborative Work, Psychology Emotional Autonomous Mobile Robots, Intelligent Agents, Multi-Agent System

I. Introduction

The study of feelings and emotions boom has taken over the last decade using the model of emotional intelligence. Scientists say that the true measure of intelligence is not IQ but emotional. In psychology there is the term emotional intelligence, to the psychologist Daniel Goleman is more important than general intelligence, in terms of career success. Goleman defines emotional intelligence as "refers to

how well an individual conducts himself and how to manage others, rather than what is smart or capable in terms of technical skills.” [6]

We can define emotion as nonverbal expressions that allow the man to show the mood in which they are and interest in the final permit of decision-making of human beings has increased in recent years by the intelligent agents’ community and autonomous robotics by developing models and architectures, and designing adaptive agents. [5]

Thus, emotions influence a person’s performance during some common tasks. Emotions are feelings that people have experienced in the workplace, and in turn those feelings influence the way in which a person performs some specific task.

When work is done, people experience a variety of emotions. There is a emotions division classified as positive emotions and negative emotions. Positive emotions formed in the workplace are in the most positive attitudes. Emotions to perform some common task are aimed at the goals, that’s because negative emotions are not congruent with the goal which the person is striving to achieve. [10]

Figure 1 shows the difference between positive and negative emotions associated with the implementation of any specific task (goal).

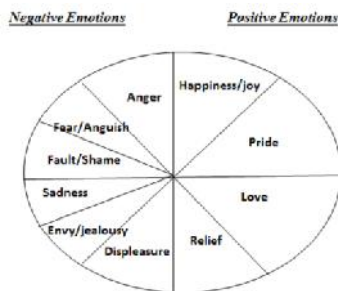


Fig 1. Differences between positive emotions and negative emotions.

In psychology the way a person can communicate their emotions and they can be understood by someone else is related to the concept of empathy. There are different definitions of empathy and the next two are the most representative for this investigation, which are:

- A. *"The action and the ability to understand, be aware, be sensitive or alternative way to experience the feelings, thoughts and experiences of others, without these feelings, thoughts and experiences have been reported in an objective or explicit" [10].*
- B. *"Mental function that allows us to not be focused on yourself and see things from another point of view. Through them we can be partakers of the experiences of others and develop common experiences" [11].*

Based on the above, it is proposed to recognize the basic human emotions with a robot, analyzing how robots can empathize with emotions and the aim to work together and make groups of similar emotions to achieve a common purpose.

II. Intelligent Agents

A. Definition of Agents

An intelligent agent is defined as a software entity that, based on their own knowledge, perform a set of operations to meet the needs of a user or another program, either on its own initiative or because one of them is required. [2]

The agents themselves can be considered as individual entities (parts of the program that have control over their own lives and movements). [3]

B. Multi-Agent System

We define a Multi-Agent System as the interaction of several agents. In these systems, each agent does not have any data or methods to achieve an objective, therefore must work with others to achieve it. [3]

Multi-Agent System (MAS): A set of autonomous agents, usually heterogeneous and potentially independent, working together to solve a problem. [4]

III. Background

Now by the increasing contact between humans and robots there is a need for a more comfortable and efficient interaction between them so that they convey emotions and have a more pleasant interaction so the robot could imitate and activate those emotions, thereby obtain emotion groups considered appropriate for work place case studies according to their specific work area.

Based on the above this research presents the design of a Multi-Agent Social-Emotional [1] which can recognize the set of basic emotions, these emotions are drawn from the research of Paul Ekman because his studies detail how emotions are expressed in humans (in a way that can be recognized in any culture, geography, etc.), which are: **Joy, Sadness, Fear, Anger, Disgust and Surprise**, the fact of using Paul Ekman's research arises once analyzed all those who have made their studies to seek and recognize basic emotions.

Paul Ekman asserts in his research that emotions play a crucial role in the detection of deception, besides mentioning that humans learn gestures and expressions through social contacts, and these vary according to culture. [5]

The classification of emotions by Paul Ekman is depicted in Figure 2:

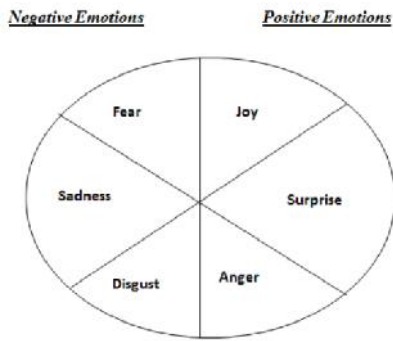


Fig. 2 Representation of emotions by Paul Ekman.

There are a set of emotions, the following table shows the division of the emotions primary, secondary and tertiary.

IV. Development

A) Multi-Agent System Social-Emotional

Once the emotions discussed in this research are known, the Multi-Agent System Social-Emotional architecture is introduced, which has the functionality to recognize the six basic emotions (anger, fear, sadness, surprise, joy and disgust) for identified groups of similar emotions and to achieve collaborative performance and a common goal.

Assuming that positive emotions influence and have more weight over negative emotions and to give focus to this investigation, the group's proposal for emotions that will work collaboratively are presented in Figure 3:

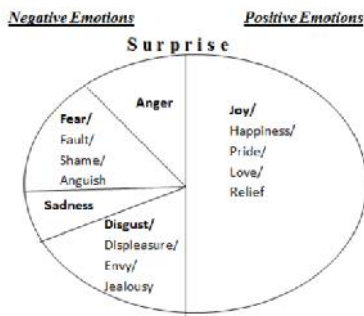
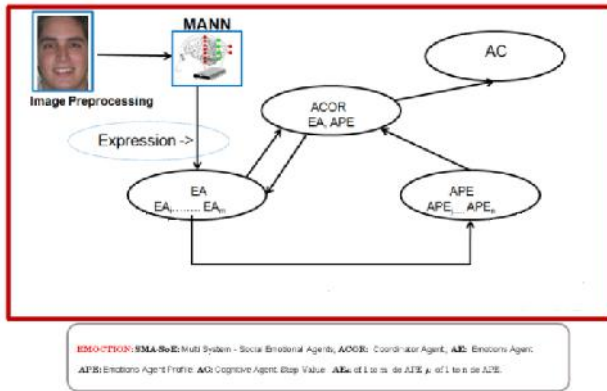


Fig. 3. Proposal for a group of emotions for the SMA-SoE

The architecture for this research is shown in Figure 4:



In Figure 4 Multi-Agent System Social-Emotional (SMA-SoE) architecture is presented where 3 agents can be seen and which are described below.

- Emotions Agent (EA), a set of emotions.
- Agent Profile Emotions (APE), a set of emotions profile.
- Coordinator Agent (ACOR), coordinator of the system

Multi-Agent System Social-Emotional is composed of three agents, an agent to determine the emotion degree, an agent for determining the emotion group and the last agent who acts as coordinator of Social Multi-Agent System -Emotional.

Roles and activities of each agent in the Multi-Agent System Social-Emotional are detailed bellow:

Emotions Agent (EA) will be responsible for receiving the emotion and determining the degree of active emotion, based on the following grades:

- little
- regular
- more

Agent Profile Emotions (APE) is responsible of receiving emotion degree and excitement to identify the emotion group which will work collaboratively to accomplish a specific task, with the following groups' potential:

- good
- bad

Coordinator Agent (ACOR) is responsible for coordinating AE and APE and it also has other activities, not only coordination, which is to get the emotion from the Artificial Neural Network, which will help to obtain excitement and emotions to be send to the agent that can determine the emotion's profile.

Finally, the SMA-SOE architecture has a Cognitive Agent (CA) which has the power to receive the group active emotion and excitement to continue monitoring the recognition of emotion and embodiment of working groups with similar emotions.

V. Knowledge base

The SMA-SoE is composed of 3 players (AE, APE and ACOR) who perform activities or behaviors to find groups of similar emotions, these behaviors are expressed in a set of facts that form the basis of knowledge, the facts are represented rules necessary to carry out all the functionality of SMA-SoE. Thus the facts mentioned undertaking each agent up to Multi-Agent System Social Emotional.

Emotions Agent (EA)

- Verify that you have the emotion.
- Process Agent Profile Emotion's emotions.
- Assess the degree of emotion.
- Report that it has the emotion degree to the Agent Coordinator.
- Communicate emotion degree Emotions Agent Profile and Agent Coordinator.

Agent Profile of Emotions (APE)

- To receive the emotion degree from the Emotions Agent.
- Find the emotion group.
- Communicating emotion group to the Agent Coordinator.

Coordinator Agent (ACOR)

- To receive the emotion degree from the Emotions Agent.
- Receive emotion group Emotions Profile Agent.

The set of rules that make the behavior of each of the 3 agents are shown in Figure 5:

```

0- If MAG, RNE, RNET Then RNT1 Process RNET
1- If MAG, RNE, RNET Then RNE_Ask Emotion Image RNE_PI
2- If RNE_Ask Emotion Image RNE_PI Then RNE_AE1 Process RNE_AE
3- If RNE_AE1 Process RNE_AE Then AE1 Assess Degree Emotion AEFE
4- If RNE_Ask Emotion Image RNE_PI Then RNT1 Process RNE_PI
5- If AE1 Assess Degree Emotion AEFE Then
AE1 Grade Assess Emotion Emotion AEFE
6- If AE1 Grade Assess Emotion Emotion AEFE Then
AE1 Communicate Emotion To Grade ACOR1 AECTG ACOR
7- If AE1 Communicate Emotion To Grade ACOR1 AECTG ACOR Then
AE1 Communicate Emotion Degree APE2 AECE APE and
AE1 Communicate Emotion APE2 AECE APE and
AE1 Communicate Emotion Degree ACOR2 AECE ACOR
8- If AE1 Communicate Emotion APE2 AECE APE Then
APE2 Evaluate Group APEFC
9- If APE2 Evaluate Group APEFC Then Group Evaluated Emotion APE2 APECE
10- If Group Evaluated Emotion APE2 APECE Then
APE2 Group Communicate Emotion ACOR3 APE2 CE ACOR
11- If APE2 Group Communicate Emotion ACOR3 APE2 CE ACOR Then
ACOR3 Status Update AE1 ACORAEAU
12- If ACOR3 Status Update AE1 ACORAEAU Then
AC3 Group Communicate Emotion ACCE and AC3 Communicate Emotion ACCE
    
```

Fig. 5. SMA-SoE rules

The evaluation is made thru the set of rules by means of a technique for evaluation of controllers known as Petri Net. Petri Nets come in 1962 with the doctoral work of Carl Adam Petri, "Kommunikation mit Automaten (Communication with automata), Germany [12].

A Petri net is a graphical model, formal and abstract to describe and analyze the flow of information. The theory of Petri nets allows the mathematical representation of the system to be modeled. Petri Nets are useful in the design of hardware and software systems for specification, simulation and design of various engineering problems. [12]

A Petri Net consists of the tuple: $RP = \{P, T, I, O\}$, where: $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ is a finite set of places, $n \geq 1$. (States). $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ is a finite set of transitions, $m \geq 1$. $I: P \Rightarrow T$ is the input function, a mapping from input places to the set of transitions. $O: T \Rightarrow P$ is the output function, a mapping from transitions to the set of output places. [12]

VI. Emotions database

Indeed the facial expressions of each of the basic human emotions are easily discernible, occurring at similar stimuli, manifested and recognized in all cultures. Learn to recognize emotions in increasing levels of them. [5, 7, 8, 9].

Based on the research of Paul Ekman's mention emotions that are discernible in any culture. It began as a basis to make a database of people who represent emotions through micro expressions of six basic emotions to be analyzed; the following figure shows the example that was taken to represent the emotions in people, figure 7



Fig. 7. Representation of Basic Emotions

Database of emotions is composed of 5 people, each person has for each basic emotion a sample of 10 images by a total of 60 images per person, finally Emotions Database consists of 300 images. Each level has different RGB image with a resolution of 1280x960 pixels in JPG format.

Figure 8 shows an example of a person representing the six basic emotions.



Fig. 8. Example of the Representation of the Basic Emotions

VII. Pre-processing of images

Based on the variety of images that is counted, there were computer vision techniques to minimize the noise margin attaching to the original image was done by first technique is known as clipping.

Trimming involves finding the area of interest in the image, and get rid of the parts that are not addressed. [13].

Standardization is to carry standard size dimensions of an image, without causing distortions in the image of importance. [13]

Figure 9 represents the cut and standardization to be applied to the original image:



Fig. 9. Trim and Standardization of images that represent the emotion

The size of the image once you get the cut and the normalization is to 92x112 pixels. Later the technique was applied to extract edges of vision known as Canny.

Canny algorithm is an operator developed by John F. Canny in 1986 using a multistage algorithm to detect a wide range of image edge. [14]

Figure 10 depicts the way you get to the final image which is co-mo would train the Artificial Neural Network.

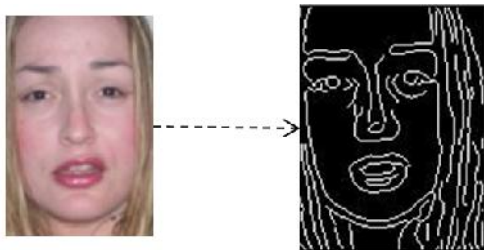


Fig. 10. Representation of pre-processing Canny.

VIII. Emotion recognition

Neural networks are pattern recognition techniques, therefore is one of the ways in which emotion is recognized in Addition to using vision techniques.

Neural networks allow the recognition through learning Mechanisms in which the information provided are the images Which Represent each of the six basic emotions and the union view is recognition given such techniques in a more satisfactory.

In this study, there were used two neural networks to obtain the active emotion to which the multi-agent system, social-emotional would find the emotion degree and the group the emotion belong to. Figure 11 depicts the network architecture that makes the recognition of the person, remembering that it has five pictures.

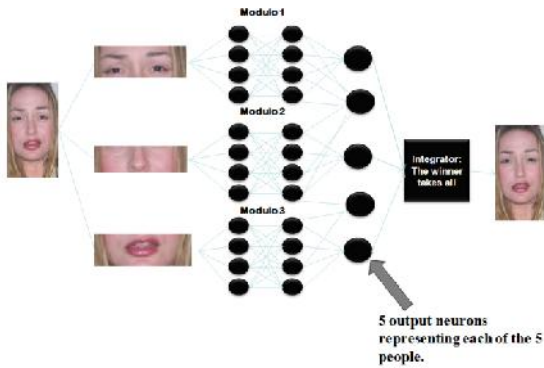


Fig. 11. Artificial Network Architecture Modular recognition of people

The network architecture for recognition of emotions is similar to the network analogy above only that this network has six neurons in output layer each neuron represents each of the sixth basic emotions.

IX. Preliminary results

The fact of applying psychology in the field of artificial intelligence, this research applied emotional intelligence to intelligent agents and neural networks, is that these tools give good results since emotions can have similar characteristics, makes possible to achieve better performance in any task and also makes collaborative work more favorable.

Empathic emotions in robots allow emotions to be understood by the robots and results in collaborative work of the Multi-Agent System Social-Emotional.

Tests results with artificial neural networks and also with the SMA-SoE are shown in Table 1:

Table 1 Results of training the neural network to recognize people

# of Runs	Methods	Epochs	Neurons	Time seconds	Percentage (%)	Recognizes
1	training	4000	16 / 23	00:39	50%	3 of 6
	training	4000	46 / 23	00:39		
	training	4000	16 / 23	00:22		
2	training	4000	46 / 23	00:22	85%	6 of 7
	training	4000	46 / 23	00:22		
	training	4000	16 / 23	00:22		
3	training	4000	16 / 23	00:29	71%	5 of 7
	training	4000	46 / 23	00:22		
	training	4000	46 / 23	00:22		
4	training	4000	16 / 23	00:27	100%	6 of 6
	training	4000	46 / 23	00:22		
	training	4000	16 / 23	00:23		
5	training	4000	46 / 23	00:22	50%	3 of 6
	training	4000	46 / 23	00:24		

It denotes the number 4 with a training recognition rate of 100 words to find the person that owns the image that is being recognized.

Once a person is found the next step is to find the emotion given the same image. The recognition of it is the second neural network module for emotion recognition. Table 2 shows the results of training

Table 2 Results of the training of Modular Artificial Neural Network for the recognition of emotion.

# of Runs	Methods	Epochs	Neurons	Time seconds	Activations	Emotions	
						Input	Network Output
1	training	4000	40 / 23	02:31	0.9950	2 -> DISGUST	2 -> DISGUST
	testing	4000	46 / 23	03:16	1		
	training	4000	40 / 23	03:12	0.9950		
2	training	4000	46 / 23	03:11	0.9750	5 -> SADNESS	2 -> ANGER
	testing	4000	46 / 23	03:14	0.9225		
	training	4000	46 / 23	03:16	0.7470		
3	training	4000	40 / 23	03:12	0.9998	1 -> JOY	1 -> JOY
	testing	4000	46 / 23	03:15	0.6367		
	training	4000	40 / 23	03:22	0.9981		
4	training	4000	46 / 23	03:27	0.9998	2 -> DISGUST	3 -> ANGER
	testing	4000	46 / 23	03:25	0.8112		
	training	4000	40 / 23	03:23	0.9296		
5	training	4000	46 / 23	03:27	1	4 -> FEAR	2 -> DISGUST
	testing	4000	46 / 23	03:24	0.9587		
	training	4000	40 / 23				

Conclusions

It is a fact that emotions affect performance for any specific task, for example when people report positive emotions like joy the performance of the work is done in a better way if the person shows any negative emotions like such anger. Therefore the groups perform similar emotions that provide a better performance allows the work is performed in a more satisfactory.

The recognition of basic emotions can find set of emotions with similar compatibilities thereby associating the workforce.

The emotions of the people are recognized regardless of the country they belong, which is why performing groups with similar emotions to perform a task is possible when people representing empathy between them.

References

- 1.- Cinthya Solano-Aragón, Arnulfo Alanis and Oscar Castillo, "A hybrid approach with fuzzy logic in a multi-agent system for controlling autonomous mobile robots in known environments", Int. J. Intelligent Engineering Informatics, 2010.
- 2.- Luz Mery Rios A. "Other Definitions of Agents", 1999.
- 3.- Norving P & Rusell S. "Artificial Intelligent a modern approach". Prentice Hay México, 1996
- 4.- Ramos, E. & Jimenez, S. "Intelligent Agents", 1996.
- 5.- Ekman, P. (1992a). "An argument for basic emotions. Cognition and Emotion", 6(3-4), 169-200.
- 6.- Goleman D., "Emotional Intelligence in bussiness". Javier Vergara Editor, Barcelona, 1999, p. 26.
- 7.- Ortony, A., & Turner, T. J. (1990). "What's basic about basic emotions?" Psychological Review, 97, 315-331.
- 8.- Gonzalez de Rivera, JL: "Ecpatía y empatía". Psiquis, 2004, 25:243-245.
- 9.- Gonzalez de Rivera, JL: "Emotional Crisis". Espasa-Calpe, Madrid, 2005
- 10.- Hellriegel, Slocum: "Organizational Behavior", p.58.
- 11.- Bellifemine Fabio, Caire Giovanni, Greenwood Dominic: "Developing multi-agent systems with JADE", la ter Wiley, 2007. p. 30.
- 12.- Petri Nets, "Marked graphs and circuit system theory Taoda Murata", Dep. Of Electrical Engineering and Computer Sciences University of Californy. Berkley. C.A.
- 13.- Kulkarni, Arun, "Computer Vision and Fuzzy-Neural Systems" Prentice Hall. P.47
- 14.- Canny, J., "A Computational Approach To Edge Detection", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8(6):679-698, 1986.

3.2 HERRAMIENTA QUE RECUPERA ERRORES EN ARCHIVOS GENERADOS POR EL COMANDO SPOOL DE SQLPLUS

M. en C. Bany Sabel Hernández, Abril Torres Tapia, Dra. Citlalih Yollohtli Alejandra
Gutiérrez Estrada, Jorge Antonio Hernández Ponce, Dr. Sergio Díaz Zagal.

Instituto Tecnológico de Toluca

banyshc@yahoo.com.mx, z23.octavarium@gmail.com, citlalihg@yahoo.com.mx,
aszx995@gmail.com, sergio_diazz@yahoo.fr

Resumen— En el ámbito computacional, existe gran cantidad de usuarios que enfrentan el problema de programar sistemas de software, donde pueden generarse diferentes tipos de errores. El usuario debe emplear herramientas que brinden garantía de trabajar de forma segura y sin errores.

SQL*Plus es una herramienta que ofrece Oracle para interactuar con bases de datos, a través de diferentes comandos, si desea guardar en un archivo plano lo que el usuario teclea, utiliza el comando SPOOL. Este proyecto brinda una herramienta que analiza de forma automática estos archivos, detecta errores y los recupera. Para la concepción de la herramienta se utiliza la teoría de programación de sistemas y el Ciclo de vida Incremental, definido por la Ingeniería de Software. Su impacto y las pruebas reflejan, que al hacer uso de esta herramienta, los desarrolladores de base de datos no invierten tiempo en una revisión manual para el reuso de sus archivos.

Palabras clave— Recuperación de errores, Spool, SQL*Plus, Análisis léxico, Análisis sintáctico.

Abstract- A lot of computer users around the world who face the task of programming software systems, where they may encounter many types of errors. Therefore, programmers must use tools that guarantee a safe and error-free operation.

SQL*Plus is a tool, provided by Oracle, that allows interaction with its' databases through a series of commands; for example, if the user wishes to save the work done in a flat file format, the SPOOL command must be used. After saving, the files can be reopened to edit information, where word or sentence errors may exist. It is a tool that automatically analyzes these output files, detects errors, and retrieves them for their correction. This was designed through the system programming theory and the incremental life cycle model, as defined by software engineering. Its' biggest advantage is that database developers do not have to carry out a manual verification to reuse their files.

Keywords – Error retrieval, Spool, SQL*Plus, Lexical analysis, Syntactic analysis.

I. Introducción

SQL (por sus siglas en inglés *Structured Query Language*) es una herramienta útil para la manipulación y control de bases de datos relacionales, se trata de un lenguaje declarativo de definición del estándar ANSI/ISO, basado en el desarrollo de programas que especifican un conjunto de condiciones, proposiciones, afirmaciones, restricciones, ecuaciones o transformaciones que describen el problema y detallan su solución. Su origen se remonta al año 1970 con el libro: "*Un modelo de datos relacional para grandes bancos de datos compartidos*", publicado por E. F. Codd, en el que se define las directrices de las bases de datos relacionales [1].

SQL*Plus es un programa de línea de comandos de Oracle que puede ejecutar comandos SQL y PL/SQL de forma interactiva o mediante un script. Para escribir sentencias SQL al servidor Oracle, se incorpora la herramienta SQL*Plus, cuya función consiste en que toda instrucción SQL que el usuario escriba, debe ser verificada por SQL*Plus. Si la instrucción es válida es enviada a Oracle, quien enviará de regreso la respuesta a la instrucción; respuesta que puede ser transformada por el programa SQL*Plus para modificar su salida.

Para que el programa SQL*Plus funcione en el cliente, el ordenador cliente debe haber sido configurado para acceder al servidor Oracle. En cualquier caso al acceder a Oracle con este programa siempre preguntará por el nombre de usuario y contraseña. Estos son datos los tiene que proporcionar el administrador (DBA) de la base de datos Oracle [1][4].

Existen varios comandos de SQL*PLUS, entre los que se encuentran los comandos de archivos y para la implementación de esta herramienta, se diseña un lenguaje de definición de datos (en inglés Data Definition Language, o DDL), es el que se encarga de la modificación de la estructura de los objetos de la base de datos. Incluye órdenes para modificar, borrar o definir las tablas en las que se almacenan los datos de la base de datos [1][3].

La detección de errores a nivel palabra se implementa por medio de un análisis léxico, que consiste en leer carácter por carácter del archivo generado por el comando SPOOL, formando palabras que correspondan a entidades primarias llamadas token, es decir transformando el archivo en unidades lexicográficas, posterior a esto se implementa un analizador sintáctico descendente no recursivo para comprobar que las sentencias del archivo son correctas en el lenguaje SQL DDL diseñado. Para corregir o eliminar los errores léxicos, se implementó la técnica a modo de pánico, desechando caracteres de la entrada hasta encontrar un carácter de sincronización para continuar y a nivel sintáctico se implementó la técnica a nivel de frase que consiste en analizar la frase del archivo, con la gramática diseñada para el lenguaje se sustituye la palabra correspondiente, en este caso se usa lenguaje SQL DDL o lenguaje de definición de datos.

El contar con una herramienta que detecte y recupere errores en un archivo generado por el comando SPOOL de SQL*plus, ayuda a que los programadores puedan reusar nuevamente los archivos con la seguridad de que el archivo está libre de errores léxicos y sintácticos disminuyendo el tiempo de una revisión manual.

Un archivo SPOOL almacena los resultados de una consulta en un archivo con la extensión .lst (o lo manda a la impresora).

Los comandos relacionados con el comando SPOOL son:

SPOOL <nombre_archivo>: Empieza a grabar, en el archivo indicado (si no se pone extensión, se añade .lst automáticamente), tanto lo que el usuario teclea como lo que el sistema responde. El nombre del archivo, <nombre_archivo> puede incluir un path absoluto (c:\sesion.lst o /home/scott/sesion.lst), un path relativo, o simplemente el nombre del archivo (sesion.lst). En este caso, el archivo se guarda en el directorio en donde se arranca por defecto SQL*Plus WorkSheet (en Windows NT) o en el directorio desde el que se llama al programa si se arranca desde una línea de comandos. Si el archivo <nombre_fichero> existe, se sobrescribe.

SPOOL OFF: Detiene la grabación y cierra el archivo en el que se estaba grabando.

SPOOL OUT: Detiene la grabación, cierra el archivo y lo manda a la impresora por defecto del sistema.

EXIT: Al salir de SQL*Plus se cierran los ficheros de spool [2].

Los archivos generados por el comando SPOOL de SQL*plus, creado por el programador contiene absolutamente todo lo que el usuario teclea como lo que el sistema responde, es decir, no hace diferencia entre las consultas que están bien o están mal, esto genera que cuando el usuario desea reusar nuevamente los archivos tiene que invertir tiempo al realizar una revisión manual. A este nivel se detecta un problema basado en los siguientes puntos:

- **A Nivel léxico:** existen palabras reservadas mal escritas, Números y Variables mal escritas.
- **A Nivel sintáctico:** se observa que muchas veces se efectúa la introducción incorrecta de las palabras reservadas, se omiten campos necesarios, se cambian letras de lugar y se agrega información innecesaria.

Por lo anterior, si el usuario requiere reusar nuevamente sus archivos, se invierte mayor tiempo al realizar la revisión manual y asegurar que los comandos estén correctos.

El objetivo general de este trabajo, se centra en proponer una herramienta que detecte y recupere errores en archivos planos generados por el comando SPOOL de SQL*plus, a través del diseño e implementación de un lenguaje de definición de datos DDL, generando como salida un archivo nuevo que contenga sentencias sin errores léxicos, ni sintácticos para su posterior manipulación de la información, contenida en dicho archivo.

La motivación principal para elegir este tema de investigación se fundamenta en que actualmente no se cuenta con alguna herramienta, paquete o aplicación, que permita detectar y recuperar los archivos SPOOL de forma automática.

Bajo esta perspectiva, nuestra propuesta de solución fue enfocada directamente al beneficio del programador. En virtud a que al tratarse de una herramienta para detectar y recuperar errores a los archivos de texto plano, generados a través del comando SPOOL, con sentencias SQL de tipo DDL; el usuario podrá nuevamente reusar los archivos libres de errores léxicos y sintácticos disminuyendo el tiempo de revisión manual.

Este trabajo de investigación se centra en el Ciclo de Vida Incremental, que de acuerdo a las características que cumple, permite reducir considerablemente el riesgo de fracaso, sea por no adaptarse correctamente a las necesidades reales o por desempeñarse de forma inadecuada. Para realizar este trabajo se contó con una variedad de herramientas y se trabajó bajo el esquema de gestión de proyectos ágiles, haciendo uso de las metodologías Scrum y Kanban.

En la siguiente sección de este artículo se presenta el Estado del Arte (productos encontrados más importantes y que son similares a este trabajo); la metodología propuesta; la descripción de las pruebas y los resultados obtenidos al aplicar la metodología; se finaliza con las conclusiones, las recomendaciones y las referencias.

Trabajos similares

En la Tabla 1. Se hace un breve resumen de los trabajos o productos que cumplen con algunas características similares al tema *“Herramienta que recupera errores en archivos generados por el comando SPOOL de SQLPLUS”*. Cabe destacar que existen otros productos y trabajos con características similares; no obstante sólo se seleccionaron algunos que cumplen con el alcance del trabajo aquí expuesto.

Autor	Nombre de artículo	Resumen	Comentario con respecto al trabajo
Vanegas, Carlos Alberto	compilador y traductor de pseudocódigo para la lógica de programación (compilación)	compilación es una herramienta que se diseñó como recurso didáctico para la enseñanza de la lógica de programación.	Realiza un análisis léxico y sintáctico e informa al usuario de algún error, y una vez que el pseudocódigo esté libre de errores realiza la traducción.
Vanegas, Carlos Alberto	Compiladores: un enfoque	Este artículo se describe un enfoque sencillo sobre compiladores, definiendo la estructura de un	Expresa el funcionamiento del analizador lexicográfico y la función del análisis sintáctico.

		compilador, donde se explican las fases de análisis y síntesis y cada una de las partes que componen dichas fases	
Koldo Gojenola, Kepa Sarasola	Aplicaciones de la relajación gradual de restricciones para la detección y corrección de errores sintácticos.	En este trabajo se generaliza la técnica de relajación para su aplicación a un mayor número de errores y a lenguas con una concordancia rica entre constituyentes. Se proponen criterios para el diagnóstico y corrección de esos errores mediante la relajación gradual de restricciones gramaticales, la implementación realizada según estos criterios mejora la eficiencia del corrector sintáctico.	Realiza un análisis léxico y sintáctico e Utiliza una técnica diferente para corrección de errores en PLN que la propuesta en el trabajo
Miguel A. Molinero	Construcción y extensión de un léxico morfológico y sintáctico para el español: el Leffe	Un léxico con información morfológica y sintáctica de amplia cobertura puede ser construido de forma eficiente reutilizando otros recursos existentes y mejorado usando técnicas semiautomáticas para detectar y corregir sus errores.	Realiza un análisis léxico y sintáctico e Utiliza una técnica diferente para corrección de errores en PLN que la propuesta en el trabajo
Juan C. Vázquez	Detección de errores sintácticos bajo el algoritmo de Earley	Es un proyecto para revisar en particular el algoritmo de análisis sintáctico desarrollado por Jay Earley a principios de 1970 y determinar su aplicabilidad efectiva en el desarrollo de un compilador propio, sobre todo en lo referido a la especificidad con que pueden ser detectados e informados los errores.	Realiza un análisis léxico y sintáctico con un lenguaje propuesto y usa técnica diferente para la detección de errores que la propuesta en el trabajo
Claudio Saavedra	Implementación de una metodología para el diagnóstico y reparación automática de	Bison es un generador de analizadores sintácticos que genera, entre otros, analizadores LALR en el lenguaje C. El manejo de	Utiliza modo de pánico para recuperar errores tanto léxica como sintácticamente.

	errores en el generador de analizadores sintácticos GNU Bison	errores sintácticos en los analizadores generados por Bison sólo pueden recuperarse en modo de pánico, Además, para poder obtener un diagnóstico de errores apropiado, los usuarios Necesitan ensuciar las gramáticas de entrada con producciones de error especiales y, aun así, la corrección automática de errores no es posible.	
Arboleda, Orlando	Definición del lenguaje de programación eploam para la ejecución de pseudocódigo y su compilador	En el presente artículo se presenta un nuevo lenguaje de programación imperativo y estructurado, con estructuras similares a las de pseudocódigo, se describe su compilador y posterior traductor a programas equivalentes en Java, y se hace referencia a una herramienta adicional que permitirá automatizar el proceso de compilación, traducción y posterior ejecución de los algoritmos escritos.	Utiliza modo de pánico para recuperar errores tanto léxica como sintácticamente.
Aho, Alfred V	Compiladores principios, técnicas y herramientas	Describe modelos, la teoría y los algoritmos para desarrollar un compilador	Establece objetivos a tomar en cuenta en un manejador de errores léxicos y sintácticos. Y Describe estrategias de recuperación de errores: modo de pánico, a modo de frase, producción de errores, corrección global
Pérez Iván	Lenguajes y Compiladores	Describe modelos, la teoría y los algoritmos para desarrollar un compilador	Establece objetivos a tomar en cuenta en un manejador de errores léxicos y sintácticos. Y Describe estrategias de recuperación de errores: modo de pánico, a modo de frase, producción de errores, corrección global

Tabla 1. Relación de trabajos similares

La información concebida de cada trabajo estudiado en la Tabla 1, permitió formalizar y fundamentar la propuesta descrita en este documento, una vez obtenido un archivo plano generado por el comando SPOOL se genera un producto, que cubre los siguientes aspectos:

Realiza un análisis léxico, que consiste en analizar el archivo fuente separándolo en palabras y establecer sus componentes léxicos, para la recuperación de errores se implementa la técnica a modo de pánico.

Realiza un análisis sintáctico predictivo no recursivo. Que consiste en analizar el archivo fuente a nivel sentencia y recuperar errores implementando la técnica a nivel de frase.

II Descripción del Método

La metodología que sirvió de base para el proyecto " *Herramienta que recupera errores en archivos generados por el comando SPOOL de SQLPLUS*", fue desarrollada para usuarios de base de datos, y puedan reusar archivos generados para su posterior manipulación de la información contenida en dicho archivo, evitando así la revisión manual.

La aplicación fue realizada siguiendo una serie de Etapas, que inician con el Modelo en Cascada. Las Tablas 2 y 3, sintetizan las Etapas de Análisis y Diseño respectivamente.

Búsqueda de Información.	Inicia con la búsqueda de información de base de datos, diseño de lenguajes, técnicas de recuperación de errores, análisis léxico, análisis sintáctico, lenguajes de programación
Definición de Requerimientos	Se define una lista de requerimientos a nivel léxico como a nivel sintáctico.
Selección del software a utilizar	El lenguaje de programación seleccionado fue Java, en virtud a que es posible implementar código y se definió a NetBeans 8.0 como la IDE de desarrollo.

Tabla 2. Etapa de Análisis.

Diseño y Modelado de Requerimientos	Se inició con el modelado del sistema, realizando diagramas definiendo los requerimientos de los archivos de entrada y de salida en las etapas de análisis léxico y sintáctico.
Modelado de la estructura del sistema	Se identificaron tres incrementos, necesarios para el desarrollo y la arquitectura del sistema.
Propuesta Gráfica	Se mostró la propuesta al usuario.

Tabla 3. Etapa de Diseño.

Las etapas de Desarrollo, Implementación y Pruebas, fueron realizadas siguiendo el modelo incremental-evolutivo, con la finalidad de definir un desarrollo modular (por incrementos) del sistema, mostrar versiones funcionales y operables al usuario, al final de cada incremento. En total se definieron 3 incrementos, ver tablas 4,5,y 6. En el primer incremento, se consideró el más importante ya que en este incremento se diseñó el lenguaje de definición de datos DDL. El segundo incremento se centró principalmente en la implementación del análisis léxico y la recuperación de errores y por último, en el tercer incremento se implementó el análisis sintáctico y la recuperación de errores.

Diseño del lenguaje que incluye :

- Definir las palabras reservadas del lenguaje
- Las reglas de las palabras no reservadas del lenguaje

<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de la gramática libre de contexto, sin ambigüedades
--

Tabla 4. Primer Incremento.

Diseño del analizador léxico y recuperación de errores
Implementación del analizador léxico y recuperación de errores: <ul style="list-style-type: none"> • La tabla de palabras reservadas y no reservadas (autómatas) con número de token • La tabla de símbolos generada a partir del diseño de la gramática
Pruebas y resultados

Tabla 5. Segundo Incremento.

Diseño del analizador sintáctico y recuperación de errores
Implementación del analizador sintáctico y recuperación de errores <ul style="list-style-type: none"> • La tabla predictiva generada a partir de la gramática • Las producciones de la gramática • La tabla de salida del analizador léxico • Pila donde se realiza el análisis sintáctico
Pruebas y resultados

Tabla 6. Tercer Incremento.

**Primer Incremento:
Diseño del lenguaje de definición de datos.**

En la tabla 7, se muestra las palabras definidas del lenguaje con número de token.

No	Token	No	Token	No	Token
0	Alter	6	Modify	12	(
1	Create	7	Column	13)
2	Drop	8	To	14	;
3	Table	9	Varchar	15	,
4	Rename	10	Number	16	Identifier
5	Add	11	Date	17	Numero

Tabla 7. Palabras definidas por el lenguaje

Se diseñaron dos autómatas finitos deterministas de palabras no reservadas que forman parte del lenguaje. En la tabla 8, se muestra el diseño del autómata de números y de identificadores.

Autómata de identificadores (LD)	Autómata de números (-.D)
----------------------------------	---------------------------

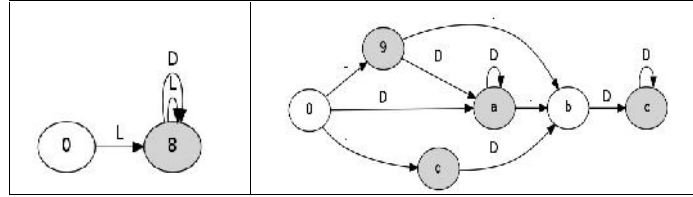


Tabla 8. Autómatas de identificadores y de números

Posterior se diseñó la Gramática libre de contexto, SQL-DDL eliminando recursión y factorización. Se muestra en la tabla 9.

Gramática sin recursión y factorización
1 <inicio1>---> create <create> <inicio2>
2 <inicio1>---> alter <alter> <inicio2>
3 <inicio1>---> drop <drop> <inicio2>
4 <inicio2>---> create <create> <inicio2>
5 <inicio2>---> alter <alter> <inicio2>
6 <inicio2>---> drop <drop> <inicio2>
7 <inicio2>---> ;
8 <create>---> table identifier (identifier <tipo_dato> <statements>
9 <statements>--->)
10 <statements>---> , identifier <tipo_dato> <statements3>
11 <statements3>---> , identifier <tipo_dato> <statements3>
12 <statements3>---> vacio
13 <tipo_dato>---> varchar(numero)
14 <tipo_dato>---> number(numero)
15 <tipo_dato>---> date
16 <alter>---> table identifier <alter2>
17 <alter2>---> add identifier <tipo_dato> <statements2>
18 <alter2>---> modify (identifier <tipo_dato> <statements>
19 <alter2>---> drop column identifier
20 <alter2>---> rename <alter3>
21 <alter3>---> column identifier to identifier
22 <alter3>---> to identifier
23 <statements2>---> vacio
24 <statements2>---> , identifier <tipo_dato> <statements2>
25 <drop>---> table identifier <identifiers>
26 <identifiers>---> vacio
27 <identifiers>---> , identifier <identifiers>;

Tabla 9. Diseño de la gramática

Segundo Incremento:

Diseño del analizador léxico y recuperación de errores.

Para el diseño se toma como entrada el archivo que se genera con el comando SPOOL, se separan las palabras que forman el archivo y es analizada cada palabra para tener como salida la tabla de símbolos. Esto se muestra en el diagrama 1.

Esquema general del análisis léxico

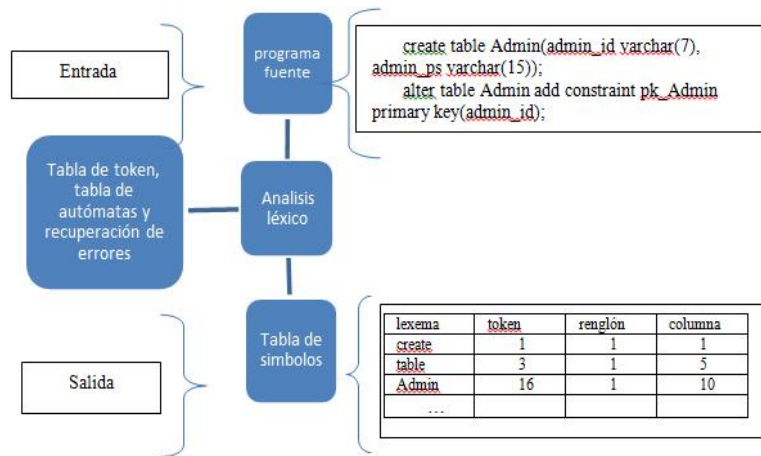


Diagrama 1. Diseño general del análisis léxico

Implementación del analizador léxico y recuperación de errores

Para la implementación se genera una tabla de los autómatas diseñados en el primer incremento con sus salidas como token, (tabla 10).

	Letra	Dígito.	-	Token
0	1	3	4 2	
1	1	1		16
2			5	
3		3	5	17
4		6		
5		6		
6		6		17

Tabla 10. Tabla de Autómatas

Se separan las palabras del archivo fuente, tomando en cuenta los separadores (, ; espacios en blanco ()).

Las palabras son analizadas una a una, visitando primero la tabla 7 , que es la tabla de palabras reservadas y si en esta tabla no existe la palabra es analizada en la tabla 5, que es la tabla de autómatas y es cuando se detecta un error y se recupera lexicalmente.

Para la recuperación de errores, por ejemplo en la palabra nombr\$\$e, se desechan las entradas no válidas y queda la palabra nombre con el token 17, usando modo pánico se procede sigue:

Estado del autómata	Entrada	
0	nombr\$\$e	[0,letra]
1	ombr\$\$e	[0,letra]
1	mbr\$\$e	[0,letra]
1	br\$\$e	[0,letra]
1	r\$\$e	[0,letra]
1	\$\$e	[0,\$] No existe transición en la tabla de autómatas, por lo que se desecha la entrada
1	Se	[0,\$] No existe transición en la tabla de autómatas por lo que se desecha la entrada
1	e	
1	vacio	Estado de aceptación y sale con el token 16 de <u>identifer</u>

Pruebas y resultados

Se realizaron las pruebas del análisis léxico y se recuperan el 100% de los errores léxicos.

Tercer Incremento: Análisis del analizador sintáctico y recuperación de errores

En el diagrama 2, se muestra el diseño general del análisis sintáctico predictivo no recursivo, donde se recibe como entrada, la salida del léxico (tabla de símbolos). EL diseño muestra que se necesita una pila donde se analiza la entrada, se visita la tabla predictiva (tabla 11) y se vacía a la pila una producción de la gramática.

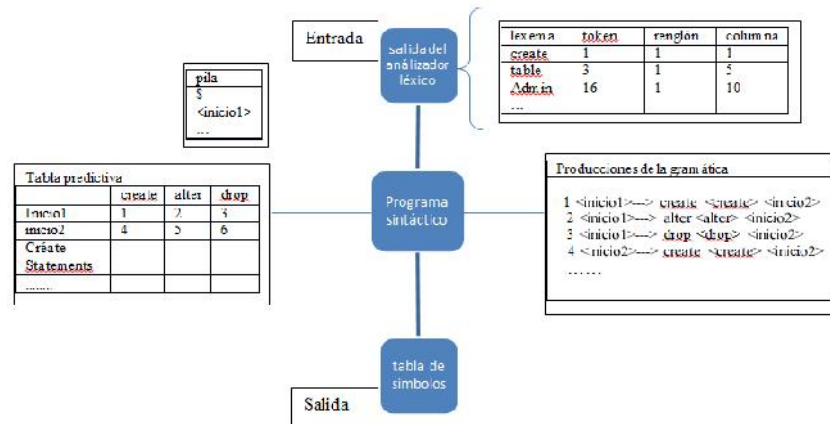


Diagrama 2. Diseño del análisis sintáctico

Implementación del analizador sintáctico y la recuperación de errores.

El analizador sintáctico se implementó a través de un analizador descendente predictivo, que usa una pila donde se vacía la producción correspondiente de la gramática en sentido contrario, la tabla de salida del análisis léxico y la tabla predictiva. Se tienen tres posibilidades:

- 1.- Si en la pila hay \$ y en la entrada hay \$, es un estado de aceptación
 - 2.- Si la pila y la entrada son diferentes ir a la tabla predictiva y vaciar el número de producción de la gramática en sentido contrario. Si no existe transición insertar un elemento en la entrada.
 - 3.- Si la pila y la entrada son iguales sacar un elemento de la entrada y de la pila
- En la tabla 11 se muestra la tabla predictiva generada por la gramática.

Tabla 11. Tabla predictiva

	Cré ate	alte r	dro p	tabl e	)	,	var cha r	nu mb er	dat e	add	mo difi y	renar	Colu mn	to	;
Inicio1	1	2	3												
inicio2	4	5	6												7
Créate				8											
Statem ents					9	10									
Statem ents3					12	11									
Tipo de dato							13	14	15						
Alter				16											
Alter2			19							17	18	20			
Alter3													21	2 2	
Statem ents2	23	23	23			24									23
Drop				25											
Identifie rs	26	26	26			27									26

Para la recuperación de errores se implementó el método a nivel frase el cual consiste en analizar la frase del archivo, con la gramática diseñada para el lenguaje y se sustituye la palabra correspondiente.

Por ejemplo la sentencia.

create nombre (direccion varchar 15));

Al pasar por el analizador léxico.

create identifier (identifier varchar numero));

Al pasar por el analizador sintáctico y recuperando el error:

create identifier table (identifier varchar numero));

Pila	Entrada que es salida del léxico	
\$<Inicio1>	create identifier (direccion varchar numero));\$	[inicio, créate] Se vacía la producción 1, en sentido contrario a la pila
\$<inicio2><create> create	create identifier (direccion varchar numero));\$	Se elimina créate de la pila y la entrada
\$<inicio2><create>	identifier (direccion varchar numero));\$	[crate,identifier] no existe transición entonces se inserta table en la entrada y se continua el proceso
\$<inicio2> <statements><tipo_dato> identifier (identifier table	table identifier (direccion varchar numero));\$	Se elimina table de la pila y la entrada

\$<inicio2> <statements><tipo_dato> identifier (direction varchar numero));\$	identifier (direction varchar numero));\$	Se elimina identifier de la pila y la entrada
\$<inicio2> <statements><tipo_dato> identifier ((direction varchar numero)); \$	Se elimina (de la pila y la entrada
\$<inicio2> <statements><tipo_dato> identifier	identifier varchar numero)); \$	Se elimina identifier de la pila y la entrada
\$<inicio2> <statements><tipo_dato>	varchar numero)); \$	[tipo de dato, varchar] Se vacía la producción 13 a la pila
\$ <inicio2> <statements> numero (varchar	Varchar numero)); \$	Se elimina varchar de la pila y la entrada
\$<inicio2> <statements> numero	numero)); \$	Se elimina numero de la pila y la entrada
\$<inicio2> <statements>)	)); \$	Se elimina) de la pila y la entrada
\$<inicio2> <statements>	); \$	[statements,] Se vacía la producción 9 a la pila
\$<inicio2>)	); \$	Se elimina) de la pila y la entrada
\$<inicio2>	; \$	[inicio2,] Se vacía la producción 7 a la pila
\$;	;\$	Se elimina) de la pila y la entrada
\$	\$	Edo de aceptación

Pruebas y resultados

Se realizaron las pruebas al analizador sintáctico, y los resultados muestran un grado de recuperación del 95% debido a que cuando en la pila existe un elemento no terminal y en la entrada un elemento terminal, por ejemplo [Statements, table] existen 2 opciones de recuperar el error, insertar un paréntesis cerrado o una coma y la herramienta inserta el elemento que se encuentra más a la derecha.

III Comentarios Finales

La aplicación se instaló en una computadora Dell Inspiron 1545 con arquitectura de 32 bits y con un sistema operativo Debian, más específicamente Kali GNU/Linux 1.0.9, siendo este un sistema de base (no virtualizado) y con un disco duro de 300GB y una memoria RAM de 3GB.

La aplicación tomó de 33.8 a 41.2 segundos en llevar a cabo los análisis en un sistema operativo base

La aplicación no tiene el mismo tiempo de ejecución en un sistema operativo nativo, a un sistema operativo virtual, debido a que los recursos no son los mismos, en la máquina virtual son menores y por lo tanto, limitados, no obstante, a pesar de la diferencia de recursos en ambos entornos, la aplicación funciona, es decir, corrige y recupera los errores satisfactoriamente en ambos entornos: nativo y virtual.

Se concluye que la aplicación es apta para ser instalada tanto en sistemas operativos Debian y Fedora con la confianza de que la misma tendrá el mismo rendimiento y los resultados que arroje serán siempre correctos y los esperados tanto como para el desarrollador como para el usuario final.

Entre los trabajos futuros concebidos hemos definido: Se espera ampliar la aplicación al manejo de manipulación de datos DML e implementar otro tipo de métodos para recuperar errores y montarla en un sitio web para que pueda ser usada.

IV fuentes consultadas

- [1] Jorge Sánchez año 2004 “Manual de SQL para Oracle 9i Manual de referencia”, 2004.
- [2] Jesús Vegas. (1998) “Introducción a SQL”, Universidad de Valladolid,
<http://www.infor.uva.es/~jvegas/cursos/bd/sqlplus/sqlplus.html>
- [3] Expertos en Servicios de Consultoría Exes, S.L. “Manual de iniciación a Oracle”,
<http://www.mundoracle.com/creditos.html?Pg=creditos.htm>
<http://www.jorgesanchez.net/bd/oracleSQL.pdf>
- [4] Jérôme Gabillaud “Oracle 12c SQL, SQL*PLUS, PL/SQL”, Eni, 2015
- [5] Kreactiva Editorial. “Programación: Fundamentos y Lenguajes de Programación”
<https://books.google.com.mx/books?id=n45jCAAQBAJ&pg=PA106&lpg=PA106&dq=false>
- [6] Dean Kelley “Teoría de autómatas y Lenguajes Formales”, Prentice Hall, 2013
- [7] Dick Grune, Henri E. Bal, Criel J. H. Jacobs y Koen G. Langendoen, “Diseño de compiladores modernos”, Mc, Graw Hill. 2007
- [8] Alfred V. Aho, Ravi Sethi, Jeffrey D. Ullman. “Compiladores principios, Técnicas y herramientas”, Prentice Hall México, 2008.
- [9] Mas Camacho, María Rosa y Febles Rodríguez, Juan Pedro, “Experiencias de la aplicación de la ingeniería de software en sistemas de gestión,” Revista Cubana de Informática Médica, recuperado de:
www.cecama.sld.cu/pages/rcim/revista_1/articulos_pdf/r0100a01.pdf.
- [10] Álvarez, Juana, “Ingeniería de Software,” Jul. 2007, recuperado de :
<http://www.educando.edu.do/educanblog/index.php?blogId=435>.
- [11] José Luis Cendejas Valdéz, “Modelo de desarrollo de software Integral Colaborativo”, Mayo 2014, recuperado de
<http://www.eumed.net/tesis-doctorales/2014/jlcv/software.htm>
- [12] Carlos Alberto Vanegas, “Compiladores: un enfoque”, Vol. 1, Núm. 2 (2005), revista ciencia tecnología y sociedad: un enlace hacia el futuro, recuperado de
<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/vinculos/article/view/4073/0>
- [13] Orlando Arboleda, “Definición del lenguaje de programación eploam para la ejecución de pseudocódigo y su compilador” revista Scientia et Technica Año XVI, No 48, Agosto de 2011. Universidad Tecnológica de Pereira.
<http://www.redalyc.org/pdf/849/84922622021.pdf>
- [14] Miguel A. Molinero, Benoît Sagot y Lionel Nicolas, “Construcción y extensión de un léxico morfológico y sintáctico para el español: el Leffe *”, 2009, revista Procesamiento del Lenguaje Natural (edición electrónica). ISSN: 1989-7553. 2.
<http://www.grupolys.org/biblioteca/MolSagNic2009c.pdf>
- [15] Claudio Saavedra, “Implementación de una metodología para el diagnóstico y reparación automática de errores en el generador de analizadores sintácticos GNU Bison”, 2008,
<https://people.gnome.org/~csaavedra/documents/memoria/memoria.pdf>
- [16] Koldo Gojenola, Kepa Sarasola, “Aplicaciones de la relajación gradual de restricciones para la detección y corrección de errores sintácticos”, Journal Procesamiento del Lenguaje Natural, 1994.
<http://journal.sepln.org/sepln/ojs/ojs/index.php/pln/article/viewFile/3921/2321>
- [17] Juan C. Vázquez, “Detección de errores sintácticos bajo el algoritmo de Earley”, abril 2015
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/45309/Documento_completo.pdf?sequence=1

3.3 PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE COMPONENTES PARA EL ENSAMBLADO DE UNA COMPUTADORA DE ALTO RENDIMIENTO.

Carlos Bermejo Sabbagh, Nora Leticia Cuevas Cuevas, Larissa Jeanette Peniche Ruiz, Mario Renán Moreno Sabido, Karime Alejandra López Puerto.
Departamento de Sistemas y Computación, Instituto Tecnológico de Mérida, Avenida Tecnológico S/N, C.P 97118, Mérida, Yucatán, México.
cbermejo@itmerida.mx, ncuevas_cuevas@hotmail.com, Larissa.peniche@itmerida.mx, xacdc12@gmail.com, k.lopez31@hotmail.com.

RESUMEN

Este trabajo propone una metodología para la selección de componentes para ensamblar una computadora de alto rendimiento, basada en la tarea a desarrollar y el entorno de operación. Se busca el equilibrio entre el costo y el rendimiento de los diferentes componentes de una manera implícita durante el proceso.

Palabras clave: metodología, selección de componentes, ensamblado de computadora.

ABSTRACT

This paper proposes a methodology for the selection of components to assemble a high-performance computer based on the task to develop and the operating environment. A balance between cost and performance of the different components is sought in an implicit manner during the process.

Key words: methodology, component selection, assembly computer.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la cantidad de tareas que requieren el uso de una computadora, es extremadamente amplia y para un gran porcentaje de ellas, la selección del equipo que se utilizará está en función del gusto del usuario y del costo, influyendo muchas de las veces, apreciaciones subjetivas sobre el mismo. Pero por lo general estas tareas son satisfechas por el equipo seleccionado en virtud de la generalidad de la aplicación que no demanda un gran poder de cómputo. Sin embargo, un porcentaje de estas tareas requiere de integrar componentes con características específicas, ya sea por causa de la complejidad de la tarea y/o por el entorno donde se realiza. Esto conlleva el tener que seleccionar dichos componentes entre una diversidad de opciones y es de gran ayuda el poder apoyarse en una metodología que oriente dicho proceso [1] [2].

1.1 Planteamiento del Problema

Si bien la arquitectura de computadoras cambia muy lentamente, la velocidad en los cambios de la organización de la misma es vertiginosa, y con esto nos referimos a las implementaciones hardware de conceptos relativamente antiguos con tecnologías nuevas o nuevos enfoques, según las características del entorno donde se utiliza el equipo. Es fundamental una comprensión de estas implementaciones hardware y sus entornos de aplicación, pues con percepciones erróneas de los mismos, podemos gastar mucho dinero en equipos de buena calidad, pero que se comportarán de

una manera mediocre para la aplicación requerida. Lo anterior, teniendo presente que el cambio de la tecnología es sumamente rápido, estándares o especificaciones novedosas hoy, pueden ser obsoletas mañana [3].

1.2 Objetivo

Proponer una metodología que permita de una manera lógica y razonada, la selección de los componentes de un equipo de cómputo de alto rendimiento,

2. DESARROLLO. En general se puede encontrar en internet y en libros, tutoriales para el ensamblado de computadoras, que si bien son una buena guía para el ensamblado de una computadora, obvian un proceso general y nos presentan una serie de pasos para la selección de componentes y el ensamble. Quizá no se aprecie la necesidad de darle una estructura más formal, quizá es la costumbre de décadas de ensamblar en base al conocimiento y experiencia del que ensambla, pero consideramos que será de utilidad una metodología general para dicho proceso. Para esto se propone una metodología para la selección de los componentes que integrarán una computadora de alto rendimiento, buscando siempre que es posible, un equilibrio entre las prestaciones y el costo del equipo. Esta metodología es secuencial y consta de dos etapas claramente diferenciadas:

- 1.- Tipificar la función del equipo y el entorno donde se utilizará, esto conformará los “requerimientos del usuario”, implicando estos, la selección del Software.
- 2.- La selección propiamente dicha del hardware que se necesitará.

2.1 En cuanto a los requerimientos de usuario

Es fundamental el análisis de la función que el equipo va a cumplir, y las características del sitio donde estará el equipo por lo que se determina:

- 1.- La aplicación fundamental que tendrá el equipo.
- 2.- El Software que mejor cumple esta función.
- 3.- El Sistema Operativo y los programas complementarios para el correcto funcionamiento del equipo.
- 4.- Los programas adicionales que correrán en dicho equipo.
- 5.- El entorno físico donde estará el equipo (temperatura, polvo, instalación eléctrica, comunicaciones, etc.)

Dicho proceso se ilustra en el diagrama de la figura 1

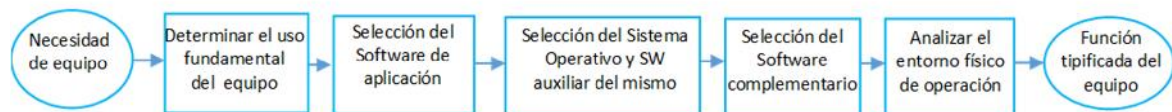


Figura 1. Diagrama que sintetiza la metodología propuesta en la tipificación de la función del equipo (elaboración propia 2016).

Con respecto al primer punto: la aplicación fundamental del equipo, aunque obvio, vale la pena resaltar que es la directriz que nos permitirá definir los siguientes tres puntos, y la mayor parte del hardware del equipo. En este punto no basta con saber para qué se va a usar el equipo, sino también determinar el grado de compatibilidad de sus archivos con otros sistemas, en función de la empresa donde se esté o de los proveedores o clientes de la misma. Lo que nos lleva a tomar decisiones de compromiso. Ejemplo de lo anterior puede ser el uso de software libre como GIMP^R o de software propietario como Photoshop^R en los ambientes de edición de fotografía.

El tercer punto está íntimamente asociado al segundo y al entorno de trabajo, pues dependiendo del software de aplicación seleccionado, se nos presenta al menos tres posibilidades de sistema operativo: OS de Macintosh^R, Windows de Microsoft^R y alguna de las distribuciones de Linux. En este rubro, es de vital importancia consultar a fondo la información del fabricante del software de aplicación seleccionado, para verificar que está certificado el funcionamiento de dicho software en la versión del sistema operativo que se desea utilizar. Esto en virtud de que, para los softwares altamente especializados, su correcta ejecución suele estar certificada para algunas de las versiones de sistema operativo de un fabricante, ejemplo de lo anterior lo encontramos en ciertos programas como los de ANSYS^R para Windows en su versión académica, certificados para la versión profesional y Enterprise 7 (64 bits) y 8.1 (64 bits) del mismo y que a más de un año de la liberación de la versión 10 de Windows, no garantizan el soporte para la misma.[4]

Una vez seleccionados el Software de aplicación y el sistema operativo, se selecciona el software auxiliar del mismo, ejemplos de los cuales son: El antivirus, software de compresión de archivos, navegador en caso de requerirse alguno específico, convertidores de formato de archivo, etc.

El cuarto punto pide definir los software complementarios que correrá el equipo y que pueden ser muy pocos en el caso de empresas con políticas restrictivas sobre el software instalado en sus equipos, hasta una gran variedad como se ve en los equipos de uso particular, ejemplo de estos son: editores de video, editores de texto, hojas de cálculo, programas para presentaciones, video conferencias, redes sociales, etc.

Por último, es importante conocer el entorno físico donde estará el equipo, pues podría necesitar conexión inalámbrica de internet, o tenerse restricciones de espacio que definan un tipo de gabinete. La temperatura del lugar podría tener requerimientos adicionales de enfriamiento en el equipo; la presencia de contaminantes o humedad también influyen en la selección de los componentes del mismo.

De los cinco puntos anteriores se obtiene como resultado la tipificación de la función del equipo de cómputo a ensamblar o requerimientos del usuario, y que evidentemente está integrada tanto por la parte percibida por dicho usuario, como por la parte no necesariamente percibida en forma directa por el mismo, y que se obtiene del análisis combinado de los cinco puntos.

2.2 En cuanto al hardware

Una vez determinados los requerimientos de software y el entorno físico, se procede a determinar los requerimientos de hardware, recomendándose la secuencia presentada en el diagrama de la figura 2.

Siguiendo la secuencia del diagrama, el primer elemento a escoger es el microprocesador. Un parámetro importante a considerar son las recomendaciones del fabricante del software de aplicación en cuanto a características de dicho microprocesador. Cabe destacar que, por regla general, se busca un equilibrio entre las prestaciones y el costo, pues un procesador insignia (el

modelo más novedoso de una familia de procesadores) de alguna de las compañías fabricantes, ofrece para la mayoría de los escenarios, poco aumento en rendimiento con respecto a los modelos inmediatos inferiores pero con un costo por lo general mucho mayor. Aquí es recomendable consultar páginas de evaluadores de hardware independientes que comparan productos de diferentes compañías y el rendimiento en diferentes configuraciones. Es importante señalar que esto es solo una buena referencia, pero que nuestro criterio y de ser posible, la evaluación del hardware con la aplicación concreta de nuestro interés, son los mejores parámetros para tomar una buena decisión [5].

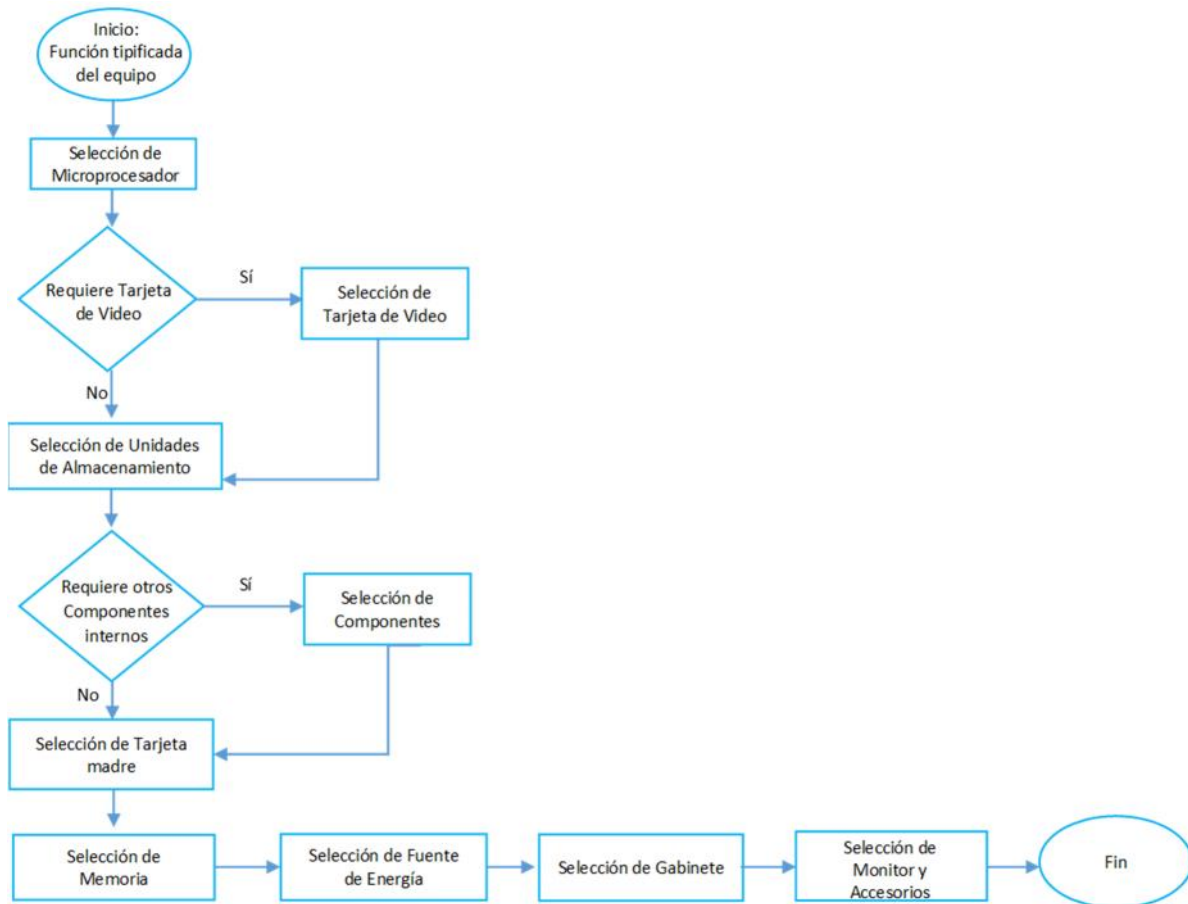


Figura 2. Diagrama que sintetiza la metodología propuesta en la selección de componentes (elaboración propia 2016).

Como siguiente punto, está la toma de decisión entre utilizar video integrado a la tarjeta madre o utilizar una tarjeta de video. La importancia de esta decisión radica en que, en programas como algunos juegos o aplicaciones de simulación en ingeniería con gran cantidad de cálculos matemáticos, éstos se ejecutan mejor en función de la tarjeta de video y en algunos casos de tarjetas coprocesadoras, que en función del microprocesador. En estas situaciones pudiera tenerse un procesador de gama alta no muy sofisticado y más económico, pero seleccionando una o más tarjetas de video de gama alta, ya que muchos programas hacen uso de los múltiples núcleos (a veces más de 1000 núcleos básicos de procesamiento), para cálculos de la física en las animaciones

o los núcleos de tarjetas coprocesadoras para cálculos vectoriales en las simulaciones utilizadas en ingeniería (por ejemplo la tarjeta Xeón Phi 7250 de Intel con 68 núcleos complejos).

En la tabla I se aprecia un comparativo entre el procesador Core i5 de gama media alta y un Core i7 de gama alta resaltándose la mejora, a frecuencia de reloj de fábrica y con overclock al procesador, ejecutando diferentes juegos con una tarjeta de gráficos GeForce GTX TITAN X que cuenta con 3,072 núcleos CUDA [6] [7].

Tabla I

1920x1080/Titan X OC (Avg FPS)	Core i7 6700K	Core i5 6600K	% mejora stock	Core i7 6700K (4,6 GHz)	Core i5 6600K (4,5 GHz)	% mejora OC
The Witcher 3, Ultra, HairWorks Off, Custom AA	99.8	95.7	4.0%	100.8	98.2	3%
Assassin's Creed Unity, Ultra High, FXAA	87.1	86.8	0.003%	87.3	87.2	0.001%
Battlefield 4, Ultra, 4x MSAA	130.2	127.8	0.02%	131.4	130.6	0.006%
Crysis 3, Very High, SMAA	119.5	109.4	10.0%	121.9	117.0	4%
COD Advanced Warfare, Extra, FSMAA	203.6	192.0	6.0%	205.4	203.7	0.008%
Grand Theft Auto 5, Ultra, no MSAA	81.7	70.2	16.0%	88.7	80.6	10%
Far Cry 4, Ultra, SMAA	115.4	89.9	28.0%	121.5	115.4	5%
Shadow of Mordor, Ultra, High Textures, FXAA	137.3	132.7	3.0%	138.5	138.7	0%
Ryse: Son of Rome, High, SMAA	116.1	112.9	3.0%	116.5	116.1	0.003%

Tabla I: Comparativo del rendimiento en juegos entre el i7 6700K y i 5 6600K. (profesional review.com)

Como se aprecia en los resultados, hay juegos que no se benefician prácticamente en nada por un procesador más poderoso, como es el caso de Assassin's Creed Unity o Battlefield 4, y solo en dos la diferencia puede ser significativa, GrandTheft Auto5 y Crysis 3, reduciéndose esta a través del overclock del procesador. Esto indica que la parte más fuerte del procesamiento, la están haciendo los núcleos de la tarjeta gráfica, por lo que en aplicaciones de juegos de alto rendimiento gráfico, el día de hoy impacta más la calidad de la tarjeta de video que utilizar los microprocesadores más poderosos. Adicional a lo anterior, los desarrolladores de algunas aplicaciones especializadas como por ejemplo AutoCAD^R, inclusive ofrecen herramientas de búsqueda de tarjetas de video a las que se les ha certificado su compatibilidad por la empresa desarrolladora del mismo [8].

En el siguiente punto de la secuencia del diagrama de flujo presentado en la figura 2, se debe decidir sobre las unidades de almacenamiento; esto implica varios factores: Tamaño, capacidad, tecnología,

cantidad de ellas, modelo, etc. Nuevamente, la información recabada en la selección del Software de aplicación y sistema operativo, aunado a la sensibilidad de los datos, permitirán escoger entre las diversas opciones como por ejemplo tecnología SCSI (actualmente SAS) para arreglos de discos de servidor y datos sensibles, SATA para equipo de oficina o personal con necesidad de gran cantidad de almacenamiento, discos de estado sólido SSD para altas velocidades de transferencia de archivos, SSD M.2 de muy alta velocidad, o sus diversas combinaciones. La correcta elección de estos componentes repercutirá en el desempeño global del sistema.

A continuación, se define si se necesitará de otros componentes internos como tarjetas de captura de datos, tarjetas de red, etc. Todo esto con la finalidad de tomar en cuenta el número adicional de interfaces en la tarjeta madre y la tecnología de éstas, así como el consumo de energía de las mismas. Casos particularmente interesantes suelen presentarse en centros de investigación, talleres de mantenimiento altamente especializados, departamentos de ingeniería en el desarrollo de productos en empresas, entre otro. En virtud de que por sus requerimientos se utilizaran dispositivos poco convencionales y de configuraciones muy específicas que no suelen tener soporte en los primeros meses de lanzamiento de un nuevo sistema operativo.


En la selección de la tarjeta madre, se toma en cuenta entre otras cosas: El tipo de socket del procesador, la cantidad de tarjetas a utilizar, la cantidad de unidades de almacenamiento que se conectarán, la tecnología de éstas, el número de puertos externos y la tecnología de ellos, el rendimiento esperado del sistema (hay diferentes modelos de conjuntos de chips de control para cada familia de microprocesadores según la aplicación del sistema), la cantidad y el tipo de memoria RAM. Por ejemplo, hay tarjetas madre de alto rendimiento orientadas a juegos que no contemplan el uso de memorias con tecnología de detección y corrección de errores (ECC), que son requerimientos fundamentales para los equipos orientados a servidor de datos. Nuevamente se recomienda consultar a los fabricantes del procesador para saber las tarjetas madre recomendadas y consultar a los fabricantes de tarjetas madre para seleccionar el modelo según las necesidades, consultando en paralelo páginas de organismos independientes que evalúan el desempeño de los diversos componentes de hardware para tomar una decisión informada. En este punto cabe destacar el amplio rango de precios acorde a las prestaciones de la tarjeta y a la calidad de los componentes. Siendo la calidad de los capacitores utilizados un factor muy importante en la estabilidad y durabilidad del sistema, pues el calor tiende a alterar las características del electrolito y en consecuencia a que cambien sus valores capacitivos.

El siguiente paso es la selección de los módulos de memoria RAM, siendo recomendable estimar la cantidad de memoria necesaria incluyendo un margen adecuado para crecimiento de la demanda de la misma por el sistema operativo, el software de aplicación y los programas que corran en segundo plano como el antivirus. Esto con la finalidad de utilizar todas las bahías de memoria con módulos iguales y así sacar provecho de las características de doble, triple o cuádruple canal que tuviera la tarjeta madre (entrelazado de bancos de memoria) y que permiten aumentar la velocidad de transferencia de los datos con respecto a la misma cantidad de memoria en uno o dos módulos de mayor densidad. Pues la transferencia se paraleliza cuando se tienen varios módulos de igual tamaño y la tarjeta madre soporta el entrelazado de bancos. Cabe destacar la importancia de consultar las tablas de referencia del fabricante de la tarjeta madre, pues si bien, esta puede utilizar diversas memorias de diversos fabricantes, solo algunos modelos de algunos fabricantes han sido probados y certificada su compatibilidad, lo cual redundará en la estabilidad del sistema.

La selección de la fuente es de suma importancia en los equipos de alto rendimiento, en virtud de que las variaciones de corriente demandadas por los componentes, tienden a inducir variaciones de voltaje en las fuentes, y si éstas no son de buena calidad en la regulación de voltaje, tales variaciones se traducen en ruido que provocan fallos en el sistema o que pueden confundirse con componentes defectuosos y llegar incluso hasta la pérdida de alguno de los componentes del sistema con su

respectiva información. Nuevamente se recomienda páginas de evaluadores independientes para conocer las marcas y los modelos de mejor calidad y rendimiento, pero en general se selecciona la potencia de la fuente con la suma de las potencias de los diferentes componentes integrados en la computadora más un mínimo de 10 % de margen en previsión de tener que agregar algún componente más adelante. También se debe verificar las especificaciones de la fuente para asegurar que cuenta con el número de conectores requeridos por los dispositivos y del tipo adecuado de los mismos. Por último, cabe mencionar que la certificación "80 Plus" (logo blanco sobre fondo negro) en las fuentes de alimentación, es una garantía de buen rendimiento: certifica que la fuente de alimentación es capaz de superar 80% de eficiencia en un rango de carga que va de 20 a 100% de su potencia máxima. También existen en el mercado certificaciones superiores como los 80 Plus Bronce, Plata, Oro, platino y titanio que certifican que la fuente de alimentación es capaz de alcanzar como mínimo el 82, 85, 87, 90 y 94% de eficiencia respectivamente en un rango de entre el 20% y 100% de la carga [9]. Ver tabla II.

Tabla II



Tipo de test 80 PLUS	115V Interno No Redundante				230V Interno Redundante			
	10%	20%	50%	100%	10%	20%	50%	100%
80 PLUS		80%	80%	80%				
80 PLUS Bronze		82%	85%	82%		81%	85%	81%
80 PLUS Silver		85%	88%	85%		85%	89%	85%
80 PLUS Gold		87%	90%	87%		88%	92%	88%
80 PLUS Platinum		90%	92%	89%		90%	94%	91%
80 PLUS Titanium					90%	94%	96%	91%

Tabla II: Tabla comparativa entre certificaciones de fuentes

En el penúltimo paso, el gabinete no debe ser menospreciado a la hora de la selección, y no nos referimos a la estética, sino al diseño que permite un buen flujo de aire en su interior, adecuado acomodo de los componentes y un funcionamiento silencioso por la calidad, tamaño y ubicación de sus ventiladores. Es impresionante lo que un diseño puede hacer, pues gabinetes sin buen diseño son muy incómodos de trabajar y pueden producir sobrecalentamiento en algún componente por un flujo mal distribuido de aire, además de ser ruidosos; en comparación con gabinetes de dimensiones similares que mantienen la temperatura de los componentes en niveles óptimos, facilitan el ensamblado del equipo, son estéticos y sumamente silenciosos. En las páginas de evaluadores independientes encontraremos comparaciones de costos, desempeño y características entre los diferentes fabricantes de gabinetes. Cabe aclarar que el gabinete debe cumplir con el estándar de forma de fábrica de la tarjeta madre y de la fuente seleccionada, así como contar con el número de

bahías de unidades de almacenamiento requeridas y el soporte para la unidad de enfriamiento del microprocesador en caso de no ser ventilada (por ejemplo, enfriamiento líquido).

En cuanto a accesorios, estos están en función de la aplicación del equipo y los criterios de selección son un poco más subjetivos, como es el caso de monitor, teclado, mouse, impresora, bocinas. Pero en general se recomienda buscar un equilibrio entre el costo y las prestaciones del mismo. No olvidando la importancia de los dispositivos de protección del equipo como supresores de ruido, fuentes ininterrumpibles de energía, reguladores, etc. y una buena instalación eléctrica que cuente con tierra física.

3.- CONCLUSIONES

El proceso de selección de los componentes de una computadora de alto rendimiento, requiere tener muy claro el uso que se le va a dar, el software que va a ejecutar, la consulta de las páginas de los desarrolladores del software con la intención de ver los requerimientos mínimos. Aunado a lo anterior se requiere una buena investigación documental de componentes disponibles en el mercado y la consulta de las páginas de evaluadores de hardware independientes para contrastar la información con los desarrolladores de software y los fabricantes del hardware. Este proceso puede llevar varios días en función de la experiencia del interesado, y lo exhaustivo del mismo debe ser proporcional a la inversión a realizar y/o lo crítico de la función que tendrá el equipo en la empresa.

3.1.- Trabajo a futuro

Validar la metodología propuesta, y documentarla con amplitud utilizando el vocabulario técnico actualizado con la finalidad de facilitar la toma de decisiones y minimizar los errores en las mismas en el proceso de selección de componentes de equipo de cómputo.

4. REFERENCIAS.

- [1]. García, G. (2016). *Recomiendan a padres de familia comprar computadoras ensambladas*. <<http://www.e-consulta.com/nota/2016-08-11/sociedad/recomiendan-padres-de-familia-comprar-computadoras-ensambladas> > [Consulta: 17 de Agosto de 2016]
- [2]. Montes, C. *Antes de comprar una computadora, conoce sus funciones*. <<http://ntrzacatecas.com/2016/08/09/antes-de-comprar-una-computadora-conoce-sus-funciones/> > [Consulta: 17 de Agosto de 2016]
- [3]. Stallings, W. *Organización y arquitectura de computadores*. España: Prentice Hall. 7ª ed, (2006).
- [4]. ANSYS, Inc. *ANSYS Student*. <<http://www.ansys.com/Products/Academic/ANSYS-Student> > [Consulta: 17 de Agosto de 2016]
- [5]. Hennesy, J. Patterson, D. *Computer Architecture: a quantitative approach*, USA. Elsevier, 5ª ed. (2012).
- [6]. Gomar, J. (2015). *i7-6700k vs i5-6600k la eterna duda queda resuelta*. <<https://www.profesionalreview.com/2015/09/07/i7-6700k-vs-i5-6600k-la-eterna-duda-queda-resuelta/> > [Consulta: 17 de Agosto de 2016]
- [7]. NVIDIA Corporation. *Tarjeta gráfica GeForce GTX TITAN X: Especificaciones*. <<http://www.nvidia.es/object/geforce-gtx-titan-x-es.html#pdpContent=2> > [Consulta: 17 de Agosto de 2016]
- [8]. AUTODESK, Inc. *Certified Hardware*. <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/syscert?siteID=123112&id=18844534&results=1&stype=graphic&suite_group=121&release=2014&edition=2&os=8192&manuf=all&opt=2 > [Consulta: 17 de agosto de Agosto de 2016]

- [9]. Andres, R. *Cómo elegir una fuente de alimentación para tu PC.*
<<http://computerhoy.com/noticias/hardware/como-elegir-fuente-alimentacion-tu-pc-40215>
[Consulta: 17 de agosto de Agosto de 2016]>

4. CONTROL

4.1 SWING UP Y REGULACIÓN NO LINEAL DIFUSAS PARA SEGUIMIENTO DE TRAYECTORIAS DE UN SISTEMA SUBACTUADO

Delio Humberto González Uc, Ramón García Hernández, José Antonio Ruz Hernández, Hussain Alazki, José Luis Rullán Lara, Galyna Shelomova
Universidad Autónoma del Carmen

[dugonzalez;rghernandez;jhernandez;halazki;jrullan;gshelomova;@pampano.unacar.mx]

Abstract—In this paper the application of two controllers is presented for track trajectories pendubot underactuated applied to nonlinear system. The control strategy is divided into two parts: first, a swing-up controller that is responsible for carrying the second link to a desired position by the oscillation of the first link is designed; second nonlinear fuzzy controller is designed to solve the problem of tracking a path generated by a exosystem. The results obtained by applying the proposed control scheme is shown via simulations.

Resumen—En este trabajo se presenta la aplicación de dos controladores para realizar el seguimiento de trayectorias aplicado al sistema no lineal subactuado pendubot. La estrategia de control se divide en dos partes: primero, se diseña un controlador swing-up que se encarga de llevar el segundo eslabón a una posición deseada mediante la oscilación del primer eslabón; segundo, se diseña un regulador no lineal difuso para resolver el problema de seguimiento de una trayectoria generada por un exosistema. Los resultados obtenidos al aplicar el esquema de control propuesto se muestran vía simulaciones.

1 introducción

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 demasiado complicado para propósitos de diseño. Por ello es importante disponer de un modelo lo suficientemente simple para trabajar con él, pero que retenga las características esenciales del proceso. Una forma de aproximar o de obtener las características de los modelos no lineales es por medio de los modelos difusos tipo Takagi-Sugeno(TS) [4], quienes aproximan por linealización el sistema en varios puntos de operación. En la Teoría de Control generalmente existen dos objetivos importantes: a) estabilización y b) seguimiento de referencias. En el problema de estabilización de un sistema de control, llamado estabilizador, se diseña para estabilizar el o los estados del sistema en lazo cerrado alrededor de un punto de equilibrio y el seguimiento de referencias, también conocido como *problema de regulación*, el objetivo es diseñar un controlador tal que la salida del sistema siga una trayectoria deseada [9][10]. La Teoría de Regulación Lineal y No Lineal proporciona un marco teórico para lograr seguimiento asintótico [8]. En este trabajo se presenta la aplicación de un algoritmo de control basado en la Teoría de Regulación y el Modelado Difuso Takagi-Sugeno para realizar seguimiento de trayectoria aplicado a un pendubot, después de llevar el eslabón no actuado a la posición “arriba”, usando un controlador Swing Up, hasta la posición deseada. El trabajo está dividido de la siguiente forma: en la sección 2 se presenta la regulación no lineal difusa, en la sección 3 se describe el pendubot, en la sección 4 el desarrollo de los controladores, en la sección 5 se muestran resultados en simulación y finalmente en la sección 6 se presentan las conclusiones.

2 regulación no lineal difusa

Considere el siguiente modelo difuso [1][3][7]:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \sum_{i=1}^r h_i(z) [A_i x + B_i u + P_i w] \\ w &= s(w) \end{aligned} \quad (1)$$

$$e = \sum_{i=1}^r h_i(z) C_i x - q(w)$$

donde $x \in \mathbb{R}^n$ es el vector de estado de la planta, $u \in \mathbb{R}^m$ es el vector de entradas manipulables, $e \in \mathbb{R}^p$ describe el error en el seguimiento, $A_i \in \mathbb{R}^{n \times n}$, $B_i \in \mathbb{R}^{n \times m}$, $P_i \in \mathbb{R}^{n \times r}$, $C_i \in \mathbb{R}^{p \times n}$ son matrices del sistema, de distribución de las entradas manipulables, de entradas no manipulables (perturbaciones) y de salidas observables o informativas respectivamente, con $i \in \{1, 2, \dots, r\}$ y r el número de reglas $h_i(z)$ son los niveles de membresía normalizados para cada regla calculada a partir de las funciones de membresía con Z variable, w es el vector de estado del exosistema, $s(w)$ es la matriz del exosistema y $q(w)$ la matriz de distribución de la señal de referencia. El problema de regulación no lineal difusa (PRND) puede resolverse diseñando un controlador difuso [6] y después resolver el regulador no lineal. El controlador está dado por:

$$u = \sum_{i=1}^r h_i(z) K_i [x - p(w)] + g(w) \quad (2)$$

donde $K_i \in \mathbb{R}^{m \times n}$ es la matriz de ganancias, $p(w)$ y $g(w)$ son mapeos no lineales. La solución al PRND tiene una solución si se cumplen las siguientes condiciones:

Teorema 1 El sistema (1) será asintóticamente estable si y sólo

- i) el exosistema $w = s(w)$ es Poisson estable,
- ii) existe la matriz K_i y P que tiene

$$\bar{A}_{ii}^T P + P \bar{A}_{ii} < 0, \quad i = 1, 2, \dots, r \quad (3)$$

y

$$\frac{\bar{A}_{ij} + \bar{A}_{ji}^T}{2} P + P \frac{\bar{A}_{ij} + \bar{A}_{ji}}{2} < 0, \quad i < j \leq r \quad (4)$$

son asintóticamente estables con

$$\bar{A}_{ij} = (A_i + B_i K_j) \quad (5)$$

iii) existen mapeos $x_{ss} = p(w)$, $u_{ss} = g(w)$ con $p(0) = 0$ y $g(0) = 0$ que satisfacen

$$\frac{\mathcal{L}\{p(w)\}}{\mathcal{L}\{w\}} s(w) = \sum_{i=1}^r h_i(z) [A_i p(w) + B_i g(w) + P_i w] \quad (6)$$

$$0 = \sum_{i=1}^r h_i(z) C_i p(w) - q(w), \quad (7)$$

Una demostración formal del Teorema 1 puede consultarse en [11]. En virtud de que nuestro problema es la regulación, analizaremos únicamente el error de seguimiento.

El error de estado estable está definido como $e_{ss} = x - p(w)$. Derivando e_{ss} se tiene

$$\begin{aligned} \dot{e}_{ss} &= \dot{x} - \dot{p}(w) \\ &= \sum_{i=1}^r h_i(z) \dot{e}_{ss} A_i + B_i \sum_{i=1}^r h_i(z) \dot{e}_{ss} K_i \\ &\quad + \sum_{i=1}^r h_i(z) [A_i p(w) + B_i g(w) + P_i w] \\ &\quad - \frac{\mathcal{L}\{p(w)\}}{\mathcal{L}\{w\}} s(w) \end{aligned}$$

Por otro lado, el error de seguimiento esta dado por

$$e = \sum_{i=1}^r h_i(z) C_i x - q(w)$$

que en términos de estado estacionario se describe como:

$$e = \sum_{i=1}^r h_i(z) C_i (e_{ss} + p(w)) - q(w) \quad (8)$$

A partir de (8), resulta claro que $\lim_{t \rightarrow \infty} e = 0$. Por lo tanto, el seguimiento de la referencia es asintótico y las condiciones (ii) y (iii) se satisfacen. Uno de los problemas para alcanzar la solución al PRND es resolver las desigualdades (4). Usando la técnica de sistemas de desigualdades lineales matriciales (LMIS) es posible obtener dicha solución. El siguiente teorema proporciona las condiciones necesarias:

Teorema 1: Asumiendo que se cumplen las siguientes condiciones: i) el exosistema $\dot{w} = s(w)$ es Poisson estable; ii) el siguiente sistemas de desigualdades lineales matriciales es factible

$$QA_i^T + M_i^T B_i^T + A_i Q + B_i M_i < 0, \quad i = 1, \dots, r \quad (9)$$

y

$$0 > \frac{\sum_{i=1}^n (QA_i^T + M_j^T B_i^T + QA_j^T + M_i^T B_j^T) \ddot{\theta}_i}{2} + \frac{\sum_{i=1}^n (A_i Q + B_i M_j + A_i Q + B_j M_i) \ddot{\theta}_i}{2} < j \xi r \quad (10)$$

iii) existen mapeos $x_{ss} = p(w)$, $u_{ss} = g(w)$ con $p(0) = 0$, y $g(0) = 0$ que satisfacen las condiciones (6) y (7). Entonces el problema tiene solución. La prueba de este Teorema se describe en [1].

Las expresiones resultantes (8) y (9) son desigualdades matriciales lineales que pueden ser tratados por métodos numéricos. Las nuevas incógnitas del sistema en (8) y (9) ahora son $Q = P^{-1}$ y $M_i = K_i P^{-1}$.

3 descripción del pendubot

En esta sección se presenta el modelo matemático del sistema subactuado utilizado para el diseño del regulador. Se trata del Pendubot, del cual se muestra su diagrama en la figura 1. El sistema es un sistema electromecánico compuesto por dos eslabones rígidos. El primer eslabón puede rotar $\pm 180^\circ$ sobre uno de sus extremos y es accionado por un motor de corriente continua. El segundo eslabón se encuentra mecánicamente conectado al extremo libre primer eslabón y éste puede rotar libremente $\pm 180^\circ$. Con base en la figura 1, q_1 es la posición del primer eslabón, q_2 es la posición del segundo eslabón, τ es el par aplicado al eslabón actuado, l_1 es la longitud de primer eslabón, l_{c1} y l_{c2} son las longitudes del extremo al centro de gravedad del primero y segundo eslabón, respectivamente. La posición q_2 se mide con respecto a la posición q_1 .

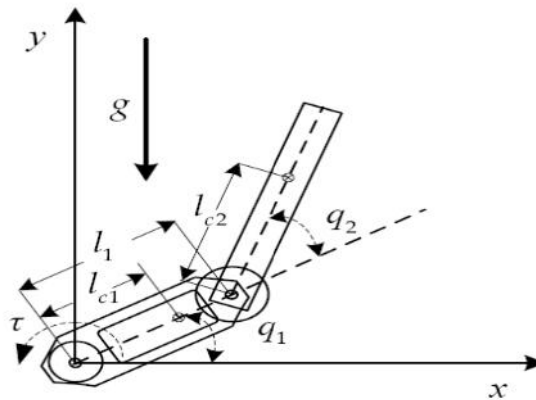


Figura 1. Esquema del Pendubot

Para obtener el modelo en espacio de estados, se considera primero el siguiente cambio de variable $x_1 = q_1, x_2 = \dot{q}_1, x_3 = q_2, x_4 = \dot{q}_2, y = x_2$ y $u = \tau$. Así, la dinámica de la planta queda descrita por el modelo no lineal de la forma

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{f}(\mathbf{x}) + \mathbf{g}(\mathbf{x})u, \\ \mathbf{y} &= \mathbf{h}(\mathbf{x}) = x_2 \end{aligned} \tag{11}$$

donde $\mathbf{x} = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4]^T$,

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ f_{31}(\mathbf{x})f_{32}(\mathbf{x}) \\ f_{41}(\mathbf{x})f_{32}(\mathbf{x}) + f_{42}(\mathbf{x}) \end{bmatrix} \tag{12}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{g}^T(\mathbf{x}) &= [0 \ 0 \ f_{31}(\mathbf{x}) \ f_{41}(\mathbf{x})] \\ d_{11}(\mathbf{x}) &= m_1 l_{c1}^2 + m_2 (l_1^2 + l_2^2 + 2l_1 l_2 \cos(x_2)) \\ &\quad + I_{zz1} + I_{zz2} \\ d_{12}(\mathbf{x}) &= m_2 (l_2^2 + l_1 l_2 \cos(x_2)) + I_{zz2}, \\ d_{22}(\mathbf{x}) &= m_2 l_{c2}^2 + I_{zz2}, \\ c_1(\mathbf{x}) &= -2m_2 l_1 l_{c2} x_4 \operatorname{sen}(x_2) x_3 \\ c_2(\mathbf{x}) &= m_2 l_1 l_{c2} x_3 \operatorname{sen}(x_2) \\ g_1(\mathbf{x}) &= m_1 g l_{c1} \cos(x_1) + m_2 g [l_1 \cos(x_1) \\ &\quad + l_2 \cos(x_1 + x_2)], \\ g_2(\mathbf{x}) &= m_2 g l_{c2} \cos(x_1 + x_2), \\ f_1(\mathbf{x}) &= m_1 x_3, \\ f_2(\mathbf{x}) &= m_2 x_4, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{31}(\mathbf{x}) &= \frac{d_{22}(\mathbf{x})}{d_{11}(\mathbf{x})d_{22}(\mathbf{x}) - d_{12}^2(\mathbf{x})} \tag{13} \\ f_{32}(\mathbf{x}) &= \frac{d_{12}(\mathbf{x})c_2(\mathbf{x})}{d_{22}(\mathbf{x})} + \frac{d_{12}(\mathbf{x})g_2(\mathbf{x})}{d_{22}(\mathbf{x})} - \frac{d_{12}(\mathbf{x})f_2(\mathbf{x})}{d_{22}(\mathbf{x})} \\ &\quad + c_1(\mathbf{x}) + g_1(\mathbf{x}) + f_1(\mathbf{x}) \\ f_{41}(\mathbf{x}) &= - \frac{d_{12}(\mathbf{x})}{d_{11}(\mathbf{x})d_{22}(\mathbf{x}) - d_{12}^2(\mathbf{x})} \\ f_{42}(\mathbf{x}) &= - \frac{c_2(\mathbf{x})}{d_{22}(\mathbf{x})} - \frac{g_2(\mathbf{x})}{d_{22}(\mathbf{x})} - \frac{f_2(\mathbf{x})}{d_{22}(\mathbf{x})} \end{aligned}$$

La Tabla 1 muestra la descripción de cada uno de los parámetros del Pendubot.

El sistema cuenta con dos puntos de equilibrio: uno estable en su posición de reposo en

($q_1 = -p/2, q_2 = 0$) y el otro inestable en ($q_1 = p/2, q_2 = 0$). Las posiciones de ambos eslabones son accesibles. El objetivo de control se centra en mantener el eslabón en la posición deseada (estabilización) o seguir una referencia deseada (regulación).

4 Desarrollo del controlador

En este apartado el problema de regulación se plantea de la siguiente manera. El Pendubot inicia en su posición de reposo ($q_1 = -p/2, q_2 = 0$). El objetivo de control es encontrar una adecuada ley de control que primero lleve al Pendubot a su punto de equilibrio inestable ($q_1 = p/2, q_2 = 0$). Una vez alcanzado este punto en su totalidad o en una vecindad cercana a este punto, cambiar de manera oportuna el controlador por uno que resuelva el problema de regulación. Para lograr este objetivo, primero mostramos el diseño del controlador Swing Up y posteriormente el regulador. Ambos controladores son difusos.

4.1 Diseño del controlador Swing Up difuso

Con respecto a la figura 1, llamaremos a la unión que conecta el eslabón 1 con su actuador como primera el hombro (H) mientras que la unión que conecta ambos eslabones la llamaremos codo (C). Por separado se discutirá las variables de las dos uniones. La variable HS representa el estado del hombro que esta compuesto por el error angular HE y la tasa de cambio del error RHE; esto es $HS = \{HE, RHE\}$. El error angular del hombro (HE), está definido como

$$he = \frac{p}{2} - q_1$$

mientras que la tasa de cambio del error en el tiempo HE(RHE), se define como

$$\begin{aligned} rhe &= \frac{he(t) - he(t - T)}{T} \\ &= \frac{[p/2 - q_1(t)] - [p/2 - q_1(t - T)]}{T} \\ &= - \frac{q_1(t) - q_1(t - T)}{h} = - \frac{\dot{q}_1}{h} \end{aligned} \tag{14}$$

donde T es el período de muestreo. De igual forma para el codo (C), CS representa el estado del codo que esta compuesto por el error angular CE y la tasa de cambio del error $RC_{CS} = \{CE, RCE\}$

.En este caso, el error angular del codo (CE), es definido como

$$ce = \frac{p}{2} - (q_1 + q_2)$$

y la tasa de cambio de CE (RCE) se define como

$$\begin{aligned} rce &= \frac{ce(t) - ce(t - h)}{h} \\ &= \frac{[p/2 - q_1(t) - q_2(t)] - [p/2 - q_1(t) - q_2(t)]}{h} \\ &= - \frac{[q_1(t) + q_2(t)] - [q_1(t - h) + q_2(t - h)]}{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= - \frac{q_1(t) - q_1(t-h)}{h} - \frac{q_2(t) - q_2(t-h)}{h} \\
 &= - \phi_1 - \phi_2
 \end{aligned} \tag{15}$$

Cada par de estas variables se asocian con dos conjuntos difusos que están etiquetados positivos y negativos. Para deducir la ley de control difuso cualquier valor de he se le da un grado distinto de cero de la pertenencia a ambos conjuntos difusos de entrada. Se considera la unión del hombro para la estrategia de control:

R1: IF "HS es HSP" THEN "‡ es Positivo"

R2: IF "HS es HSN" THEN "‡ es Negativo"

Utilizando una variante del método de Tsukamoto [5] la salida defuzzificada podría tener la forma:

$$t(he, rhe) = G_1 [SHP(he, rhe) - SHN(he, rhe)] \tag{16}$$

Con el fin de girar hacia arriba el pendubot y dejar que los dos eslabones lleguen al punto de equilibrio inestable (parte superior), al mismo tiempo se debe utilizar la siguiente fase de oscilación:

R3: IF "HS es HSP" AND

IF "CS es CSP" THEN "‡ es Positivo"

R4: IF "HS es HSN" AND

IF "CS es CSN" THEN "‡ es Negativo"

de esta forma, se le da más importancia a ambos conjuntos simultáneamente.

Finalmente, la desfuzzificación se lleva a cabo considerando

$$OSP = l HSP(he, rhe) + (1-l) CSP(ce, rce) \tag{17}$$

$$OSN = l HSN(he, rhe) + (1-l) CSN(ce, rce)$$

donde OS es la variable del conjunto general utilizado para describir el estado del sistema, incluyendo los estados de la unión del hombro y los estados de la unión del codo. Combinando los dos estados de conjuntos y los conjuntos difusos para la variable de par:

$$G = G[l H(he_1, he_2) + (1-l) C(ce_1, ce_2)] \tag{18}$$

donde

$$H(he_1, he_2) = m_h \tanh(he_1) + (1 - m_h) \tanh(he_2)$$

$$C(ce_1, ce_2) = m_c \tanh(ce_1) + (1 - m_c) \tanh(ce_2)$$

Afinando los parámetros de peso m_h, m_c, l, G y los factores de escala k_1, k_2, k_3 y k_4 los cuales son [2]:

$$he_1 = k_1 he \quad he_2 = k_2 rhe,$$

$$ce_1 = k_3 ce \quad ce_2 = k_4 rce$$

4.2 Diseño del Regulador No Lineal Difuso

Se diseña el regulador no lineal difuso por retroalimentación de estado para que la salida del sistema realice el seguimiento de una trayectoria. Este objetivo debe satisfacer las condiciones del Teorema 1. El sistema no lineal en (11) se aproxima usando el modelado TS. Para esto, se utilizan 9 reglas para linealizar el sistema en diferentes puntos de operación.

Se desea realizar el seguimiento a una trayectoria de referencia dada por una señal

$y_{ref} = A_{mp} \text{sen}(bt)$. Para generar esta señal el exosistema empleado es:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -b & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ b \end{bmatrix} u \quad y_{ref} = w_1 \quad (19)$$

Así el error de seguimiento esta dado por $e = x_2 - w_1$.

Para la configuración arriba, dado que el exosistema es lineal y sus valores propios se encuentran en $[i, -i]$, cuando $b = 1 \frac{rad}{seg}$, entonces se satisface la condición, para los pares (A_i, B_i) también se satisface la condición

$$a(x, 0) = \sum_{i=1}^r h_i(z) K_i x$$

con $i = 1, K, 9$. La tercera condición a satisfacer, es la búsqueda de una matriz P simétrica definida positiva que junto con las matrices de ganancias K_i , se obtiene la matriz P simétrica definida positiva. Después de la aproximación a la solución de las ecuaciones del regulador se tiene [1]:

$$g(w) = - \frac{w_1 + f_{42}(p(w))}{f_{41}(p(w))} - f_{32}(p(w)) \quad (20)$$

y se tiene la ley de control

$$u = \sum_{i=1}^r h_i[z] [K_i(x - p(w) + g(w))] \quad (21)$$

5 RESULTADOS EN SIMULACIÓN

Conectando los bloques de los controladores y la planta a un bloque de switch, se simulan los controladores de swing up y la regulación no lineal, como se muestra en la figura 2 que es el bloque completo de simulación.

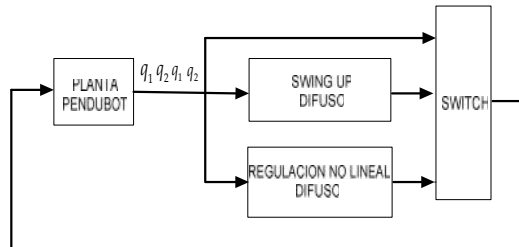


Figura 2. Sistema completo de simulación

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos por el controlador no lineal difuso aplicados a la planta no lineal, en configuración arriba [1]. El entorno de simulación es Simulink de MatLab. Los parámetros del pendubot se muestran en la tabla I.

TABLA I

Notación	Descripción	Valores
l_1	Longitud del eslabón 1	0.2032m

l_2	Longitud del eslabón 2	0.3817 m
l_{c1}	Distancia del centro de masa del eslabón 1	0.1551 m
l_{c2}	Distancia del centro de masa del eslabón 2	0.1635 m
m_1	Masa del eslabón 1	0.8293 kg
m_2	Masa del eslabón 2	0.3402 kg
I_{zz1}	Momento de inercia para el eslabón 1	$59 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^2$
I_{zz2}	Momento de inercia para el eslabón 2	$43 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^2$
m_1	Fricción para el eslabón 1	0.00545
m_2	Fricción para el eslabón 2	0.00047
g	Constante gravitacional	9.81 m/s^2
t	Par aplicado	$\text{N}\times\text{m}$
q_1	Posición angular de eslabón 1	rad
q_2	Posición angular de eslabón 2	rad

Tabla I. Parámetros del pendubot

En la figura 3 se muestran los resultados obtenidos al aplicar un controlador swing-up para llevar a la región de operación del regulador, para el seguimiento de la salida de una señal de referencia $y_{ref} = 50\text{sen}(1t)$, como se puede ver el pendubot pasa de la posición de equilibrio a la zona de operación del regulador, dando el seguimiento de la señal de referencia que se tiene.

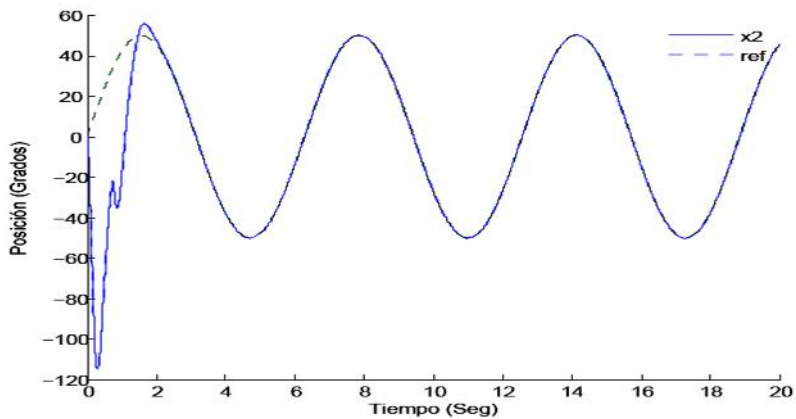


Figura 3. Swing-up y seguimiento de referencia

En la figura 4 como se puede el seguimiento entre la salida de la planta y la señal de referencia es casi exacto y error es demasiado pequeño estabilizándose posteriormente a los dos segundos de simulación.

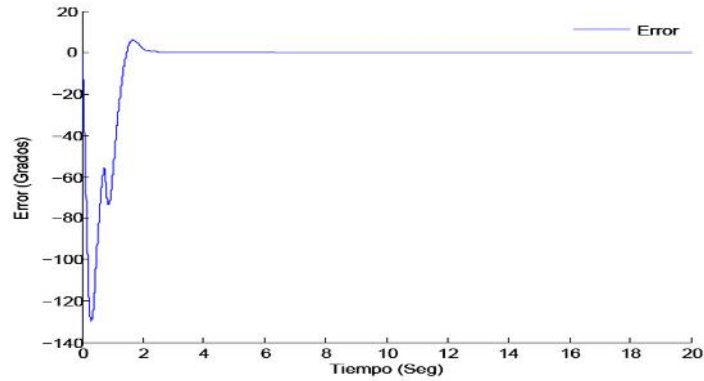


Figura 4. Error del seguimiento

En la figura 5 se muestra la posición del eslabón uno (x_1) en una posición inicial de 90 describiendo una trayectoria senoidal después de los dos segundos de simulación.

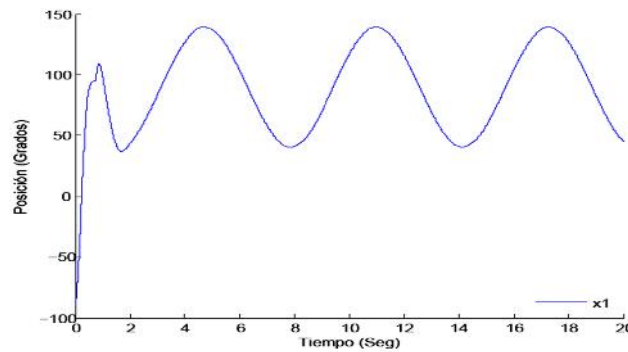


Figura 5. Posición del eslabón número 1

En la figura 6 la señal de control inicia con un par suficiente para permitir que el controlador swing-up lleve a la región de operación del regulador, con la señal mas suave después de los dos segundos de simulación.

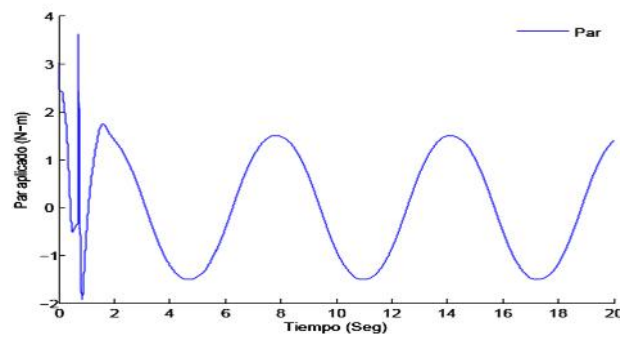


Figura 6. Señal de control

Para probar estos resultados se aplican perturbaciones al sistema obteniendo la referencia y la señal de control como se muestra en las figuras 7 y 8.

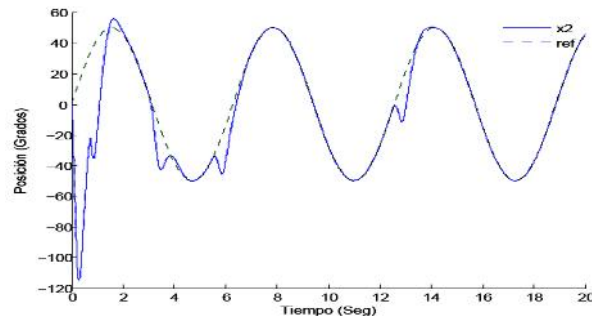


Figura 7. Señal de referencia y seguimiento con perturbación

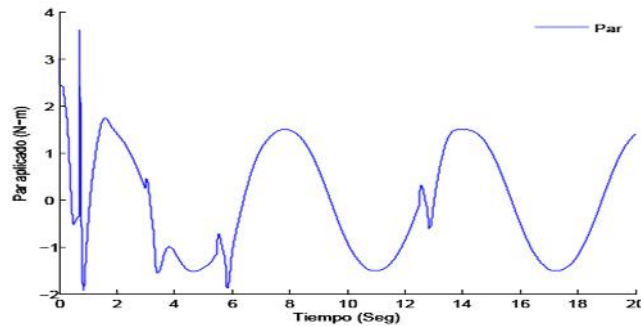


Figura 8. Señal de control con respuesta ante perturbaciones

6 Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos en el desarrollo de este trabajo, se concluye lo siguiente: El modelado difuso T-S permite aproximar la planta del sistema a controlar de una manera simple.

Se utilizó la metodología que combina la teoría de regulación no lineal y el modelado difuso T-S para el diseño de un algoritmo de control útil en el seguimiento de trayectorias para un pendubot.

Se obtiene una buena combinación del controlador de regulación con el controlador del swing up, teniendo un comportamiento suave al pasar de una a otra ley de control, que resulta en el comportamiento deseado de la planta. La metodología presentada puede emplearse en el diseño de controladores similares para otros sistemas no lineales de los sistemas subactuados. El pendubot, nos da la oportunidad por su dinámica no lineal de probar la teoría de regulación no lineal y control difuso aplicado a un sistema electromecánico.

Los objetivos de control fueron alcanzados satisfactoriamente al levantar de la posición estable de la planta ($-\pi/2, 0$) a la posición arriba ($\pi/2, 0$) para poder llevar a la región de operación del regulador. En este trabajo se utiliza el conocimiento de las referencias bibliográficas que puntualmente son citadas, simulando los controladores con la herramienta matemática computacional Matlab.

7 Referencias

1. J. A. Meda-Campaña, B. Castillo-Toledo and Victor Zúñiga. On the Nonlinear Fuzzy Regulation for under-actuated systems. *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 2195–2202. (2006)
2. Fuzzy control for a Under-actuated Robotic Manipulator: Pendubot. Xiao Qing Ma, MASTER. Concordia university (2001)
3. J. Huang. Nonlinear Output Regulation, Theory and Applications. The Chinese University of Hong Kong, Hong Kong., (2004).

4. K. Takagi. M. Sugeno. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. IEEE Transaction on Systems, 15:116–132, (1985).
5. Y. Tsukamoto. An approach to fuzzy reasoning method. Advances in Fuzzy Set Theory and Applications, M/M Gupta, R. K. Ragade and R.R. Yager Eds.,(1979).
6. K. Tanaka and H. O. Wang. Fuzzy control systems design and analysis. A linear matrix inequality approach. John Wiley and Sons, Inc., (2001).
7. S. Boyd, L. El Ghaoui, E. Feron, and V. Balakrishnan. Linear Matrix Inequalities in Systems and Control Theory. SIAM, Philadelphia, PA, (1994).
8. Isidori A. y Byrnes C.I. Output regulation of nonlinear systems, IEEE Transactions on Automatic Control (1990)
9. B. Castillo-Toledo. Almost tracking through singular points via the nonlinear regulator theory. in *Proceedings of the IV Congreso Latinoamericano de Control Automático (Invited paper, Puebla, Puebla)*, pages 590–594, November (1990).
10. Francis B. A. *Feedback Control Theory*. Macmillan Publishing Co., (1990).
11. A. Isidori. Nonlinear control systems. Springer-Verlag, Berlin,(1995).

4.2 CONTACTO DE CARGAS ELÉCTRICAS ACTIVADAS POR DISPOSITIVO MÓVIL

Quirino Jiménez Domínguez, Jorge Bencomo Ventura, Agustín Narváez Ruiz
Instituto tecnológico de Mérida
gjimenezdo@yahoo.com.mx
jorge.bencomo1@gmail.com
silverjosejosesilver@hotmail.com

RESUMEN

En el hogar, oficina, aula, recinto o cualquier inmueble donde se disponga de cargas eléctricas domésticas (luminarias, ventiladores, televisión, aires acondicionados, motores, etc.) es muy común que estas tengan un control incómodo para el habitante o usuario.

En ocasiones los controles manuales (interruptores) de las luces de un recinto están dispuestos en un lugar de acceso incómodo o alejado del lugar donde se encuentra el usuario, y al momento que se desea encender o apagar las luces el usuario tiene que levantarse de su lugar (frente al TV, en la cama, en el escritorio, etc.).

Este proyecto tiene como propósito controlar cargas eléctricas desde un celular utilizando un arduino nano y una aplicación en Android, comunicándose por Bluetooth. A este sistema se le llama domótica básica.

ABSTRACT

At home, office, classroom, premises or property where available home electrical loads (lights, fans, TV, air conditioners, motors, etc.) is very common that these have an uncomfortable or control for the user inhabitant.

Sometimes manual controls (switches) lights a room are arranged in a rather uncomfortable or away from where the user is accessing, and when you want to turn on or turn off the lights the user has to rise from his place (in front of the TV, in bed, on the desk, etc.).

This project aims to control electrical loads from a cell using an arduino nano and an application on Android, communicating via Bluetooth. This system is called basic automation.

1. INTRODUCCIÓN

Este sistema de contactos de cargas eléctricas activadas por un dispositivo móvil (celular) permitirá activar o desactivar cargas eléctricas, apoyando la comodidad y ahorro por parte del usuario, además de integrarse en los dispositivos de que ya dispone, como un teléfono celular o una tableta electrónica. El sistema se presenta en la figura 1.



Figura 1. Contacto de cargas eléctricas activadas por dispositivo móvil

El Módulo Bluetooth HC-06. Ofrece una mejor relación de precio y características, ya que es un módulo Maestro-Esclavo, quiere decir que además de recibir conexiones desde una PC o tablet, también es capaz de generar conexiones hacia otros dispositivos bluetooth. Esto nos permite, por ejemplo, conectar dos módulos de bluetooth y formar una conexión punto a punto para transmitir datos entre dos microcontroladores o dispositivos.

Cuenta con un modo de comandos AT que debe activarse mediante un estado alto en el PIN34 mientras se enciende (o se resetea) el módulo. En las versiones para protoboard este pin viene marcado como "Key". Una vez que estamos en el modo de comandos AT, podemos configurar el módulo bluetooth y cambiar parámetros como el nombre del dispositivo, password, modo maestro/esclavo, etc.

Para comunicarnos con el módulo y configurarlo, es necesario tener acceso al módulo mediante una interfaz serial. Podemos usar un arduino con un par de cables (aprovechando el puente USB-Serial del Arduino. Este dispositivo es muy comercial, y se muestra en la figura 2.



Figura 2. El Módulo Bluetooth HC-06

La placa Arduino Nano es una placa de prueba muy pequeña y completa basada en ATmega328. Tiene una funcionalidad similar al modelo Arduino Uno, pero en un módulo DIP. Solo carece del jack de alimentación DC y funciona con un cable Mini-B USB en lugar de uno estándar. Las características de entrada salida son que cada uno de los 14 pines digitales del Nano pueden ser usados como entrada o salida, usando las funciones `pinMode()`, `digitalWrite()`, y `digitalRead()`. Este dispositivo opera a 5 volts. Cada pin puede proveer o recibir un máximo de 40mA y poseen una resistencia de pull-up (desconectada por defecto) de 20 a 50 k . Además, algunos pines poseen funciones especializadas:

Serial: 0 (RX) y 1 (TX). (RX) es usado para recibir y (TX) es usado para transmitir datos TTL vía serie. Estos pines están conectados a los pines correspondientes del chip USB-a-TTL de FTDI. Esta se presenta la en la figura 3.

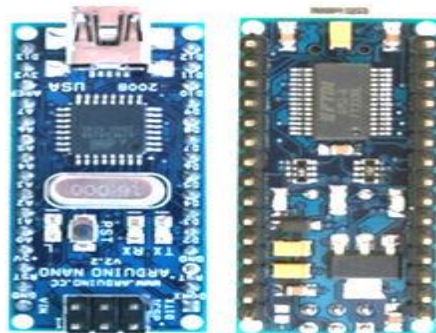


Figura 3 El Módulo Arduino Nano

El Atmega328 AVR 8-bit es un circuito integrado de alto rendimiento que está basado en un microcontrolador RISC, combinando 32 KB ISP flash una memoria con la capacidad de leer-mientras-escribe, 1 KB de memoria EEPROM, 2 KB de SRAM, 23 líneas de E/S de propósito general, 32 registros de proceso general, tres temporizadores flexibles/contadores con modo de comparación, interrupciones internas y externas, programador de modo USART, una interface serial orientada a byte de 2 cables, SPI puerto serial, 6-canales 10-bit Conversor A/D (8-canales en TQFP y QFN/MLF packages), "watchdog timer" programable con oscilador interno, y cinco modos de ahorro de energía seleccionables por software. El dispositivo opera entre 1.8 y 5.5 volts. Por medio de la ejecución de poderosas instrucciones en un solo ciclo de reloj, el dispositivo alcanza una respuesta de 1 MIPS, balanceando consumo de energía y velocidad de proceso.

Hoy el ATmega 328 es usado comúnmente en múltiples proyectos y sistemas autónomos donde un micro controlador simple, de bajo consumo, bajo costo es requerido. Tal vez la implementación más común de este chip es en el Arduino, en sus modelos Uno y Nano. Ver figura 4.

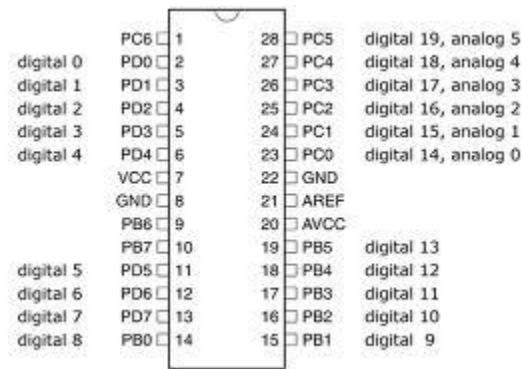


Figura 4. El Chip ATmega 328

La etapa de potencia es importante acoplarla con el arduino nano para evitar daños que puedan costarnos caro. El circuito que se propone en este trabajo requiere un acoplo con transistor optoacoplador y traic, se muestra en la figura 5.

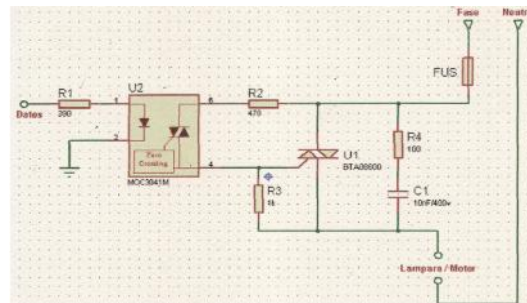


Figura 5. Etapa de potencia para las cargas eléctricas

APP INVENTOR es un programa gratuito del MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) y está en la nube, este programa permite crear aplicaciones ANDROID de una manera gráfica y sencilla de comprender.

Los bloques de programación en este programa permiten el uso fácil de la interfaz generada para el usuario. Por ello nuestro app consta únicamente de botones, que envían caracteres a través del

Bluetooth del dispositivo móvil, con ello podemos asegurar que la información ha sido enviada a un destinatario, el cual es elegido a través del botón de conexión (botón con imagen de bluetooth). Esto se ve en la figura 6.

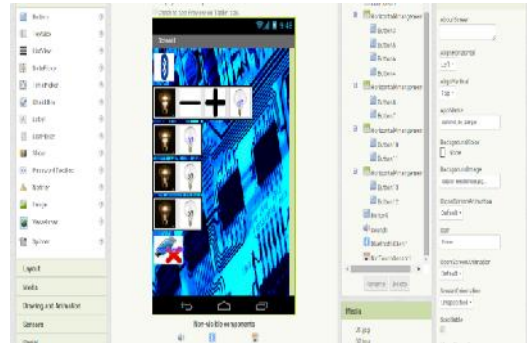


Figura 6. APP Inventor

2. DESARROLLO

Se presenta el programa para ATmega 328 donde repetimos el proceso para activar o desactivar 4 cargas, aunque el programa de aplicación android esta realizado para 6 cargas, está configurado para trabajar con los primeros 4 cargas.

```
#define FOAOA 2
#define FOAOB 3
#define FOAOA 4
#define FOAOA 5
char dato;
String readString;

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  pinMode(FOAOA, OUTPUT);
  pinMode(FOAOB, OUTPUT);
  pinMode(FOAOA, OUTPUT);
  pinMode(FOAOA, OUTPUT);
}

void loop(){
  leer_Dato();
  if(readString.length() >0){
    if(readString == "FA"){
      if (digitalRead(FOAOA) == LOW){
        digitalWrite(FOAOA, HIGH);
      }
      else{
        digitalWrite(FOAOA, LOW);
      }
    }
  }
}
```

```
if(readString == "FB"){
  if (digitalRead(FOCOB) == LOW){
    digitalWrite(FOCOB, HIGH);
  }
  else{
    digitalWrite(FOCOB, LOW);
  }
}
if(readString == "FC"){
  if (digitalRead(FOCOC) == LOW){
    digitalWrite(FOCOC, HIGH);
  }
  else{
    digitalWrite(FOCOC, LOW);
  }
}
if(readString == "FD"){
  if (digitalRead(FOCOD) == LOW){
    digitalWrite(FOCOD, HIGH);
  }
  else{
    digitalWrite(FOCOD, LOW);
  }
}
readString = "";
}
}

void leer_Dato(){
  while(Serial.available()){
    delay(10);
    if (Serial.available() >0){
      dato=Serial.read();
      readString += dato;
    }
  }
}
}
```

La programación de en APP INVERTOR de este trabajo, se presenta en las figuras 7a y 7b.

```

when Screen1 Initialize
do
  set HorizontalArrangement1 Visible to true
  set HorizontalArrangement2 Visible to true
  set HorizontalArrangement6 Visible to true
  set HorizontalArrangement7 Visible to true

when BiBluetooth BeforePicking
do
  set BiBluetooth Elements to BluetoothClient1 AddressesAndNames

when BiBluetooth AfterPicking
do
  if call BluetoothClient1 Connect
    address BiBluetooth Selection
  then
    set BiEncender1 Enabled to true
    set BiEncender3 Enabled to true
  
```

Figura 7a. Programa para el dispositivo móvil

```

when BiBluetooth BeforePicking
do
  set BiBluetooth Elements to BluetoothClient1 AddressesAndNames

when BiBluetooth AfterPicking
do
  if call BluetoothClient1 Connect
    address BiBluetooth Selection
  then
    set BiEncender1 Enabled to true
    set BiEncender3 Enabled to true
    set BiEncender4 Enabled to true
    set BiEncender5 Enabled to true
    set BiEncender6 Enabled to true

when BiEncender1 Click
do
  call BluetoothClient1 SendText
  text 'A'

when BiEncender2 Click
do
  call BluetoothClient1 SendText
  text 'B'
  
```

Figura 7b. Programa para el dispositivo móvil

El Circuito de potencia está compuesto por un MOC3011, Triac 2N6399 y resistencias de 330 , 470 , 1K y protección snnuber 100 , 10µF y fuente de alimentación. Ver figura 8.

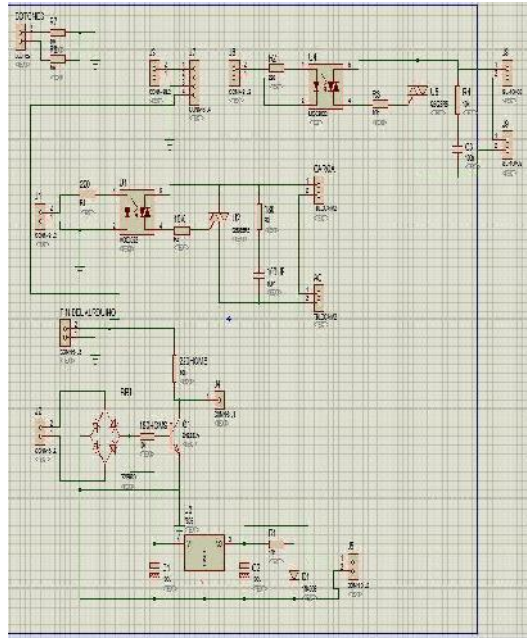


Figura 8. Etapa de potencia y fuente de alimentación

3. RESULTADOS

Se presenta el proyecto terminado en una tarjeta donde cuenta con el Arduino nano y ATmega 328, el Módulo Bluetooth HC-06 y su fuente de alimentación, así como su etapa de potencia. Ver figura 9a y 9b.

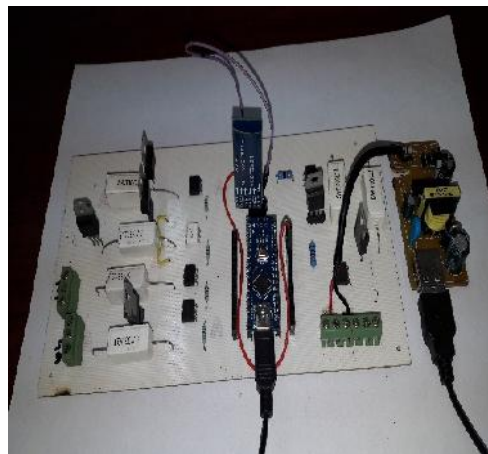


Figura 9a. Proyecto completo terminado

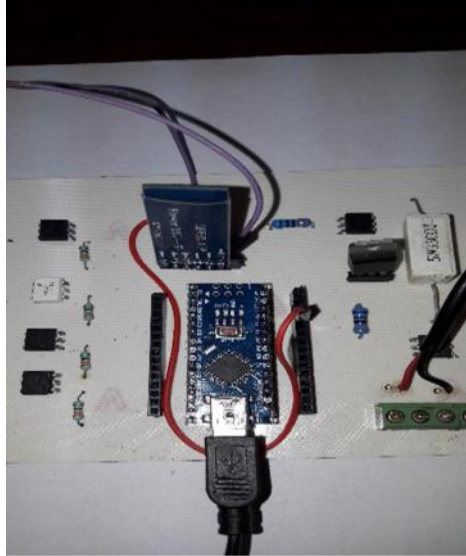


Figura 9b. Proyecto arduino nano-bluetooth

Se presenta en la figura 10, la aplicación de android para cuatro cargas en un dispositivo móvil.



Figura 10. Aplicación del programa para cuatro cargas en un dispositivo móvil

4. CONCLUSIONES

Al finalizar este trabajo se obtiene una gran experiencia en el manejo de circuitería de acoplo de potencia entre optoacopladores-triacs y el sistema mínimo como es arduino nano con el chip ATmega 328.

La facilidad de programar el arduino nano acoplado con el Módulo Bluetooth HC-06.

Interfazar el dispositivo móvil con la aplicación del programa en APP Inventor para cuatro cargas.

Además es posible la implantación de sistemas de domótica básica, de bajo costo y desarrollado localmente, que brinden a los usuarios una mejor calidad y experiencia de vida, desde el punto de vista de la comodidad y el ahorro energético.

Así como, el desarrollo de este tipo de sistemas, requiere tener conocimientos multidisciplinarios teóricos y prácticos, desde la electrónica hasta la programación en hardware y software.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Óscar Torrente Arteroi, Arduino: curso práctico de formación, RC Libros, 2, 61-101, (2013).
2. Stefan Junstrand, Xavier Passaret, Daniel Vázquez, Domótica y Hogar Digital, Paraninfo, 1, 3, 5, 6, 1-8, 101-115, 195-200, (2004).
3. José Manuel Huidobro, Ramón Jesús Millán Tejedor, Manual de Domótica, Creaciones Copyright, 1,5, 3-11, 97-115 (2010).
4. Oscar González, Conectar Android Bluetooth, (2014)
<http://blog.bricogeek.com/noticias/arduino/como-conectar-android-con-arduino-por-bluetooth/>

4.3 INSTRUMENTO CONTROLADOR DIGITAL

Quirino Jiménez Domínguez, José Ananías Canul Madera, José del Carmen Trejo Camas
Instituto tecnológico de Mérida
gjimenezdo@yahoo.com.mx
ananias.canul@gmail.com
jose.trejo@gmail.com

RESUMEN

Dado el amplio uso de los instrumentos Controladores Digital en el ámbito industrial, este equipo usa en su diseño microcontroladores que permite hacerlo versátil, tienen un bajo costo, su adquisición no es complicado, su distribución de software de desarrollo es gratuito y se tiene amplia información.

Este proyecto tiene como propósito mostrar un método de diseño práctico y sencillo para el desarrollo de un Instrumento de Control Digital que tiene un algoritmo PID, implementados con un microcontroladores PIC16F887 con salida/entrada variable de 0 a 5 VCD.

ABSTRACT

Given the widespread use of Digital Controllers instruments in the industrial field, the team used in its microcontroller design that allows you to do versatile, have a low cost, their acquisition is not complicated, distribution development software is free and has extensive information.

This project aims to show a simple and practical method for developing a Digital Instrument Control that has a PID algorithm design, implemented with PIC16F887 microcontrollers output / input variable from 0 to 5 VDC.

1. INTRODUCCIÓN

Los controladores digitales son derivados del ramo de la teoría de control que utilizan microcontroladores y microcomputadoras como unidades de procesamiento de datos. La teoría de los controles digitales trata los temas del comportamiento de sistemas dinámicos a través de muestras discretas en el tiempo, o sea, el sistema de control irá a mostrar (digitalizar) la salida del sistema al ser controlado (planta), en un período constante de tiempo. Cada muestra discreta irá a representar el estado de la salida de la planta en el momento en que la misma fue adquirida.

A través de diversas muestras consecutivas, el controlador pueda monitorear el comportamiento del sistema dinámico y, de esta forma, actuar en el funcionamiento del mismo. Uno de los Teoremas de Nyquist, enfatiza que la frecuencia con que las muestras consecutivas son adquiridas debe ser, no mínimo, al doble de la frecuencia máxima de la salida de la planta.

El controlador utiliza una referencia como valor estándar en que la salida de la planta debe ser mantenida, de manera estable. Esta referencia de entrada llamada (setpoint) debe ser proporcionada por el usuario, generalmente, a través del cuadro del controlador. Con el setpoint, el controlador podrá realizar el cálculo de error del sistema, o sea, a qué valor la salida actual de la planta se encuentra de la referencia. A partir del error calculado, el controlador sabrá cuanta deberá aplicar en la planta, de modo que mantenga la salida en el valor deseado (setpoint).

El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor Proporcional determina la reacción del error actual. El Integral genera una

corrección del error reestableciéndola, esto nos asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero. El Derivativo **determina la reacción del tiempo en el que el error se produce, dándole velocidad de respuesta (ver figura 1).**

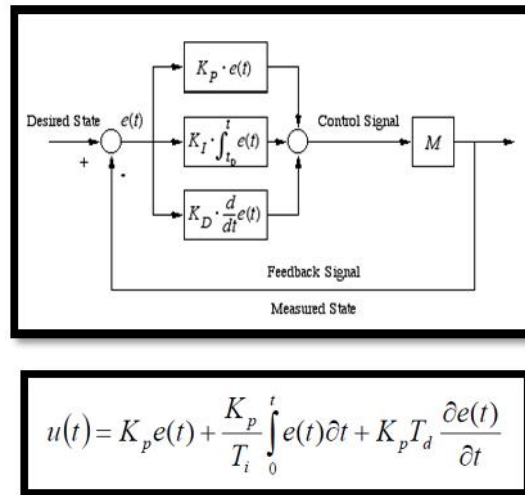


Figura 1. Algoritmo matemático de PID

2. DESARROLLO

Para poder implementar el PID se usa una entrada analógica del PIC, en la cual se lee la entrada a corregir del sistema. Por medio de un software se compara esta entrada analógica con un punto de referencia (setpoint) obtenido por medio de una entrada digital del Microcontrolador. De la comparación se obtiene el error del sistema y luego se aplica un algoritmo PID para corregir ese error y obtener una salida de 8 bits del PIC, que posteriormente entra en un DAC (Convertidor digital-analógica) para lograr tener una salida analógica de 0 a 5 V como máximo.

Diagrama de Flujo, utilizado para el controlador PID digital (ver figura 2).

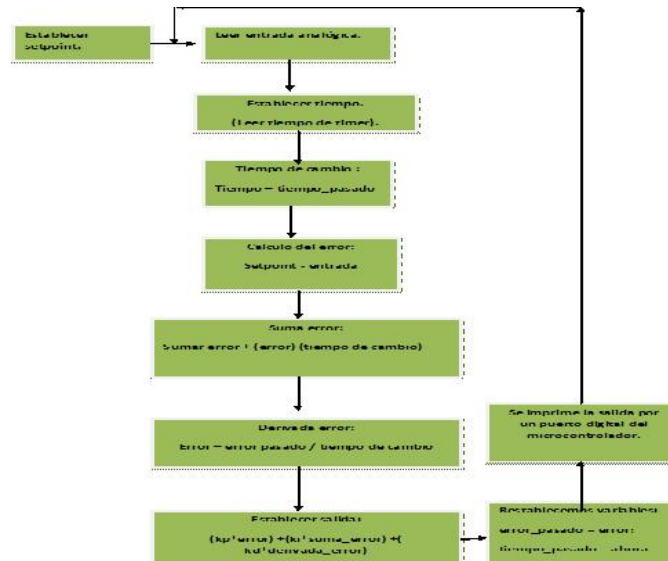


Figura 2. Diagrama de flujo del controlador PID digital

Para la realización del código fuente se utilizó el compilador CCS Compiler. De acuerdo al algoritmo planteado en la Figura 2, para programación de PID en el microcontrolador, el código fuente propuesta se presenta en la figura 3A y 3B.

```

1 #include <16F887.h>
2 #fuses INTRC_ON, NOCLK1, NOWDT, NOPROTECT, NOVP, NOBROWNOUT
3 #define _XTAL_FREQ 4000000
4 #define delay(clock) _delay_us((clock)/1000000) // clock de trabajo del pic a 40M
5 #define use_porth_1nd TRUE //define el puerto b como salida del PIC
6 #include <led.c> //libreria
7 #int _TIMER0
8
9
10 ///////////////////////////////////////////////////variablesPID//////////////////////////////////////
11 int32 tiempo_pasado;
12 int32 tiempo_cambio;
13 int entrada;
14 float salida;
15 int setpoint = 0;
16 float suma_error;
17 float error_pasado;
18 int kp=0;
19 int ki=0;
20 int kd=0;
21 int32 ahora;
22 float derivada_error;
23 float error;
24 int32 tiempo=0; //variable para contar el tiempo
25 int x = 0;
26 int porcentaje =0;
27
28 void TIMER0_isr(void) {
29     tiempo++; //variable aumenta cada milisegundo
30     per_timer0(4); //se recarga el timer0
    }
    
```

Figura 3A. Programa CCS Compiler

Código en PICC Compiler

```
#include <16f887.h>
#fuses INTRC_IO,nomclr,nowdt,noprotect,nolvp,nodebug
#DEVICE ADC=8
#use delay(clock=4000000) // clock de trabajo del pic a 4Mh
#define use_portb_lcd TRUE //define el puerto b como salida del LCD
#include <lcd.c> //libreria
#int_TIMER0

////////////////////////////////variablesPID////////////////////////////////
int32 tiempo_pasado;
int32 tiempo_cambio;
int entrada;
float salida;
int setpoint = 0;
float suma_error;
float error_pasado;
int kp=0;
int ki=0;
int kd=0;
int32 ahora;
float derivada_error;
float error;
int32 tiempo=0 ;//variable para contar el tiempo
int x = 0;

void TIMER0_isr(void) {
tiempo++;//variable aumenta cada milisegundo
set_timer0 (4); } //se recarga el timer0

void main(){

setup_oscillator(OSC_4MHZ|OSC_INTRC);
setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_4); //configuracion de timer0
set_timer0 (4); //carga del timer0
enable_interrupts(INT_TIMER0); //habilita interrupcion timer0
enable_interrupts(global); //habilita interrupcion general
enable_interrupts(INT_TIMER0); //habilita interrupcion timer0
enable_interrupts(global); //habilita interrupcion general

setup_adc_ports(SAN0|VSS_VDD); // configura an0 a an3como entrada analogica
y la referencia en vss y vdd
setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL );

set_adc_channel(0);
delay_us(20);
lcd_init();
```

```
while(true) // bucle infinito
{

    entrada=read_adc();

    ////////////////////////////////////PID////////////////////////////////////
    ahora = tiempo;
    tiempo_cambio = (ahora - tiempo_pasado);
    error = (setpoint - entrada);
    suma_error = (suma_error) + ((error) * (tiempo_cambio));
    derivada_error = (error - error_pasado) / (tiempo_cambio);
    salida = (kp*error) +(ki*suma_error) +( kd*derivada_error);
    error_pasado = error;
    tiempo_pasado = ahora;

    output_D(salida);////////salida

    lcd_gotoxy(1,1);
    printf(lcd_putc, "KP: " );
    lcd_gotoxy(4,1);
    printf(lcd_putc, "%u",kp );

    lcd_gotoxy(7,1);
    printf(lcd_putc, "Ki:" );
    lcd_gotoxy(10,1);
    printf(lcd_putc, "%u",ki );

    lcd_gotoxy(12,1);
    printf(lcd_putc, "Kd:" );
    lcd_gotoxy(15,1);
    printf(lcd_putc, "%u",kd );

    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc, "salida:" );
    lcd_gotoxy(8,2);
    printf(lcd_putc, "%u",salida );

    lcd_gotoxy(12,2);
    printf(lcd_putc, "sp:" );
    lcd_gotoxy(15,2);
    printf(lcd_putc, "%u",setpoint );

    if (x==0)
    {

    if (input(PIN_C0)==1)////sumar
    {
    delay_ms(100);
    kp++;
    delay_ms(100);
    while(input(Pin_C0)==1){}
```

```
}
if (input(PIN_C1)==1)
{
delay_ms(100);
ki++;
delay_ms(100);
while(input(Pin_C1)==1){}
}

if (input(PIN_C2)==1)
{
delay_ms(100);
kd++;
delay_ms(100);
while(input(Pin_C2)==1){}
}

if (input(PIN_C3)==1)
{
delay_ms(100);
setpoint++;
delay_ms(100);
while(input(Pin_C3)==1){}
}
}

if (input(PIN_C4)==1)//condicion para restar
{
delay_ms(200);
x=x+1;
delay_ms(200);
while(input(Pin_C4)==1){}
}

if (x >= 2)
{
x=0;
}

if (x==1)////restar
{
if (input(PIN_C0)==1)
{
if(kp==0){
}
else{
delay_ms(100);
kp--;
delay_ms(100);
while(input(Pin_C0)==1){}
}
}
}
```

```
if (input(PIN_C1)==1)
{

if(ki==0){
}
else{
delay_ms(100);
ki--;
delay_ms(100);
while(input(Pin_C1)==1){}
}
}

if (input(PIN_C2)==1)
{
if(kd==0){
}
else{
delay_ms(100);
kd--;
delay_ms(100);
while(input(Pin_C2)==1){}
}
} if (input(PIN_C3)==1)
{
if(setpoint==0){
}
else{
delay_ms(100);
setpoint--;
delay_ms(100);
while(input(Pin_C3)==1){}
}}}
}}
```

Figura 3B. Programa completo.

Para el convertidor digital-analógico se utilizó el siguiente esquema con el DAC0800, ver figura 4.

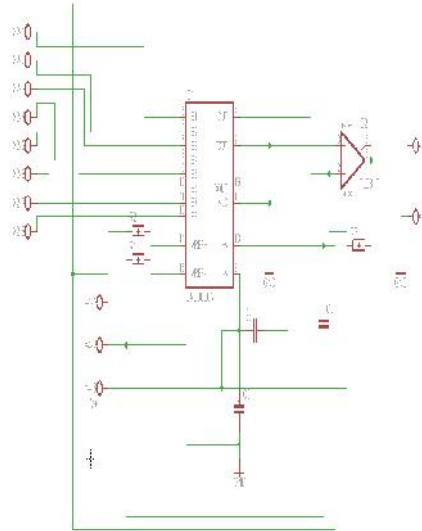


Figura 4. Convertidor digital-analógico DAC0800

3. RESULTADOS

El proyecto consta de dos partes fundamentales: un controlador digital y una fuente de alimentación para poder suministrar la energía de nuestro controlador; los dos sistemas están separados, todo en su respectiva caja (ver figura 5):



5A)



5B)

Figura 5A y 5B. Controlador PID digital con su fuente de alimentación

Como se puede observar en las imágenes, cada botón corresponde al aumento o disminución de los parámetros: "P", "I" o "D" e incluso el set point, según la característica deseada a configurar. La disminución o aumento de las variables se establece con el botón "Down-up" (ver figura 6). Como resultado tenemos un buen trabajo con calidad de procesamiento de señal, sin ninguna dificultad o problema; el cual podrá ser utilizado para muchas aplicaciones como control de potencia en motores de inducción, control de nivel, caudal y presión en procesos químicos, entre otros.



Figura 6. Instrumento Controlador digital en prueba final de operación

4. CONCLUSIONES

Este trabajo obtuvo resultados muy satisfactorios, debido a la versatilidad de poder utilizar dispositivos de tecnología actual, siendo muy barato su implementación.

El algoritmo utilizado en este trabajo, dio resultados muy buenos.

La aplicación del convertidor digital analógico fue de manera relevante y muy interesante, se aprendió a utilizar el integrado DAC0800 de manera exitosa, pudiendo observar su operación de manera simulada con la herramienta Proteus y de manera física.

Se puede aplicar en varias industrias de nuestro entorno.

Ampliación de conocimientos en el área de la instrumentación para estudiantes de sexto semestre de ingeniería en Electrónica.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Esteban del Castillo, Control de Procesos, URV publicacions, 2,3, 29-40, 48-94, (2008).
2. Eduard Bertrán Alberti, Procesado digital de señales, Edicions UPC, 2,3, 7-38, 41-54, (2006).
3. Rodrigo Andrés Franco Luna, Diseño y simulación de un controlador PD análogo con ISIS PROTEUS, Scientia et Technica Año XVII, No 51, (2012).
4. PIC 16F87XA Datasheet. Disponible en internet <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf>.
5. Tutorial Básico de la Nacional Instruments (2011). <http://brettbeauregard.com/blog/2011/04/improving-the-beginners-pid-introduction/>

5. ELÉCTRICA

5.1 ANÁLISIS DE ACONDICIONADORES MULTIENTRADA PARA APLICACIONES DE FUENTES DE ENERGÍAS RENOVABLES.

Jesús Álvarez¹, Freddy Chan¹, Daniella Pacheco², Diego Espinoza³, Víctor Sánchez¹

¹Universidad de Quintana Roo

²Centro de Investigación Científica de Yucatán, CICY

³Universidad Autónoma de San Luis Potosí

orifiel@uqroo.edu.mx, freddy@uqroo.edu.mx

Resumen: Dada la variedad de fuentes que existen (fotovoltaica, eólica, celdas de hidrogeno, etc.), es necesaria una etapa que acondicione el voltaje de la fuente a un bus de voltaje común. Existen diversas soluciones para el acondicionamiento de las fuentes de energía renovables, cada una tiene características sobresalientes sobre las demás, pero también conlleva una serie de desventajas. En este trabajo se presenta un análisis de los diversos convertidores de potencia multi-entrada propuestos para el acondicionamiento en fuentes de energía renovables. De igual manera se presenta el diseño e implementación de un convertidor *Boost Interleaved*, así como el análisis de su desempeño.

Abstract: Abstract: Because of different sources that exist (photovoltaic, wind, hydrogen fuel cells, etc.), a stage that condition the source voltage to a common voltage bus is required. There are several solutions for the conditioning of renewable energy sources, each has outstanding characteristics over others, but also has a number of disadvantages. This paper presents an analysis of the various multi-input converters proposed for conditioning in renewable energy power sources is presented. Likewise, the design and implementation of an Interleaved Boost converter and its performance analysis is presented.

1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas de generación distribuidos (SGD) involucran una diversidad de fuentes de energía (celdas solares, celdas de hidrogeno, supercapacitores, etc.) que, a través de algún tipo de acondicionador de potencia, permite interconectarse a un bus de CD regulado (*figura 1a*). Existen diversos convertidores de potencia para el acondicionamiento de energía. También existen diversos parámetros de diseño p.e. volumen, eficiencia, costo, confiabilidad, etc. En esta sección se realiza una revisión del estado del arte en convertidores de potencia multi-entrada (*figura 1b*). Se analizan diversas topologías de potencia, finalmente se presenta el diseño y un convertidor *Boost Interleaved* seleccionado después del análisis.

Para la elección del convertidor CD/CD multientrada se analizaron diferentes propuestas, tomando en cuenta sus ventajas y desventajas considerando las siguientes características:

- **Costo:** El costo esperado del convertidor va de la mano con el número de componentes que utiliza una topología en particular.
- **Fiabilidad:** En un convertidor CD/CD, componentes como interruptores, diodos, capacitores e inductores están sometidos a estrés eléctrico constante; por lo tanto, un número mayor de componentes incrementa la probabilidad de fallo en el convertidor.

- **Flexibilidad:** Compatibilidad de los convertidores CD/CD multientrada de integrar diferentes fuentes y proporcionar amplia gama de tensiones de salida.
- **Eficiencia:** Es la relación entre la conversión de la energía y como ésta es aprovechada,
- **Control aplicado:** La técnica de control se debe de elegir de acuerdo al modo de operación del convertidor: modo continuo o discontinuo. [1]

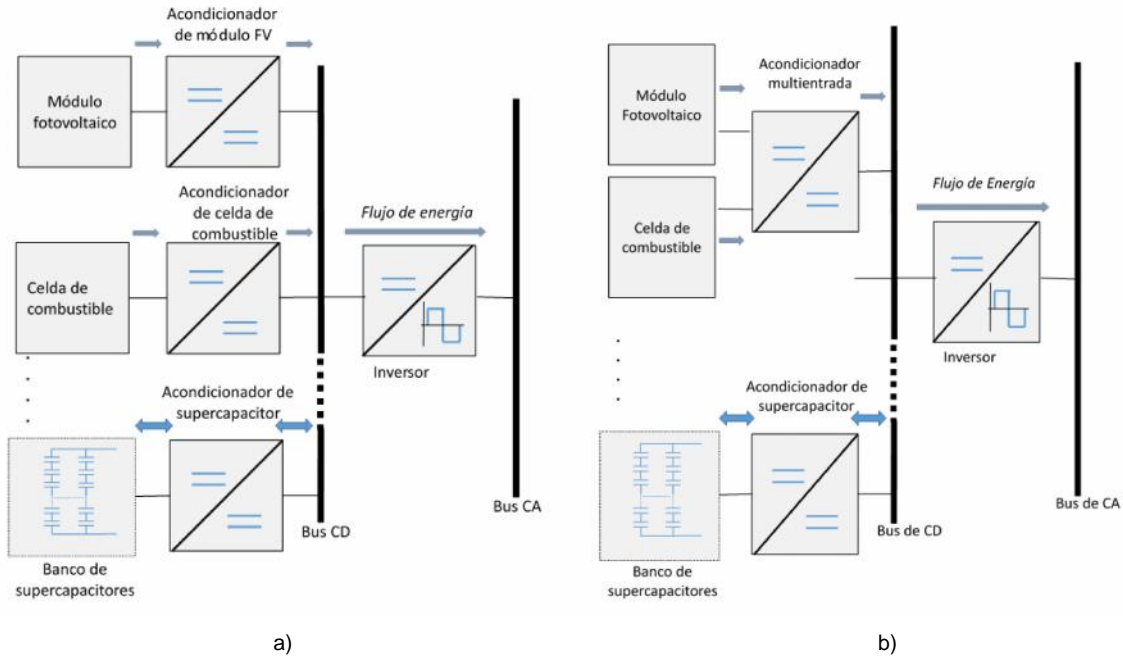


Figura 1 Sistema de Generación distribuido
a) Con acondicionador por cada fuente de energía, b) Con acondicionador multi-entrada.

2 Análisis de Convertidores Multientrada

2.1 Convertidores CD/CD de múltiple entrada una salida no aislados.

La topología propuesta en [2], (*figura 2a*), involucra cuatro modos de funcionamiento diferentes, los cuales se basan en la disponibilidad de las fuentes de tensión de entrada y el estado de conducción de sus respectivos interruptores (S1 y S2). Este convertidor es una combinación del reductor-elevador (Buck-Boost) y el convertidor reductor (Buck). El convertidor puede obtener energía de las dos fuentes sea de manera individual o simultánea, sin embargo, para un funcionamiento correcto se tienen que cumplir ciertas condiciones donde V_{hi} tiene que tener mayor voltaje (al menos mayor que la tensión de salida deseada) y V_{low} debe ser un voltaje menor.

Una modificación de la topología anterior se presenta en [3] con n-número de entradas basada en un convertidor Buck-Boost se muestra en la *figura 2b*). Este convertidor ha reducido los componentes del circuito, pero su inconveniente es la salida de referencia negativa que se puede invertir mediante el uso de un transformador, que se suma al costo y dimensiones de esta topología. El convertidor opera en una dirección y se necesita de otro convertidor para el funcionamiento bidireccional. Otro inconveniente es que sólo una fuente puede entregar la energía a la vez.

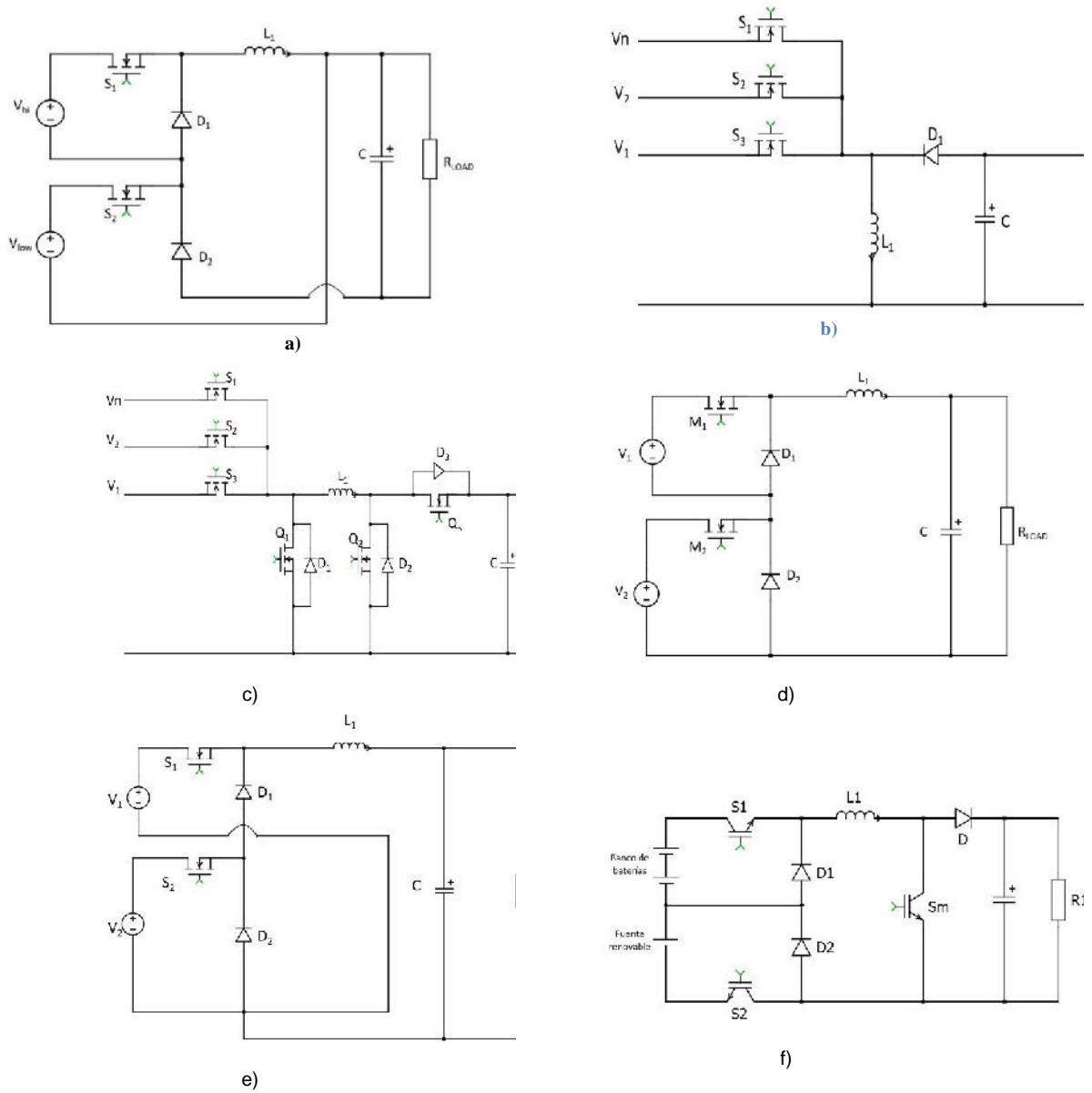


Figura 2 Variantes del Convertidor Buck-Boost

- a) Convertidor de doble entrada Buck-Buck-Boost, b) Convertidor Buck-Boost multientrada Unidireccional,
- c) Convertidor bidireccional multientrada, d) Convertidor de doble entrada Buck-Buck,
- e) Convertidor de doble entrada Buck Boost-Buck Boost, f) Convertidor CD/CD basado en convertidor Boost.

Los problemas mencionados anteriormente se eliminan mediante una topología bidireccional del convertidor CD/CD [4], como se muestra en la *figura 2c*), esta topología proporciona tensión de salida positiva sin ningún transformador adicional. También puede funcionar en modo bidireccional sin requerir de cualquier convertidor adicional. Este opera en tres modos Buck, Boost, y Buck-Boost. Pero el número de dispositivos ha aumentado lo que reduce la eficiencia por pérdidas de conducción, disminuye la fiabilidad y eleva el costo.

En la *figura 2d*), se muestra una topología que integra un Buck-Buck (Reductor-Reductor) donde ambas fuentes pueden suministrar energía individual o simultáneamente [5]. Sin embargo esta estructura trabaja bajo un concepto llamado MSCs (Convertidores CD/CD de Múltiple Fuente) y usa una topología denominada PVSC (Celda de fuente de Voltaje Pulsante) donde una fuente de voltaje está conectada en serie con el interruptor de control, además un diodo está conectado en paralelo con esta combinación. El diodo conectado en paralelo funciona como diodo volante o diodo de derivación de corriente. El enfoque de esta topología se basa totalmente en la conexión apropiada de varios convertidores en una sola celda.

En la *figura 2e*), se muestra una topología que integra un Buck-Boost/Buck-Boost [6], en esta las fuentes de tensión son incapaces de alimentar la carga simultáneamente.

La topología mostrada en la *figura 2f*), está basada en una topología de un convertidor Boost [7]. El convertidor es de doble entrada usando como fuentes de alimentación una fuente de energía renovable (fotovoltaica/eólica) y un arreglo de baterías. El costo del diseño no es tan alto debido a la cantidad de componentes usados y por ende sus dimensiones son menores, la técnica de control usada es modos deslizantes y opera en modo continuo.

El convertidor tiene tres modos de operación:

- Modo 1. Potencia entregada desde una sola fuente de tensión.
- Modo 2. No hay energía disponible de las fuentes de tensión.
- Modo 3. Potencia suministrada desde ambas fuentes de tensión.

Sin embargo el inconveniente que se considera en esta topología es el dado en el modo 3, donde el interruptor S1 y S2 se encienden simultáneamente dejando a ambas fuentes de entrada en una conexión serie. Por lo tanto, se debe considerar la capacidad de corriente soportada por ambas fuentes, debido a que, si se tiene una fuente de entrada de menor capacidad que la otra, puede haber problemas de sobrecalentamiento en una de ellas, bajando su eficiencia y acortando su vida útil a lo largo de su uso.

2.2 Convertidores CD/CD de múltiples entradas múltiples salidas.

La topología mostrada en la *figura 3*, consiste en un convertidor CD/CD de múltiples entradas múltiples salidas que se deriva del convertidor Buck-Boost [8]. Diferentes fuentes de entrada se conectan formando una matriz de interruptores las cuales son controladas bajo el concepto de energía compartida. El número de entradas y salidas se afirma que es ilimitado. Sin embargo, las fuentes de entrada no son capaces de activar las salidas simultáneamente. Una topología muy flexible al integrar múltiples fuentes, sin embargo, el número de componentes aumenta el costo y la eficiencia, además disminuye la fiabilidad. El convertidor opera en modo discontinuo y el control considera un esquema de ciclo de trabajo donde todos los interruptores tienen la misma frecuencia de conmutación; controlar múltiples interruptores aumenta la complejidad del control.

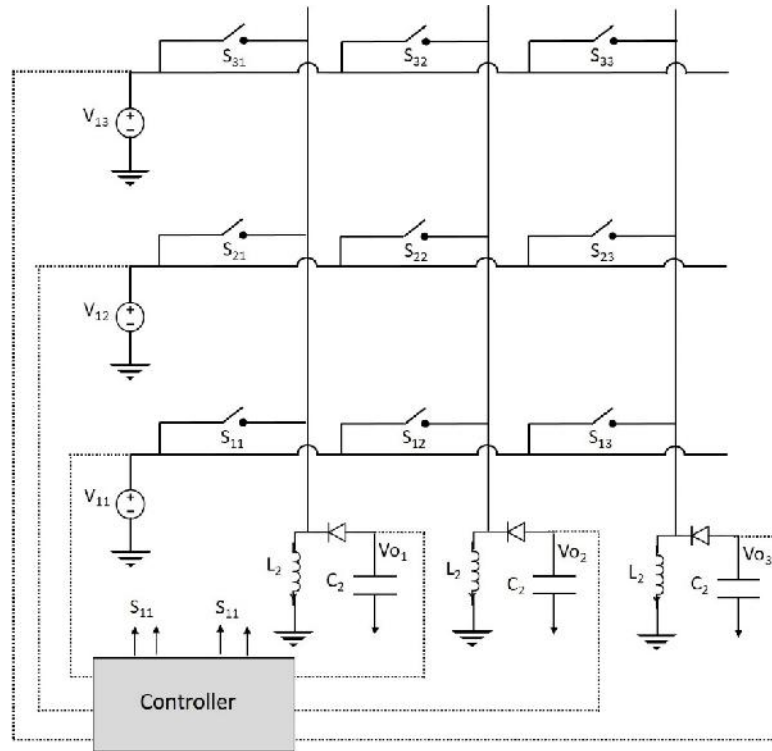


Figura 3 Convertidor de múltiples entradas-múltiples salidas.

2.3 Convertidores CD/CD multientrada aislados.

Un convertidor multientrada de puente completo se muestra en la *figura 4*. Este convertidor combina dos fuentes de entrada de diferentes amplitudes y un acoplamiento magnético del transformador. El convertidor está conformado de dos fuentes de corriente, un transformador de tres devanados y un puerto de salida. El número de fuentes puede aumentar mientras que el puerto de salida y el transformador de acoplamiento magnético siguen siendo los mismos. El flujo magnético que alimenta al inversor CD/AC es producido por las fuentes de corriente de entrada. Cada interruptor del inversor tiene un diodo en serie que bloquea la corriente inversa para asegurar la transferencia simultánea de energía de ambas fuentes. Los devanados de entrada y de la etapa de salida se enrollan en el mismo núcleo de manera que el flujo magnético unido por cada fuente puede pasar completamente a través de la etapa de salida del embobinado. La etapa de salida consiste en un puente rectificador y filtros CA/CD. El convertidor puede suministrar energía de forma individual y al mismo tiempo sin embargo, el diodo de bloqueo de corriente inversa conectado en serie con el interruptor elimina la posibilidad de operación del convertidor en modo bidireccional. Además, gran número de conmutadores y el controlador de complejo aumenta el costo, la fiabilidad y el tamaño del convertidor.

Un convertidor CD/CD bidireccional que cuenta con tres convertidores de medio puente [9], se muestra en la *figura 5*. Este convertidor puede entregar la potencia en cualquiera de las direcciones con diferentes niveles de tensión, se puede lograr una conmutación suave, tiene menor número de componentes y es de alta eficiencia en comparación con las topologías de múltiple entrada de puente completo [10]. Sin embargo el volumen debido a los transformadores del convertidor y el costo de los componentes sigue siendo una complicación.

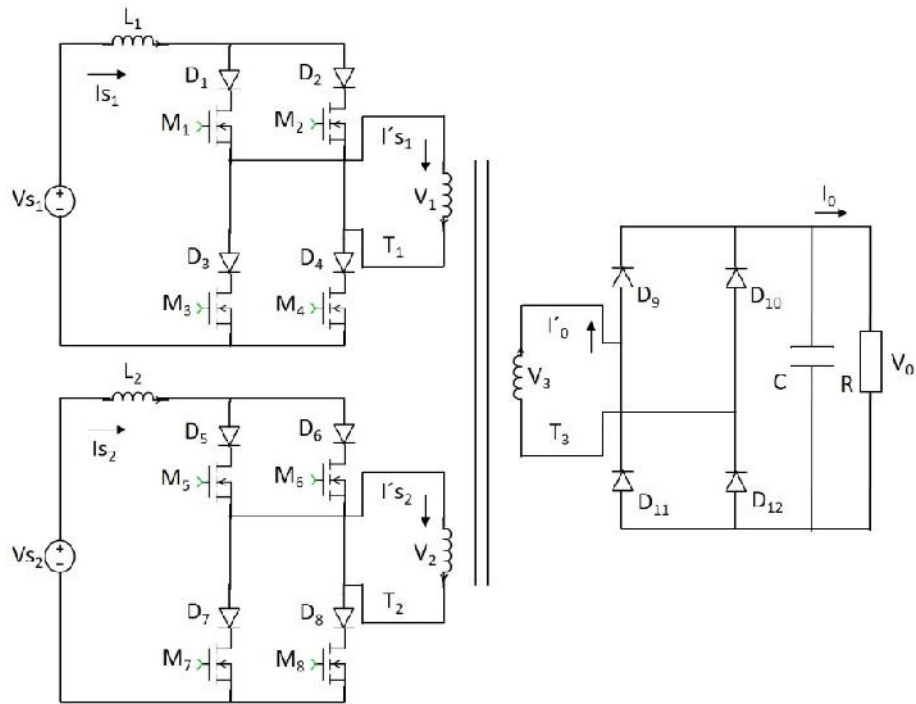


Figura 4 Dos fuentes de corriente alimentan un convertidor de puente completo.

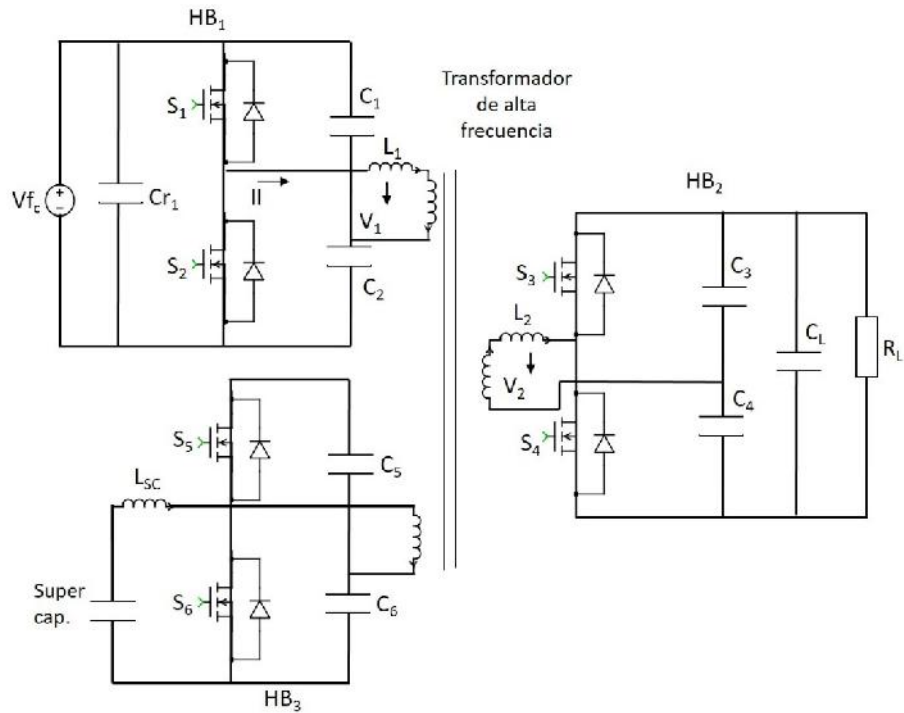


Figura 5. Convertidor CD/CD bidireccional con triple medio puente.

3 PROPUESTA DE CONVERTIDOR DE MULTIPLE ENTRADA

Se plantea como propuesta una topología basada en múltiples convertidores Boost conectados en paralelo para obtener una sola salida, como se muestra en la *figura 6*. Cada una de las fuentes de energía renovables va a conectada a su propio convertidor elevador tratando de mantener la energía a la carga. Las fuentes pueden entregar energía de manera individual o simultáneamente. Cada convertidor tiene su propio control PI (Proporcional Integrador) el cuál serviría para controlar la frecuencia de conmutación de los interruptores de potencia.

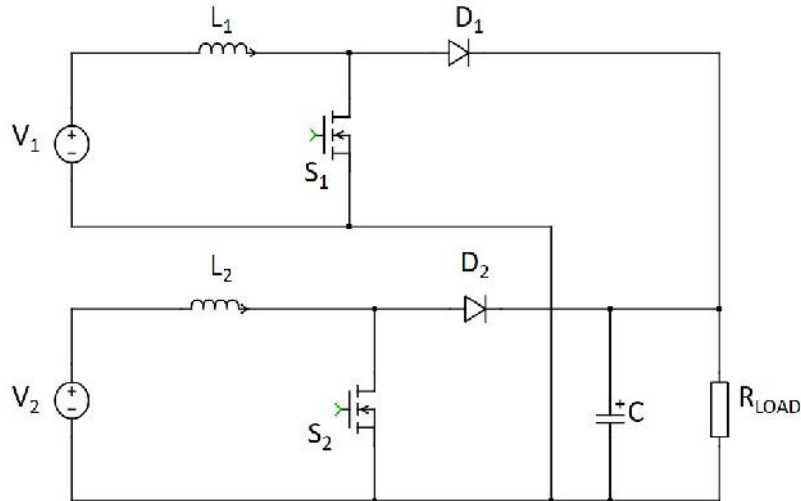


Figura 6 Topología basada en múltiples convertidores Boost con conexión en paralelo.

Una manera de aumentar la eficiencia en el Convertidor Boost Paralelo es mediante el empleo de un convertidor Boost Interleaved (Elevador Intercalado), el cual es una variante del convertidor Boost, pero cuenta con una rama adicional de procesamiento, paralela al inductor y al diodo de la topología convencional, donde tanto los inductores y diodos tienen que ser idénticos, *figura 7a*). Además, cada rama tiene su propio interruptor de potencia los cuales son controlados con señales PWM (Modulación por Ancho de Pulso).

La frecuencia de conmutación en ambas ramas debe de ser la misma, pero sus señales PWM se modulan para tener un desplazamiento de fase de 180° eléctricos, *figura 7b*). Tener dos fases ayuda a disminuir considerablemente el rizado de la corriente en la salida, esto es debido a que la corriente de entrada es dividida en cada fase, donde I_o es la corriente de salida, I_{L1} e I_{L2} , son las corrientes en cada uno de los inductores. Además, la corriente al ser dividida, provoca que los componentes usados en el diseño sean de menor capacidad de potencia ayudando a mejorar la disipación de energía.

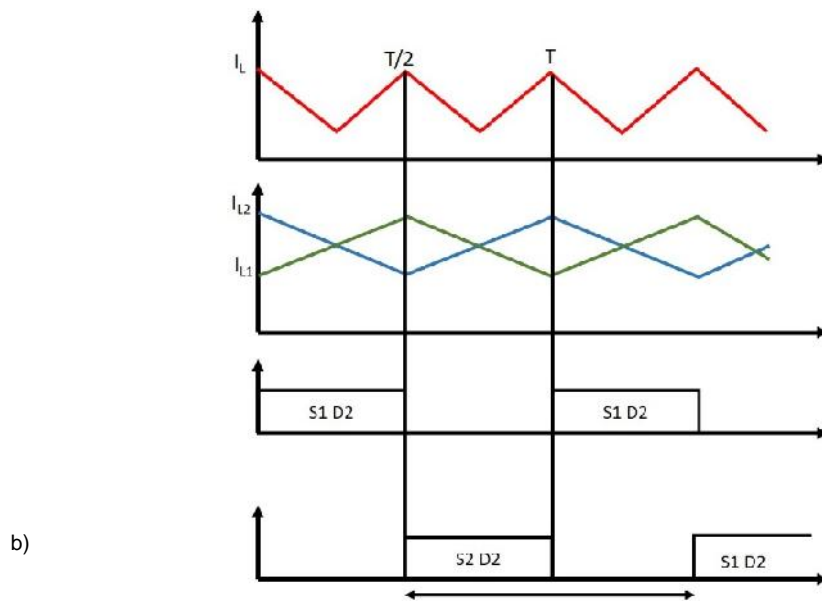
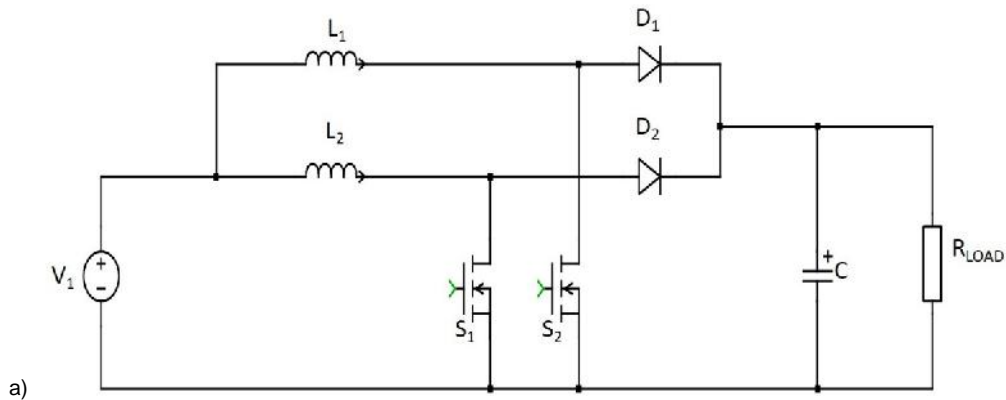


Figura 7 Boost Interleaved.

a) Etapa de potencia

b) Formas de onda del convertidor Boost Interleaved

Con las ventajas del Convertidor Boost Interleaved sobre el convertidor Boost convencional se ha decidido trabajar en una topología de múltiple entrada basada en convertidores Boost Interleaved conectados en paralelo, *figura 8*. Donde ambas fuentes suministrarán energía simultáneamente y cada convertidor tendrá su propio control PI (Proporcional Integrador) en modo voltaje. Se implementó el prototipo en una Placa de Circuito Impreso (PCB) y se realizan mediciones de corrientes, tensiones, se calculan potencias y eficiencias para analizar el desempeño del convertidor multientrada.

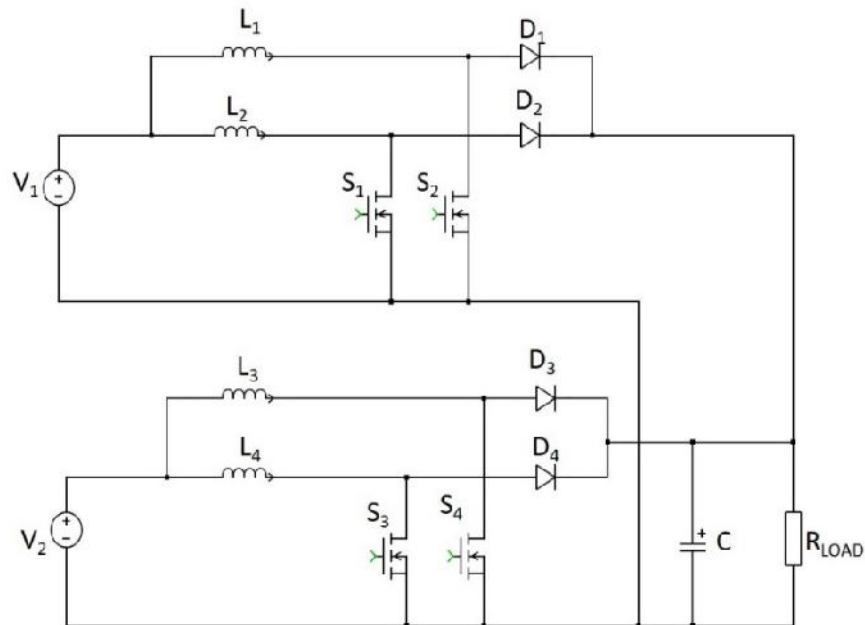


Figura 8. Convertidor Boost Interleaved de doble entrada una salida.

4 Resultados experimentales

En las siguientes figuras se muestra algunos resultados experimentales del prototipo implementado. En la figura 9a) se muestra las señales de control que se aplica a cada rama del Convertidor Boost Interleaved a una frecuencia de 100 kHz. Como se mencionó con anterioridad las señales están desfasadas 180° entre sí (modo push-pull), para minimizar el rizado en la corriente de salida. La figura 9b) muestra tanto el voltaje de entrada como el voltaje de salida del convertidor. Se observa la regulación de tensión (rizado mínimo).

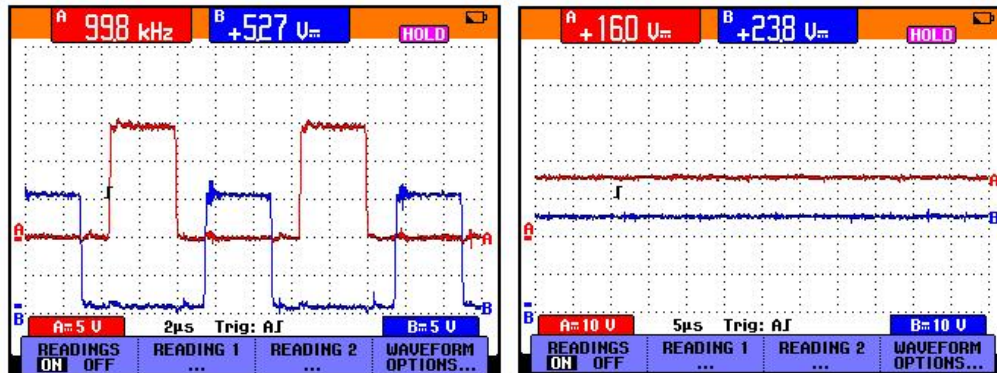
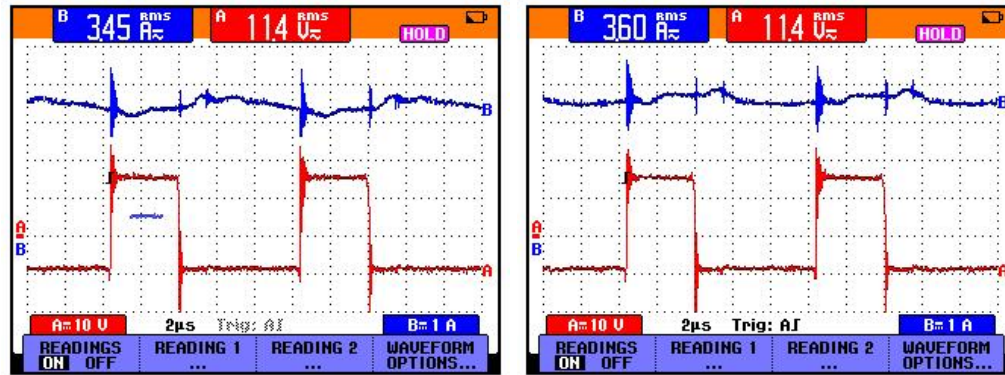


Figura 9. Señales en el convertidor Boost Interleaved.

a) Señales de control del PWM para cada rama, b) Señales del Voltaje de entrada y salida.

En la figura 10 se muestra los esfuerzos en corriente y voltaje de cada uno los inductores, en este caso la corriente de entrada no sobre pasa el límite permitido de 6A. Se observa que el convertidor opera en Modo de conducción continuo (MCC). Existen leves perturbaciones debido a las conmutaciones.



a) I_{L1}/V_{L1} , b) I_{L2}/V_{L2}
Figura 10. Esfuerzos eléctricos en el inductor de cada rama.

La figura 11 muestra los esfuerzos térmicos de los elementos de cada rama. Puede observarse que los inductores son los elementos con mayor esfuerzo térmico. Sin embargo, estos valores se encuentran en un rango aceptable.

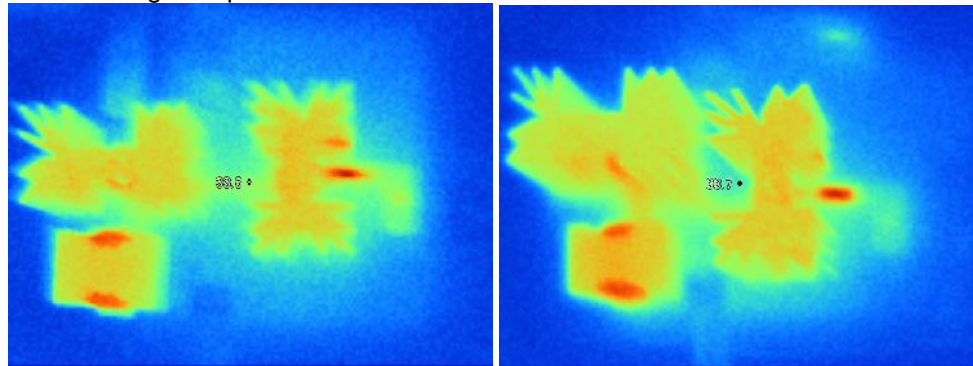


Figura 11. Esfuerzos térmicos en los elementos de cada rama.

La figura 12 muestra el comportamiento de la eficiencia del convertidor Boost ante diferentes tipos de transistor empleado. El transistor IRF640 es un transistor de tecnología HEXFET, el transistor 20N60S5 el cual es un transistor de tecnología COOLMOS y un transistor tipo IGBT. La tabla 1 resume las características de cada interruptor evaluado.

Tabla 1.- Especificaciones de interruptores

HEXFET	COOLMOS	IGBT
<ul style="list-style-type: none"> • 18A, 200V • $V_{SD}=1.3$ V • $r_{DS(ON)} = 0.15$ • $P_D=150$ W • $t_r = 45$ ns • $t_f = 38$ ns • $C_{ISS}= 1160$ pFd • $R_{JC}=1$ °C/W • $R_{JA}=62$ °C/W • TO-220AB 	<ul style="list-style-type: none"> • 20A, 650V • $V_{SD}=1$ V • $r_{DS(ON)} = 0.19$ • $P_D=208$ W • $t_r = 25$ ns • $t_f = 30$ ns • $C_{ISS}= 3000$ pFd • $R_{JC}=0.6$ °C/W • $R_{JA}=50$ °C/W • TO-247 	<ul style="list-style-type: none"> • 23A, 650V • $V_{CE(ON)}=1.95$ V • $P_D=100$ W • $t_r = 9.6$ ns • $t_f = 97$ ns • $C_{ISS}= 1100$ pFd • $R_{JC}=1.2$ °C/W • $R_{JA}=40$ °C/W • $R_{CS}=0.24$ °C/W • TO-247 AC

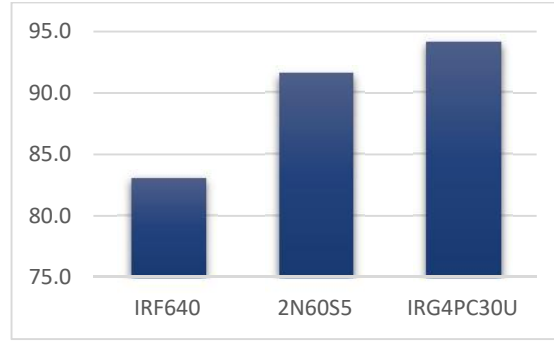


Figura 12. Comportamiento de la eficiencia ante diferente tipo de interruptor.

Puede notarse un mejor desempeño con el transistor tipo IGBT lográndose eficiencia de 94%. En la figura 13 se muestran la forma de onda de corriente de entrada y voltaje en el inductor para los tres casos. En el caso del IGBT se tienen menores pérdidas de conmutación y de conducción resultando un convertidor con mayor eficiencia.

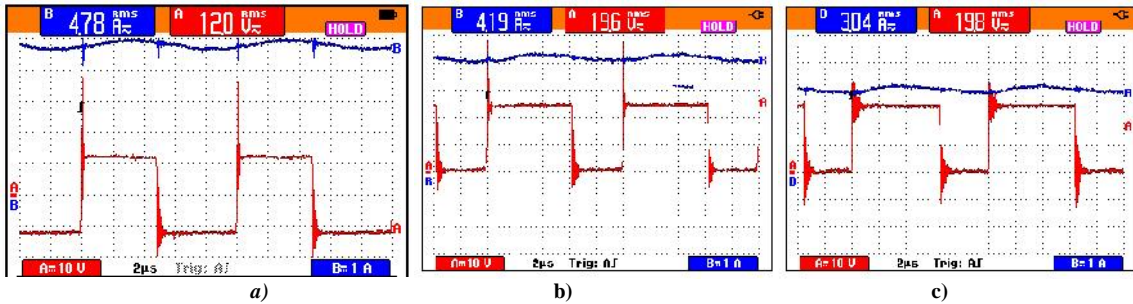


Figura 13. Pérdidas por conmutación y conducción de cada configuración
 a) HEXFET, b) COOLMOS, c) IGBT

En la Figura 14 se presenta el comportamiento de la eficiencia ante modificaciones en la topología de potencia y el control. En el primer caso se verificó un convertidor Boost de etapa única, también se analizó un Convertidor Boost Interleaved con un control de pulso único para ambas ramas. La eficiencia aumentó de 83% a 88% al agregarle la rama al Boost. Finalmente se verificó una topología Boost Interleaved con un control de pulso push-pull (desfase de 180° entre ramas) esto se reflejó en un aumento hasta 93%.

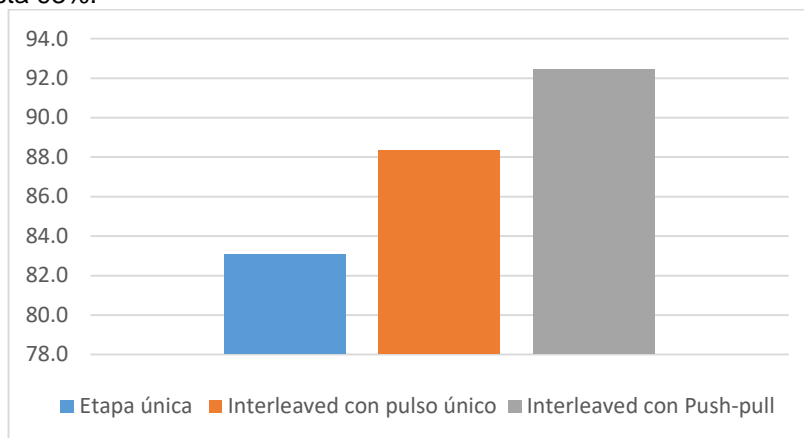


Figura 14. Eficiencia ante cambios en topología y control.

5 Conclusiones

Existen una gran diversidad de topologías de potencia sugeridas como acondicionadores de energía para fuentes renovables. Cada configuración tiene características sobresalientes sobre otras, pero también conllevan algunas desventajas. Dependiendo del enfoque de diseño que se tenga es posible elegir alguna de ellas. En este trabajo se desarrolla un convertidor teniendo como enfoque principal la eficiencia y la confiabilidad. El convertidor Boost Interleaved seleccionado permite obtener un nivel alto de eficiencia y al disminuir los esfuerzos tanto térmicos como eléctricos con lo que se tendría un incremento también en la confiabilidad.

El convertidor desarrollado puede ser empleado para diversas fuentes de energía tales como fotovoltaica, celdas de hidrogeno, eólica entre otras. Aunado al hecho de optimizar la eficiencia, el *Convertidor Boost Interleaved* puede conectarse en paralelo con otro convertidor manejando diversas fuentes e interconectándolas a un bus de CD regulado.

- [1] Z. Rehman, I. Al-Bahadly, and S. Mukhopadhyay, "Multiinput DC-DC converters in renewable energy applications—An overview," *Renew Sust Energy Rev*, vol. 41, pp. 521-539, 2015.
- [2] Y.-M. Chen, Y.-C. Liu, and S.-H. Lin, "Double-input PWM DC/DC converter for high-/low-voltage sources," *IEEE T Ind Electron*, vol. 53, pp. 1538-1545, 2006.
- [3] B. G. Dobbs and P. L. Chapman, "A multiple-input DC-DC converter topology," *IEEE Power Electron Lett*, vol. 1, pp. 6-9, 2003.
- [4] A. Khaligh, J. Cao, and Y.-J. Lee, "A multiple-input DC-DC converter topology," *IEEE Trans. Power Electron*, vol. 24, pp. 862-868, 2009.
- [5] K. P. Yalamanchili, M. Ferdowsi, and K. Corzine, "New double input DC-DC converters for automotive applications," in *IEEE VPPC*, 2006, pp. 1-6.
- [6] M. Gavriş, O. Cornea, and N. Muntean, "Multiple input DC-DC topologies in renewable energy systems-A general review," in *IEEE IN EXPRES*, , 2011, pp. 123-128.
- [7] N. Vázquez, C. Hernández, and E. Vázquez, "A DC/DC converter for clean-energy applications," in *Clean Energy Systems and Experiences*, ed, 2010, p. 1.
- [8] M. Jafari, G. Hunter, and J. G. Zhu, "A new topology of multi-input multi-output buck-boost DC-DC converter for microgrid applications," in *IEEE PCon*, 2012, pp. 286-291.
- [9] S. Liu, X. Zhang, H. Guo, and J. Xie, "Multiport DC/DC Converter for stand-alone photovoltaic lighting system with battery storage," in *ICECE*, 2010, pp. 3894-3897.
- [10] D. Yang, X. Ruan, Y. Li, and F. Liu, "Multiple-input full bridge dc/dc converter," in *IEEE ECCE*, 2009, pp. 2881-2888.

5.2 ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE EXCITACIÓN EN AEROGENERADOR DE INDUCCIÓN DOBLEMENTE ALIMENTADO CONECTADO A RED

M.C. Javier David López Balam
ing.lopez.balam@gmail.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 presenta el análisis de la máquina de inducción doblemente alimentada en régimen generador ante variaciones de voltaje aplicado al rotor, esto con el objetivo de observar y comprender el comportamiento de las variables eléctricas y mecánica de la misma. Este estudio se basa en el modelo de la máquina el cual está conectado a bus infinito por medio de una línea eléctrica. El desarrollo de esta simulación se realizó en SIMULINK, el cual es un entorno de programación visual que funciona en el programa MATLAB. Las características de funcionamiento de un generador de inducción doblemente alimentado hacen que este sistema sea utilizado ampliamente, ya que la generación de energía basada en el viento está desarrollándose rápidamente en el mundo.

Palabras clave – Máquina de inducción, generador eólico, variación de excitación.

Abstract. This article presents the analysis of the doubly-fed induction machine generator system with variations in the voltage applied to the rotor, this in an effort to observe and understand the electrical and mechanical variables of the same. This study is based on the machine model to be connected through a line to an infinite bus. The development of this simulation was performed in SIMULINK, which is a visual programming environment that runs on the MATLAB program. Performance characteristics of a doubly-fed induction generator make this system is widely used, as power generation based on wind is developing rapidly in the world.

Keywords - Induction machine, wind turbines, variation of excitation.

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 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].

Muchas de las turbinas eólicas utilizan un generador de inducción trifásico de rotor devanado para la generación de energía eléctrica. Fuera de la industria eólica y de las pequeñas unidades hidroeléctricas este tipo de generador no es muy extendido, si en términos comparativos se hace referencia a la demanda de energía que cubren los otros tipos de tecnologías disponibles.

Se sabe que la topología para convertir la energía mecánica procedente del viento en energía eléctrica condiciona directamente el comportamiento del aerogenerador en cuanto a su velocidad de rotación y por tanto al par de carga mecánico en la misma, la cual impacta directamente a la potencia activa que puede proporcionar al sistema donde se encuentre conectado. Resulta entonces un tema de estudio determinar lo que se modificará durante el funcionamiento en el aerogenerador de inducción doblemente alimentado si la variación radica en el voltaje aplicado al devanado rotor.

Por tanto, en este artículo se realiza un estudio de variación en la excitación del devanado rotor del generador eólico, el cual se simula con pequeños incrementos de voltaje; dichos incrementos de voltaje serán de 1 Volt de línea a línea por segundo. Se sabe que las variaciones de alimentación en el rotor modifican la operación del generador eólico, y esto se evaluará con las simulaciones que aquí se presentan, de esta manera se contribuye al análisis de la máquina asíncrona.

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, Fig. 1. La potencia en el flujo de aire está dada por la siguiente ecuación [3]:

$$P_{viento} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \tag{1}$$

Dónde:

- A = Área barrida del rotor, (m²).
- ρ = Densidad del aire (aproximadamente 1.225 kg*m⁻³).
- v = Velocidad del viento libre (m/s).

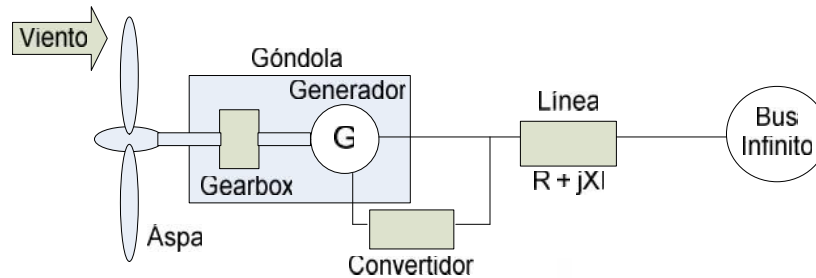


Figura 1.- Generador conectado a bus infinito por una línea eléctrica

Aunque la ecuación (1) expresa la potencia disponible del viento, la potencia transferida al rotor del aerogenerador es reducido por el coeficiente de potencia $C_p(\lambda, \beta)$:

$$C_p(\lambda, \beta) = \frac{P_{Turbina\ de\ viento}}{P_{viento}} \tag{2}$$

$$P_{Turbina\ de\ viento} = C_p(\lambda, \beta) P_{viento} = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p(\lambda, \beta) \tag{3}$$

El coeficiente de potencia varía con el ángulo de paso de las aspas (β), puesto que se puede modificar así el área de barrido y la relación de velocidad periférica (λ), que también se le suele

llamar velocidad específica. El coeficiente de potencia llega a ser una función de λ y β , esto es $C_p(\lambda, \beta)$, y como una función de estas variables puede ser expresado de la siguiente forma [3]:

$$C_p(\lambda, \beta) = 0.5176 \frac{116}{\lambda_i} - 0.4\beta - 5 e^{(-21/\lambda_i)} + 0.0068\lambda \quad (4)$$

De esta ecuación se tiene que:

$$\lambda_i = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1}^{-1} \quad (5)$$

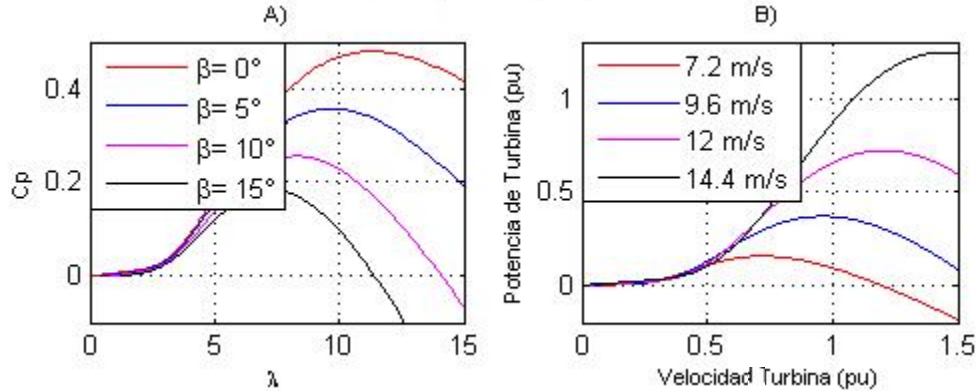


Figura 2.- A) Coeficiente de potencia y B) Potencia de turbina

En la Fig. 2 A) se ilustran algunas curvas para distintos valores del ángulo de inclinación de las aspas; de estas curvas se puede apreciar que cuando β aumenta, el valor de C_p disminuye, reduciendo así la potencia mecánica producida por la turbina de viento. La potencia mecánica de salida de la turbina de viento se expresa según la ecuación (3).

Como se puede observar de las curvas de β , para producir la potencia máxima este ángulo se debe llevar a valores óptimos (generalmente menos de 10°). En la Fig. 2 B) se observan las curvas de par mecánico para valores específicos de velocidades de viento, siendo utilizado el valor de $\beta = 0^\circ$, considerando que ante este parámetro se obtiene el mayor coeficiente de potencia de la turbina de viento; el ángulo β es modificado para evitar velocidades supersíncronas debido a la característica de comportamiento antes mencionada [4].

3. MODELO DE LA MÁQUINA DE INDUCCIÓN

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]:

$$\vec{V}_s = \frac{2}{3} (V_{as} + a * V_{bs} + a^2 * V_{cs}) \quad (6)$$

$$\vec{V}_r = \frac{2}{3} (V_{ar} + a * V_{br} + a^2 * V_{cr}) \quad (7)$$

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 θ_e en el estator, y $\theta_e - \theta_r$ en el rotor, donde el subíndice r denota una cantidad de rotor, se tiene:

$$\bar{V}_s = V_{ds} + jV_{qs} = \frac{2}{3}(V_{as} + a * V_{bs} + a^2 * V_{cs})e^{-j\theta_e} \quad (8)$$

$$\bar{V}_r = V_{dr} + jV_{qr} = \frac{2}{3}(V_{ar} + a * V_{br} + a^2 * V_{cr})e^{-j(\theta_e - \theta_r)} \quad (9)$$

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:

$$\bar{V}_s = R_s \bar{I}_s + j \frac{\omega_e}{\omega_b} \bar{\psi}_s + \frac{1}{\omega_b} \frac{d}{dt} \bar{\psi}_s \quad (10)$$

$$\bar{V}_r = R_r \bar{I}_r + j \frac{(\omega_e - \omega_r)}{\omega_b} \bar{\psi}_r + \frac{1}{\omega_b} \frac{d}{dt} \bar{\psi}_r \quad (11)$$

Los enlaces de flujo son representados por:

$$\bar{\psi}_s = X_{ss} \bar{I}_s + X_m \bar{I}_r \quad (12)$$

$$\bar{\psi}_r = X_{rr} \bar{I}_r + X_m \bar{I}_s \quad (13)$$

Dónde:

$$X_{ss} = X_{ls} + X_m \quad X_{rr} = X_{lr} + X_m$$

La reactancia con subíndice m es la correspondiente al campo de magnetización mutuo; ω_b es la frecuencia base del sistema y ω_e es la del marco de referencia. En este caso el voltaje V_r será modificado para observar el comportamiento del generador.

En la Fig. 3 se visualiza el circuito equivalente que se obtiene para el análisis del generador de inducción de forma fasorial.

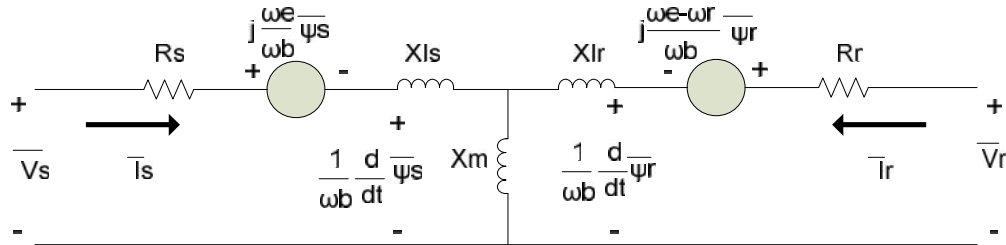


Figura 3.- Circuito equivalente de la transformación de variables

El par electromagnético debido a los enlaces de flujo de estator y las corrientes en el mismo, es calculado de la siguiente forma:

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{\omega_b} \frac{1}{\omega_b} \text{Real} \{ j * \bar{\psi}_s * \bar{I}_s^* \} \quad (14)$$

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:

$$T_e - \epsilon T_L = \frac{2H}{\omega_b} \frac{d}{dt} \omega_r \Rightarrow \omega_r = \frac{\omega_b}{2H} (T_e - \epsilon T_L) dt \quad (15)$$

Se desprecia el coeficiente de viscosidad provocado por la fricción del rotor, además se tiene en cuenta que $\epsilon = -1$ en régimen generador. En la ecuación anterior, se tiene que:

$$H = \frac{J \omega_b}{P} \quad (16)$$

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:

$$P_e = \frac{3}{2} \text{Real} \{ \bar{V}_s \bar{I}_s^* \} \quad , \quad Q_e = \frac{3}{2} \text{Imag} \{ \bar{V}_s \bar{I}_s^* \} \quad , \quad \text{Cos } \theta = \frac{P_e}{S_e} \quad (17)$$

La potencia eléctrica aparente S_e , resulta de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las potencias anteriores.

4. MODELO DE RED CON GENERADOR DE INDUCCIÓN

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 [6], donde se modela de la siguiente forma, Fig. 4:

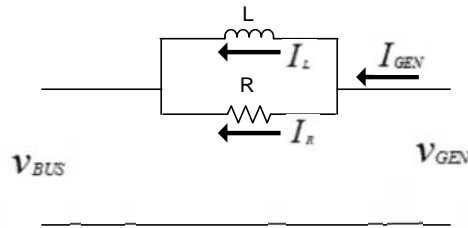


Figura 4.- Modelo de línea eléctrica para la simulación del sistema de potencia

$$I_{gen} = I_R + I_L \quad , \quad V_{Linea} = L \frac{dI_L}{dt} = RI_R$$

$$V_{gen} = V_{bus} - V_{Linea} \quad (18)$$

Este modelo de línea es adecuado ya que se considera al generador como una fuente que inyecta corriente al sistema, el cual se conecta por medio de este modelo de línea eléctrica al bus infinito, como en la Fig. 1. En este estudio se tiene que los parámetros de la línea son $R = 0.466 \Omega$ y $L = 0.0092 H$. Cabe mencionar, que los aerogeneradores doblemente alimentados se conectan al rotor por medio de un inversor, cuyo trabajo es regular el voltaje que recibe como excitación.

Para este artículo se considera una fuente regulable de excitación separada conectada al devanado rotor, con el objetivo de comprender de manera más sencilla la tarea de este equipo electrónico de potencia en el proceso de control de generación.

5.- ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE EXCITACIÓN

En los aerogeneradores, el movimiento de las aspas se encuentra sometido a la naturaleza variante de la velocidad con que el viento se desplaza, es por eso que se debe hacer un estudio de viabilidad para la instalación de este tipo de generación de energía, donde se realizan los cálculos de potencia del flujo de aire que serán aprovechados por el generador. El análisis propuesto en este trabajo considerará una serie de cambios uniformes de excitación en devanado del rotor, esto es, aplicación de escalones de voltaje. Se ha considerado este rango de variación para analizar los diferentes escenarios de operación del generador conectado a red eléctrica. Para implementar la simulación en MATLAB SIMULINK, se utilizan (8)-(17), y (18) para el modelo de la línea eléctrica. Los parámetros tomados para la simulación se muestran en la Tabla 1, y que se encuentran en [7].

Tabla 1.- Parámetros eléctricos del generador de inducción

Datos del Generador	
$R_s = 2.52195$	$R_r = 0.976292$
$X_{ls} = 1.95145$	$X_{lr} = 2.99451$
$X_m = 55.3431$	$J = 0.117393 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$
$V_{LL} = 340 \text{ V (RMS)}$	HP = 10 hp
P = 4 polos	f = 50 Hz

Los voltajes que se consideran en el bus infinito tienen la secuencia de fases como en el conjunto de ecuaciones (19) y en la Fig. 5 se ilustra el modelo completo armado en SIMULINK.

$$\begin{aligned}
 V_{as} &= \sqrt{\frac{2}{3}} V_{LL} \cos(2\pi ft) \\
 V_{bs} &= \sqrt{\frac{2}{3}} V_{LL} \cos\left(2\pi ft - \frac{2\pi}{3}\right) \\
 V_{cs} &= \sqrt{\frac{2}{3}} V_{LL} \cos\left(2\pi ft + \frac{2\pi}{3}\right)
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

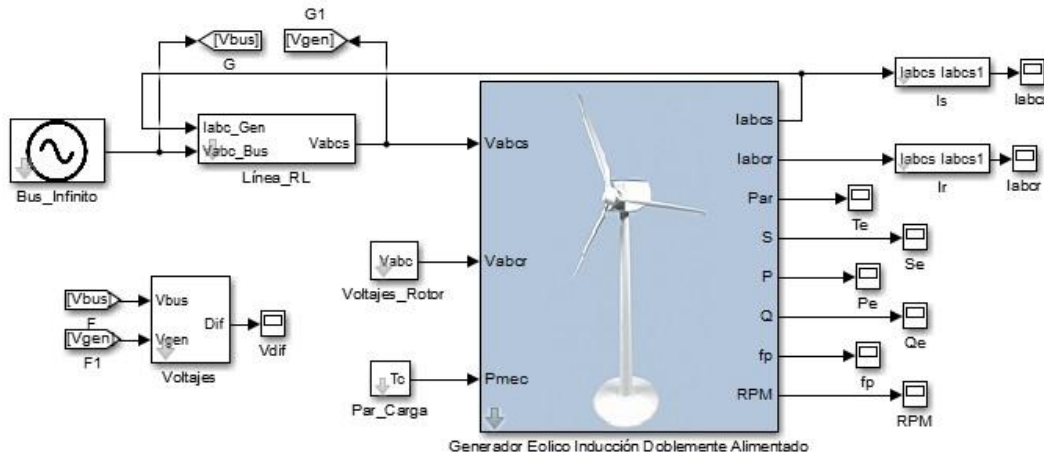


Figura 5.- Modelo de generador-red-bus infinito armado en MATLAB SIMULINK

Tomando en cuenta que la naturaleza del viento es errática, el análisis de comportamiento se centrará en estados cuasi-estables de cada variación impuesta, por tanto, las gráficas serán para características operativas de carga del 100%, 75% y 50% del par nominal. Para analizar los efectos de la variación de excitación en rotor se monitorean las variables de generación como voltaje en terminales y corrientes *RMS*, potencias activa, reactiva y aparente, además del par eléctrico y la velocidad mecánica del rotor.

Ante cada circunstancia de carga mencionada, se realizaron incrementos de voltaje en el rotor de 1 V por segundo. Aun cuando un par de carga del 100% en el aerogenerador no es siempre alcanzado durante su funcionamiento, resulta necesario analizar su desempeño cuando se trabaje a potencia nominal, ya que esta condición es la que se toma como base para muchas consideraciones de diseño y ampliación del sistema eléctrico al cual se encuentre conectado el aerogenerador.

Tabla 2.- Frecuencia de corrientes inducidas en el rotor para distintos pares de carga

Par de Carga	Frecuencia
100 % del nominal	2.705 Hz
75 % del nominal	2.099 Hz
50 % del nominal	1.466 Hz

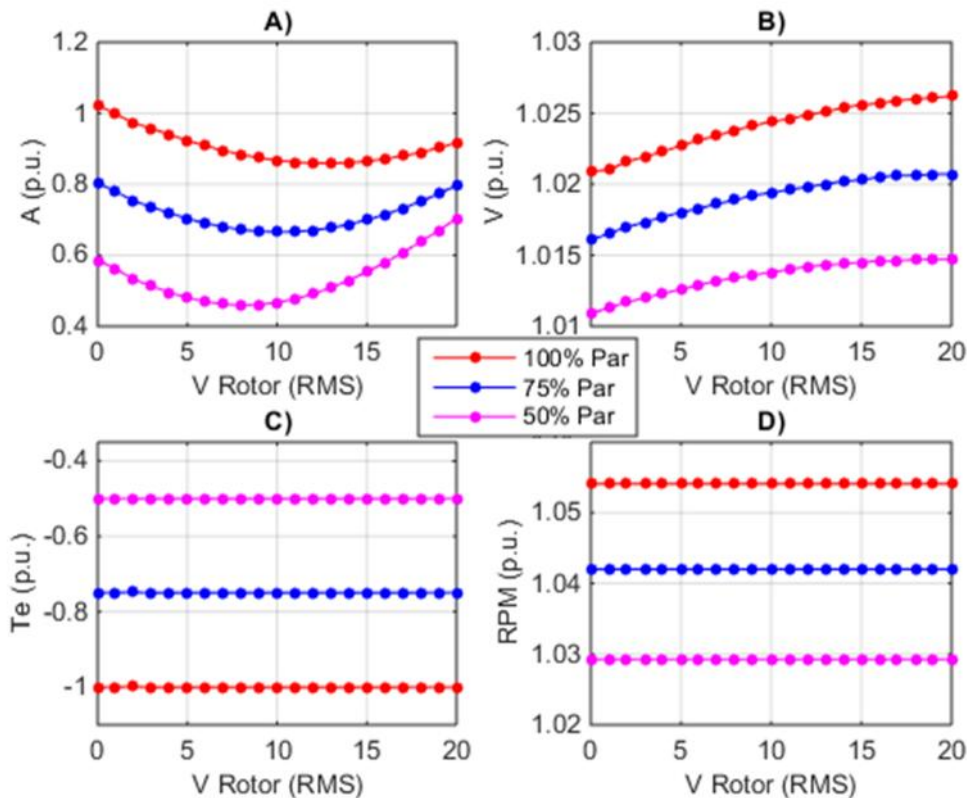


Figura 6.- Variables eléctricas y mecánica de la máquina: A) Corrientes en estator, B) Voltaje en terminales del generador (V_{gen}), C) Par eléctrico desarrollado, y D) Velocidad de giro de rotor. En la Tabla 2 se observan las frecuencias de los voltajes aplicados en el rotor para el estudio. Dichas frecuencias corresponden a una operación estable del aerogenerador para cada par considerado; ya que ante un par de carga mecánico, se tiene una frecuencia angular de giro y por ende la frecuencia de corrientes inducidas en el rotor tienen un valor distinto para cada circunstancia, debido al deslizamiento de la máquina de inducción, pudiendo observarse que éstas son de baja frecuencia. Las gráficas mostradas en el estudio se encuentran referidas en por unidad (*p. u.*) ante cada variación *RMS* de voltaje en el devanado rotor, debido a que es más sencillo realizar una comparación de variables bajo esta representación escalar. Para la Fig. 6 A) se puede observar la variación de corriente inyectada al sistema, observándose una característica de funcionamiento, donde a mayor excitación en par de 100% la corriente de salida disminuye, pero a mayor excitación en par de carga de 50% la corriente de salida aumenta, debido a la respuesta en potencia aparente que presenta la máquina de inducción doblemente alimentada. Se observa también, en la Fig. 6 B) que cuando la excitación va aumentando, el perfil de voltaje en terminales del aerogenerador aumenta, pudiendo entonces asegurarse, que dependiendo del aumento de carga eléctrica a alimentar, es una buena estrategia de control la excitación en el voltaje de rotor, para cumplir con rangos operativos de magnitud de tensión en terminales de la máquina. Como era de esperarse, la variación de excitación no repercute en la velocidad de giro del rotor ni en el par eléctrico desarrollado por el generador de inducción, ya que estas dos variables solo dependen del cambio en el par mecánico de trabajo, como se puede ver en la Fig. 6 C) y D).

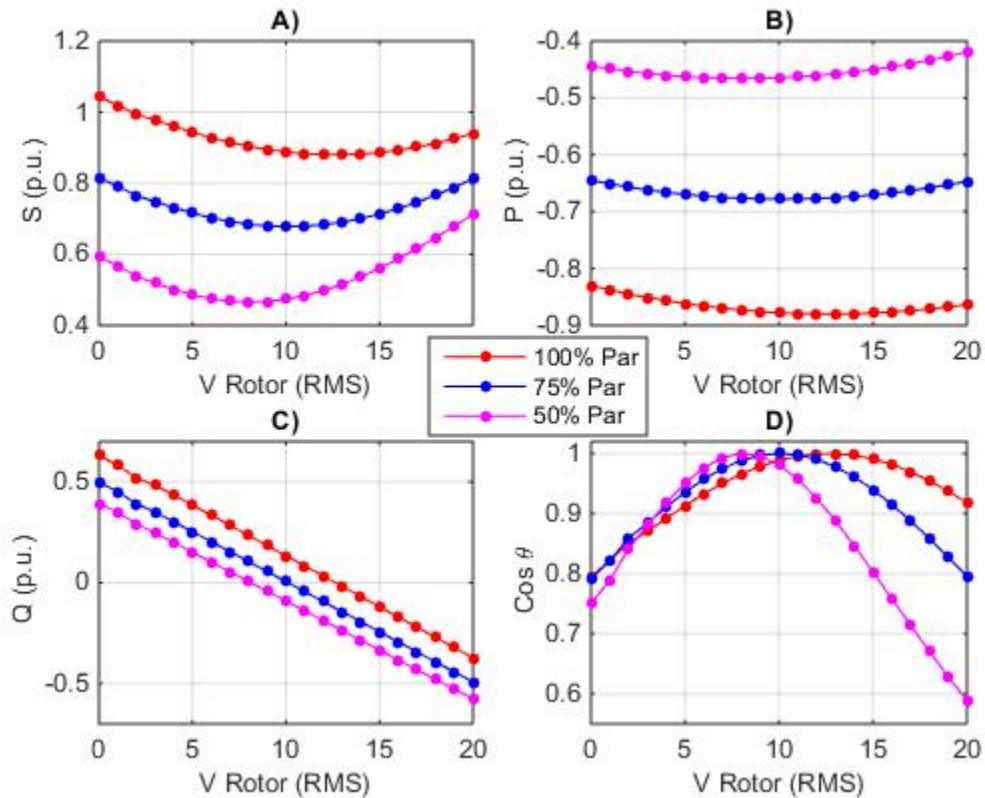


Figura 7.- Capacidad del aerogenerador: A) Potencia aparente, B) Potencia activa, C) Potencia reactiva, y D) Factor de potencia

En el conjunto de gráficas mostradas (Fig. 7), se puede observar las variables relacionadas a la capacidad del generador de inducción doblemente alimentado. En la Fig. 7 C) se observa como varía la potencia reactiva, donde para una baja magnitud de excitación se tiene un consumo de potencia reactiva, la cual al ser positiva se asume que entra en terminales del generador, y conforme aumenta la excitación cambia esta consigna, observando que con magnitudes de excitación adecuadas consigue aportar reactivos al sistema donde se encuentra conectado; con signo negativo se considera saliente de terminales.

Con la potencia reactiva modificada por la excitación, el factor de potencia también cambia, pudiendo moverse como en la Fig. 7 D), observándose que para 50% de par basta con poca excitación para mejorar el factor, pero que un aumento no controlado de voltaje en rotor dicho factor de potencia cae drásticamente por el incremento de potencia reactiva.

En la Fig. 7 A) la potencia aparente se modifica, teniendo gran similitud con la gráfica de corrientes mostradas en la Fig. 6 A), debido precisamente al aumento de reactivos. Con respecto a la potencia activa, los valores obtenidos son negativos debido a que son salientes de la máquina hacia el sistema eléctrico, tomando en cuenta que la variación es mínima, Fig. 7 B), debido a que ésta depende del factor de potencia en cuestión, pero no es tan importante su cambio comparativamente a la potencia reactiva.

6. CONCLUSIONES

Con este estudio se obtiene una buena apreciación del comportamiento de las variables eléctricas y mecánica del generador de inducción doblemente alimentado ante cambios en la excitación del devanado rotor. Este estudio contribuye al análisis del comportamiento reactivo del generador de inducción, donde se pudo constatar que la variación de excitación del aerogenerador conlleva a un cambio importante del factor de potencia. Como se visualizó en las gráficas, la variación de voltaje aplicado en terminales del rotor repercute directamente en la potencia reactiva y por ende, en el control de voltaje que tiene la máquina en terminales, pudiendo con ello cumplir rangos operativos referentes a magnitudes de tensión del sistema al cual se encuentra conectado.

Finalmente se concluye que si se aplica un método de control eficiente en el convertidor que conecta al devanado rotor con el sistema, se tendría entonces un control adecuado de reactivos para las consignas de carga eléctrica a alimentar sin descuidar los perfiles de voltaje del aerogenerador.

7. 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] Siegfried Heir, *"Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems"*, 2nd ed., Wiley & Sons, 2006, ISBN: 978-0-47197-143-6.
- [4] Federico Milano, *"Power System Modelling and Scripting"*, Springer, London, 2010, ISBN: 978-3-642-13668-9.
- [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] Okoro O. I., *"Dynamic Modeling and Simulation of Squirrel- Cage Asynchronous Machine with Non-Linear Effects"*, JAI, Vol. 2, Issue 6, 2005.

5.3 MÁQUINA ASÍNCRONA TIPO JAULA DE ARDILLA CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO PAR-DESLIZAMIENTO

M.C. Javier David López Balam
ing.lopez.balam@gmail.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 describe el funcionamiento de la máquina asíncrona tipo jaula de ardilla. Se puede obtener curvas descriptivas acerca de distintos escenarios de operación, de los cuales se puede identificar importantes regiones que caracterizan dos modos de funcionamiento a saber: régimen motor y régimen generador. Para el análisis de las curvas de operación se utiliza el circuito equivalente de la máquina rotatoria de inducción y para el trazado se utiliza el programa MATLAB, el cual es una buena herramienta de cálculo avanzado. Con esto, se contribuye al estudio y entendimiento de las máquinas asíncronas, las cuales son ampliamente utilizadas en diversas ramas de la industria.

Palabras clave – Máquina asíncrona, jaula de ardilla, par-deslizamiento, régimen motor, régimen generador.

Abstract. This article describes the operation of the machine asynchronous squirrel-cage. Descriptive curves can be obtained on different operating scenarios, which can identify important regions that characterize two operating modes namely: motor and generator. For the analysis of the curves the equivalent circuit of the rotating induction machine is used and for plotting the MATLAB program, which is a good tool of advanced calculus. With this, it contributes to the study and understanding of asynchronous machines, which are widely used in various branches of industry.

Keywords – Asynchronous machine, squirrel-cage, torque-slip, motor, generator.

1. INTRODUCCIÓN

La máquina de inducción es utilizada en una gran variedad de aplicaciones como un medio para convertir energía eléctrica en mecánica o viceversa. Este tipo de máquina es básicamente una máquina polifásica de corriente alterna conectada a una red de suministro, ya sea solo en el estator o en estator y rotor [1]. La diferencia entre los campos magnéticos en estator y rotor producen un par a partir de cero en adelante en la velocidad del rotor; los devanados de rotor pueden ser multifásicos (rotor devanado) o hecho de barras cortocircuitadas por anillos finales en su construcción (de jaula de ardilla) [2].

Se puede estudiar y comprender el funcionamiento de la máquina de inducción o asíncrona, por medio de un circuito equivalente que proporciona información acerca de la conexión de sus devanados de rotor y estator y como éstos interactúan debido al campo magnético existente durante su régimen de trabajo. Se hace uso de transformaciones que permiten evitar ciertos inconvenientes, como por ejemplo la variación de inductancias de los devanados por la acción del movimiento rotórico; esta transformación permite cambiar variables de tres devanados a dos devanados magnéticos ficticios, y la interpretación de los mismos forman el circuito equivalente [3].

Por tanto, en este artículo se realiza un estudio de variación de parámetros para jaula de ardilla, tales como el voltaje aplicado en terminales de la máquina, variación de la resistencia de rotor, variación

de la impedancia de devanado estático y variación de resistencia de estator, la cual se calcula con pequeños incrementos o decrementos de dichas variables y así obtener grupos de curvas de par-deslizamiento.

2. TRANSFORMACIÓN DE VARIABLES

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 [4]. Un cambio de variables es a menudo usado para reducir la complejidad de estas ecuaciones diferenciales. En estos cambios se reemplazan las variables asociadas con los devanados del estator y rotor (voltajes, corrientes y enlaces de flujo) con variables asociadas a devanados ficticios, los cuales son hallados mediante relaciones trigonométricas que permiten proyectar las tres fases del estator a dos ejes magnéticos.

La transformación de Park, la cual revolucionó el análisis de máquinas eléctricas [5], tiene la única propiedad de eliminar todas las inductancias variantes en el tiempo de la máquina síncrona las cuales ocurren por circuitos eléctricos en movimiento relativo y circuitos eléctricos con reluctancia magnética variante. 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:

$$\bar{V}_s = \frac{2}{3} (V_{as} + a * V_{bs} + a^2 * V_{cs}) \quad (1)$$

$$\bar{V}_r = \frac{2}{3} (V_{ar} + a * V_{br} + a^2 * V_{cr}) \quad (2)$$

Dónde:

- V_{as}, V_{bs}, V_{cs} = Voltajes eficaces de estator.
- V_{ar}, V_{br}, V_{cr} = Voltajes eficaces de rotor.
- \bar{V}_s = Voltaje fasorial de estator.
- \bar{V}_r = Voltaje fasorial de rotor.
- a = Operador cambio de referencia ($a = 1 \angle 120^\circ$).

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 θ_e en el estator, y θ_r en el rotor, donde el subíndice r denota una cantidad de rotor, se tiene que:

$$\bar{V}_s = V_{ds} + jV_{qs} = \frac{2}{3} (V_{as} + a * V_{bs} + a^2 * V_{cs}) e^{-j\theta_e} \quad (3)$$

$$\bar{V}_r = V_{dr} + jV_{qr} = \frac{2}{3} (V_{ar} + a * V_{br} + a^2 * V_{cr}) e^{-j(\theta_e - \theta_r)} \quad (4)$$

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.

3. FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE INDUCCIÓN

Así como se expresa el cambio de variables para voltajes, también se aplica para corrientes de estator y rotor; realizada la transformación de variables de fase a dos ejes magnéticos se tiene:

$$\bar{V}_s = V_{ds} + jV_{qs} \quad \bar{I}_s = I_{ds} + jI_{qs} \quad (5)$$

$$\bar{V}_r = V_{dr} + jV_{qr} \quad \bar{I}_r = I_{dr} + jI_{qr} \quad (6)$$

En forma fasorial los voltajes y el conjunto de ecuaciones de enlaces de flujos [6] se pueden expresar de la siguiente forma:

$$\bar{V}_s = r_s \bar{I}_s + j\omega_e \bar{\lambda}_s + \frac{d\bar{\lambda}_s}{dt} = r_s \bar{I}_s + j\omega_e \bar{\lambda}_s \quad (7)$$

$$\bar{V}_r = r_r \bar{I}_r + j(\omega_e - \omega_r) \bar{\lambda}_r + \frac{d\bar{\lambda}_r}{dt} = r_r \bar{I}_r + j(\omega_e - \omega_r) \bar{\lambda}_r \quad (8)$$

$$\bar{\lambda}_s = L_{ss} \bar{I}_s + L_m \bar{I}_r \quad (9)$$

$$\bar{\lambda}_r = L_{rr} \bar{I}_r + L_m \bar{I}_s \quad (10)$$

Sustituyendo las ecuaciones de enlaces de flujo (9) y (10) en las de voltajes se tiene que:

$$\bar{V}_s = r_s \bar{I}_s + j\omega_e L_{ss} \bar{I}_s + j\omega_e L_m \bar{I}_r \quad (11)$$

$$\bar{V}_s = r_s \bar{I}_s + j\omega_e L_{ls} \bar{I}_s + j\omega_e L_m (\bar{I}_s + \bar{I}_r)$$

$$\bar{V}_s = r_s \bar{I}_s + jX_{ls} \bar{I}_s + jX_m (\bar{I}_s + \bar{I}_r)$$

En las ecuaciones se ha usado la representación con reactancias, las cuales son $X_{ls} = \omega_e L_{ls}$ y $X_{lr} = \omega_e L_{lr}$. De igual forma se hacen consideraciones similares para voltajes de rotor.

$$\bar{V}_r = r_r \bar{I}_r + j(\omega_e - \omega_r) L_{lr} \bar{I}_r + j\omega_e L_m (\bar{I}_r + \bar{I}_s) \quad (12)$$

En la ecuación anterior se hace $s\omega_e = (\omega_e - \omega_r)$, donde s es el deslizamiento de la máquina asíncrona. Sustituyendo este valor:

$$\bar{V}_r = r_r \bar{I}_r + js\omega_e L_{lr} \bar{I}_r + js\omega_e L_m (\bar{I}_r + \bar{I}_s) \quad (13)$$

$$\frac{\bar{V}_r}{s} = \frac{r_r}{s} \bar{I}_r + jX_{lr} \bar{I}_r + jX_m (\bar{I}_r + \bar{I}_s) \quad (14)$$

Las ecuaciones de voltajes anteriormente expresadas (11) y (14) representan el desempeño de la máquina de inducción en estado estable. Estas pueden ser representadas por un circuito equivalente mostrado en la figura 1, considerando que el voltaje de rotor es cero.

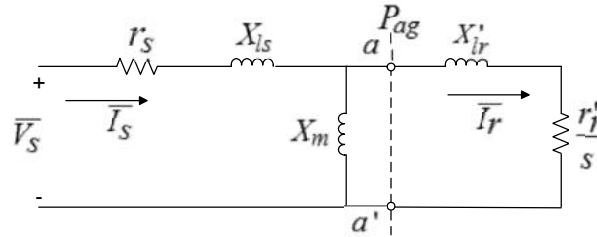


Figura 1.- Circuito equivalente de la máquina de inducción trifásica

En el circuito mostrado en la Fig. 1, todas las variables han sido referidas al lado del estator. La dirección de las corrientes mostradas es positiva cuando la operación es como motor, en la cual el deslizamiento s es positivo. La potencia transferida a través del entrehierro al rotor es la siguiente:

$$P_{ag} = \frac{r'_r}{s} \bar{I}_r^2 \quad (15)$$

Las pérdidas en la resistencia del rotor son:

$$P_{lr} = r'_r \bar{I}_r^2 \quad (16)$$

Por tanto, la potencia mecánica transferida a la flecha es:

$$P_{sh} = P_{ag} - P_{lr} = \frac{r'_r}{s} \bar{I}_r^2 - r'_r \bar{I}_r^2 = r'_r \frac{1-s}{s} \bar{I}_r^2 \quad (17)$$

Una forma alternativa del circuito equivalente de la máquina de inducción es mostrada en la Fig. 2 en la cual la potencia del rotor es separada en pérdidas en la resistencia y potencia en la flecha. El par electromagnético desarrollado por la máquina es:

$$T_e = \frac{3P_{sh}}{\omega_m} \quad (18)$$

Donde ω_m es la velocidad angular del rotor en rad/s mecánicos dados por la ecuación siguiente.

$$\omega_m = \frac{2}{p} \omega_r = \omega_e (1-s) \frac{2}{p} \quad (19)$$

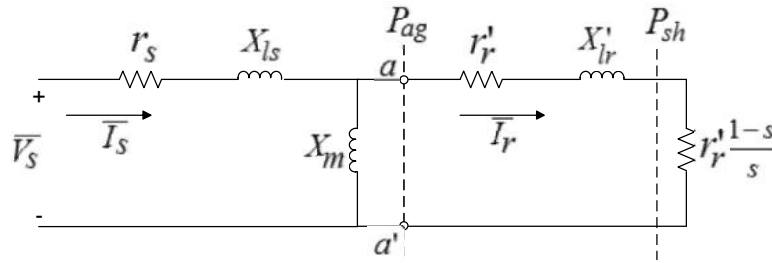


Figura 2.- Forma alternativa para el circuito equivalente de la máquina de inducción
Por lo tanto, sustituyendo se tiene que:

$$T_e = \frac{3r_r' \frac{1-s}{s} \bar{I}_r^2}{\omega_e (1-s) \frac{P}{2}} = \frac{3 P r_r'}{2 \omega_e s} \bar{I}_r^2 \quad (20)$$

Donde ω_e es la frecuencia del sistema eléctrico y P es el número de polos. Se puede observar en la ecuación anterior que el par es dependiente del deslizamiento. Para análisis de relación par-deslizamiento el circuito equivalente de la Fig. 2 puede ser simplificado reemplazando la parte de la izquierda de los nodos $a - a'$ del circuito por su equivalente de Thevenin [6]. La Fig. 3 muestra el equivalente resultante y las ecuaciones (21) y (22) los cálculos para la obtención del mismo.

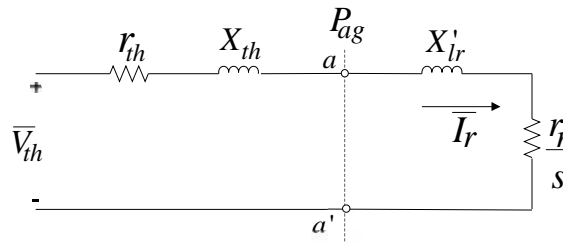


Figura 3.- Circuito para evaluar relaciones de par-deslizamiento
Equivalente de Thevenin del circuito anterior:

$$\bar{V}_{th} = \frac{jX_m \bar{V}_s}{r_s + j(X_{ls} + X_m)} \quad (21)$$

Las variables r_{th} y X_{th} son un equivalente del circuito paralelo formado por r_s , X_{ls} y X_m .

$$r_{th} + jX_{th} = \frac{jX_m(r_s + jX_{ls})}{r_s + j(X_{ls} + X_m)} \quad (22)$$

De la Fig. 3 entonces la corriente en el rotor es la siguiente:

$$\bar{I}_r = \frac{\bar{V}_{th}}{(r_{th} + r_r'/s) + j(X_{th} + X_{lr}')} \quad (23)$$

Sustituyendo en la ecuación (20) el par entonces se obtiene con la siguiente expresión:

$$T_e = \frac{3 P r_r'}{2 \omega_e s} \frac{V_{th}^2}{(r_{th} + r_r'/s)^2 + (X_{th} + X_{lr}')^2} \quad (24)$$

Con esta ecuación se puede analizar el comportamiento de la máquina de inducción ante los distintos cambios de deslizamiento. Se usarán los datos proporcionados en [7], los cuales se proporcionan en la siguiente tabla:

Tabla I.- Parámetros eléctricos

Datos de Máquina

$\frac{X_{d1}}{V_{LL}} = 2.52195 \Omega$	$\frac{X_{d2}}{V_{LL}} = 0.976292 \Omega$
$\frac{X_{q1}}{V_{LL}} = 1.95145 \Omega$	$\frac{X_{q2}}{V_{LL}} = 2.99451 \Omega$
$\frac{X_{m1}}{V_{LL}} = 55.3431 \Omega$	$\frac{X_{m2}}{V_{LL}} = 0.117393 \frac{V_{LL}}{mz} *$
$\frac{X}{V_{LL}} = 340 \frac{V_{LL}}{V} \left(\frac{15.83}{11} \right)$	10
$\frac{P}{P} = 4 \frac{15.83}{11} \text{ Polos}$	$\frac{f}{f} = 50 \frac{15.83}{11}$

Se han realizado las siguientes gráficas de par-deslizamiento en MATLAB utilizando la expresión (24), considerando primero, en la Fig. 4-A) que el voltaje en terminales es variante en porcentajes del nominal, con lo que se puede obtener un grupo de curvas. Se muestra el voltaje en terminales de la máquina asíncrona en valores $q-d$, donde se ha considerado que V_{ds} es igual a cero y V_{qs} es invariante en cada curva ante los cambios de deslizamiento. Se puede observar entonces como la magnitud del par electromagnético desarrollado se ve afectado directamente con la variación del voltaje; dependiendo de la aplicación de este tipo de máquina, es entonces la importancia del par que se desea tener en la misma, teniendo un principal cuidado cuando se usa como motor. De la Fig. 4-A) se puede observar dos importantes regiones distintas que caracterizan dos modos de funcionamiento a saber: motor y generador.

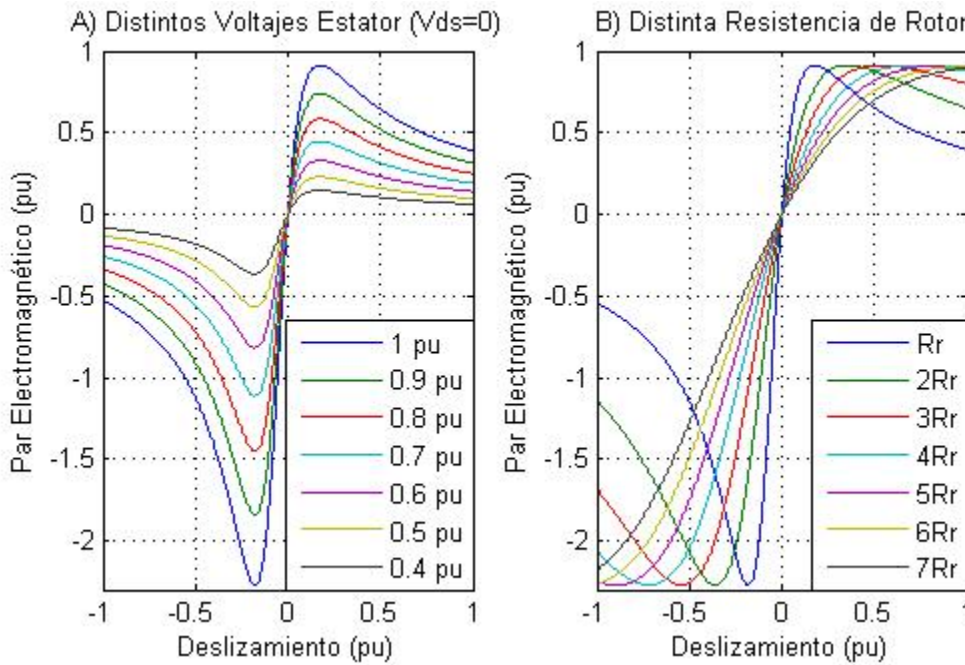


Figura 4.- Características par-deslizamiento

3.1. RÉGIMEN MOTOR

Representa el modo de funcionamiento más característico y corresponde al rango de deslizamiento comprendidos entre 0 y 1. De acuerdo con la expresión siguiente, nos da la velocidad del rotor en función del deslizamiento (s):

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (25)$$

Donde:

- n_1 = Velocidad de Sincronismo, correspondiente a la del sistema en rad/s.

- n = Velocidad de giro del rotor, en rad/s.

El rango anterior corresponde a velocidades comprendidas entre la de sincronismo (n_1) y 0, como por ejemplo, al arranque de la máquina. Si se tiene en cuenta el campo de variación de s en el régimen motor, se tiene que:

- La potencia mecánica interna es positiva, es decir, se transmite energía mecánica al eje del rotor.
- La potencia en el entrehierro es positiva, lo que indica un par electromagnético positivo.
- Si la potencia de entrehierro es positiva, quiere decir que se transfiere energía en el sentido estator-rotor. Como la energía en el estator es procedente de la red, la potencia eléctrica absorbida tendrá el sentido de P_{sh} , lo que definitivamente define a la potencia eléctrica absorbida como positiva.

Como anteriormente se puede observar, el par electromagnético máximo se da aproximadamente en la misma velocidad de deslizamiento para los mismos parámetros eléctricos, pero afectada su magnitud por la tensión en terminales de la máquina. En la figura 5 se puede apreciar el comportamiento de la corriente en la máquina de inducción durante su operación como motor, se ha puesto especial interés en esta área de operación debido a que su uso como elemento de fuerza, motor, es mayor en la industria, y por lo tanto el amperaje que se tiene en bobinados de estator aumentará con respecto al voltaje que en terminales puede tener el equipo mencionado.

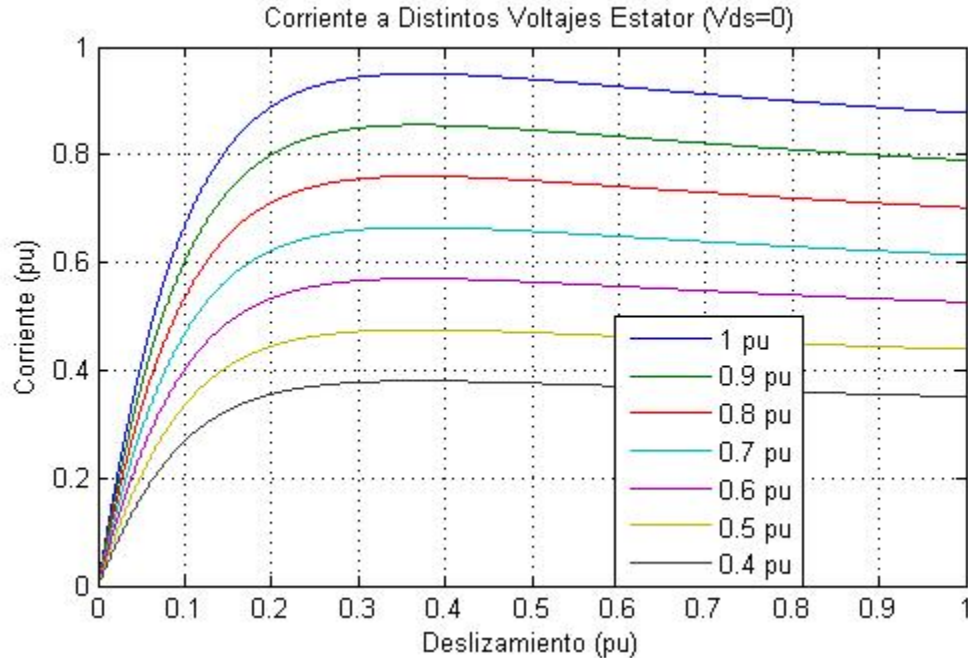


Figura 5.- Corrientes de máquina, régimen motor

3.2. RÉGIMEN GENERADOR

Como se puede observar en la Fig. 4-A), esta región de operación corresponde a velocidades superiores a la de sincronismo, lo que implica deslizamientos negativos. En este caso, el sentido de rotación de flujo respecto al circuito de rotor de la máquina se invierte con relación al régimen motor, lo que lleva consigo una inversión en el sentido de la fuerza electromotriz del rotor, que provoca a su vez una inversión en la corriente y en el par. En consecuencia, el par desarrollado por la máquina

asíncrona se convierte en par de frenado respecto al momento de rotación del motor primario. La máquina asíncrona funciona como generador, recibiendo energía mecánica de un motor externo que gira a una velocidad superior a la de sincronismo, y entregando energía eléctrica a la red por el estator. Si se observa la ecuación de deslizamiento, al ser el mismo negativo, se tiene que:

- La potencia mecánica interna se hace negativa. La máquina absorbe potencia mecánica por el eje, que es suministrada por el motor primario que la mueva a una velocidad superior a la de sincronismo.
- La potencia en el entrehierro se hace negativa, por lo que el par electromagnético cambia de signo respecto al comportamiento como motor.
- Si la potencia en el entrehierro es negativa, la transferencia de energía se hace de rotor a estator. La máquina entrega energía a la red por el estator.

Por ejemplo, se puede disponer de un generador asíncrono conectando un motor normal de jaula de ardilla a una red trifásica y acoplándolo, por ejemplo, a un motor de combustión interna (motor de gasolina o diesel). Inicialmente la máquina arrancará como motor asíncrono arrastrando el motor primario de combustión interna, llegando a una velocidad de régimen como motor cercana a la de sincronismo. A continuación se arrancará el motor primario, que debe girar en el sentido establecido por el motor asíncrono. Tan pronto como el motor primario supere la velocidad de sincronismo, la máquina de inducción se convertirá en generador, cediendo potencia activa al sistema eléctrico al que está conectada.

4. EFECTO DE LA RESISTENCIA DE ROTOR EN LA EFICIENCIA

La eficiencia de una máquina de inducción es altamente dependiente del deslizamiento de operación. La resistencia de rotor es un parámetro importante en el desempeño de la misma, ya que una alta eficiencia en condiciones de operación normal requiere una resistencia de rotor baja. Por otro lado, una resistencia de rotor alta es requerida para producir un alto par de inicio ($s=1$) y para mantener la magnitud de la corriente de arranque baja y el factor de potencia bajo.

En la Fig. 4-B) se observan las distintas curvas correspondientes a par-deslizamiento con variación de la resistencia de rotor, siendo del doble, triple y así sucesivamente hasta siete veces el valor nominal de la misma. Para generarlas, se considera que el voltaje en terminales V_{qs} de la máquina de inducción es constante ($V_{ds} = 0$) y no varía aun cuando el deslizamiento si lo haga en el rango para el cual se realiza el análisis. Se observa como el par máximo no se altera por la variación de la resistencia de rotor, sin embargo, si cambian los valores de deslizamiento a los cuales se obtienen los pares máximos.

El uso de una máquina de inducción con rotor devanado es una forma de satisfacer la necesidad de resistencia de rotor variable para diferentes condiciones de operación, pero el costo de este tipo de máquinas, es mayor que el de una con rotor jaula de ardilla. Con un rotor devanado, durante el arranque se conectan resistencias en serie con el devanado a través de anillos deslizantes, esto con el fin de conseguir las características de funcionamiento antes descritas, y a medida que la velocidad de rotor va alcanzando su funcionamiento nominal, esta resistencia externa es reducida. La curva par-deslizamiento que se obtiene con la resistencia propia de la máquina constituye la *característica natural* del par, mientras que las curvas par-deslizamiento que resultan con la introducción de resistencias adicionales se denominan *características artificiales* [8].

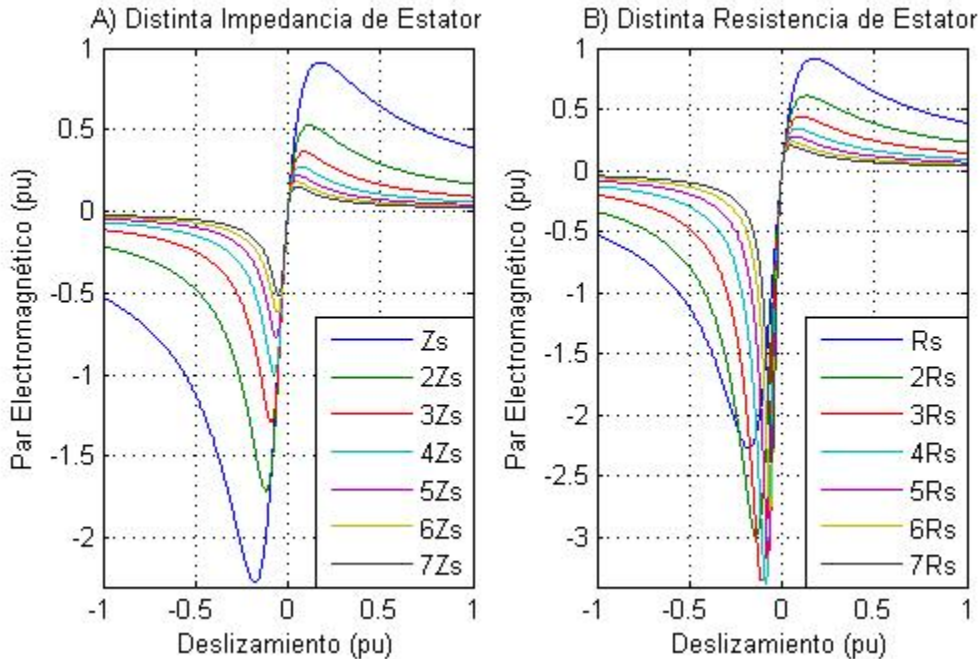


Figura 6.- características par-deslizamiento, parámetros de estator

5. IMPEDANCIA Y RESISTENCIA DE ESTATOR EN LA EFICIENCIA

Se ha observado que para el proceso de puesta en marcha de régimen motor, el par de arranque debe ser superior al par resistente de la carga mecánica impuesta por la masa inercial del rotor; de esta forma, se tiene un momento de aceleración que obliga a girar el rotor a una velocidad cada vez más elevada, obteniendo el régimen permanente cuando se igualan pares motor y resistente. Un importante parámetro en la construcción de la máquina de inducción es la impedancia que puede presentar el devanado de estator, ya que un valor elevado de ésta puede ocasionar que se tengan mayores pérdidas por efecto térmico y magnético debido al paso de la corriente que fluye desde la red cuando funciona como motor, o tener caídas de tensión cuando se utiliza esta máquina como generador, impactando en ambos casos la eficiencia del equipo.

En la Fig. 6-A) se observa el efecto producido en el funcionamiento de la máquina a distintos valores de deslizamiento, cuando se simula con variaciones de impedancia de estator; para la elaboración de dichas gráficas el voltaje en terminales V_{qs} de la máquina de inducción es constante ($V_{ds} = 0$) y no varía aun cuando el deslizamiento si lo haga en el rango para el cual se realiza el análisis. Se hace aumentar la resistencia de estator r_s y la reactancia de dispersión X_{ls} al doble, triple y así sucesivamente hasta tener siete veces dicho valor de impedancia equivalente. Realizado esto, se puede apreciar una disminución en el par magnético producido en la máquina asincrónica cuando la impedancia del estator aumenta.

Cuando se tiene una impedancia de estator pequeña, el proceso de arranque va acompañado de un consumo elevado de corriente, lo que está justificado desde el punto de vista de circuito equivalente visto en la Fig. 2, ya que la resistencia r_r se encuentra afectada por el deslizamiento y es muy pequeña en el instante inicial, ya que el deslizamiento es igual a uno. Pero cuando ésta impedancia de estator aumenta, aun cuando la resistencia de rotor sea pequeña, se observa que el par desarrollado disminuye.

Se presenta también el comportamiento de las curvas par-deslizamiento cuando únicamente se presenta la variación de la resistencia de estator r_s , dejando constante la reactancia de dispersión

de dicho embobinado. Las curvas correspondientes a esta situación se presentan en la Fig. 6-B), donde se puede apreciar una disminución de par electromagnético cuando la resistencia de estator aumenta; se observa pues, que se tiene una mayor significancia en la región correspondiente a régimen generador, ya que las curvas par-deslizamiento presentan una gran variación al tener aumento de resistencia rotórica, modificando el par máximo.

6. CONCLUSIONES

Como se ha podido observar, el análisis de las variables que intervienen en el comportamiento de la máquina de inducción es de mucha importancia para el correcto aprovechamiento del potencial que ofrece este equipo eléctrico. Para la interpretación de las características de trabajo se ha modificado los parámetros que intervienen en el funcionamiento de la maquina asíncrona. Se puede concluir en base a esto que todas son determinantes pues impactan en la eficiencia de la máquina, y dependiendo del uso que se le dé radicarán las variables a observar y controlar. Un ejemplo de ello no es solo el régimen de trabajo a considerar, sino también el tipo de rotor con el que cuente, puesto que un rotor bobinado ofrece ventajas como variar el par electromagnético modificando la resistencia de rotor, característica que no se puede realizar en un jaula de ardilla, por lo que este tipo de máquina es de mayor costo. Con este artículo se ha podido contribuir al entendimiento de funcionamiento de la máquina de inducción y al impacto de sus variables eléctricas en el funcionamiento de la misma.

7. REFERENCIAS

- [8] Chee-Mun Ong, *“Dynamic Simulation of Electric Machinery Using MATLAB/SIMULINK”*, Prentice Hall, New Jersey, 1998.
- [9] Greg C. Stone et al, *“Electrical Insulation for Rotating Machines”*, IEEE Press, Canada, 2004, ISBN: 0-471-44506-1.
- [10] Ion Boldea, *“Variable Speed Generators”*, Taylor & Francis Group, Florida, 2006, ISBN: 978-0-8493-5715-2.
- [11] P. C. Krause, O. Wasynczuk, S. D. Sudhoff, *“Analysis of Electric Machinery and Drive Systems”*, 2nd ed, IEEE Press, New York, 2002.
- [12] Ion Boldea, Syed A. Nasar, *“The Induction Machine Handbook”*, CRC Press, Florida, 2002.
- [13] Prabha Kundur, *“Power System Stability and Control”*, Mc Graw-Hill, California, 1994, ISBN: 978-0-07035-958-1.
- [14] Okoro O. I., *“Dynamic Modeling and Simulation of Squirrel-Cage Asynchronous Machine with Non-Linear Effects”*, JAI, Vol. 2, Issue 6, 2005.
- [15] Jesús Fraile Mora, *“Máquinas Eléctricas”*, Mc Graw-Hill, 5^a edición, España, 2003, ISBN: 84-481-3913-5.

5.4 MANTENIMIENTO PREDICTIVO A MOTOR SHUNT UTILIZANDO ARDUINO Y LABVIEW

M.C. Eliut López Toledo.
Universidad Tecnológica Gral. Mariano Escobedo.
Libramiento Noreste Km 33.5.
Gral. Escobedo, N.L. México C. P 66050.
Tel. (81) 5000 – 4200, Ext. 4240
eliutl@hotmail.com

1. INTRODUCCIÓN.

El mantenimiento predictivo o bien, mantenimiento por diagnóstico es utilizado para crear un historial periódico del comportamiento de determinadas variables que intervienen en un proceso, maquinaria o equipo, con la finalidad de realizar un análisis y tomar decisiones a tiempo y con ello el logro de la mantención en los equipos. Estas variables pueden ser vibraciones, análisis de aceites, tomografías infrarrojas, controles no destructivos, corrientes eléctricas, temperatura, etc.

En este trabajo que se presenta, se realiza el análisis de variables de corriente eléctrica, vibración mecánica y temperatura en un motor de excitación en paralelo o Shunt C.C, mediante el uso de una interface para comunicación de datos llamada Arduino. El software para el monitoreo y análisis de estas variables es mediante Lab View. El sistema es llamado MPDUTE01 (Mantenimiento Predictivo Universidad Gral. Mariano Escobedo Versión 1)

La implementación de este sistema es económica y como uso en los laboratorios resulta ser altamente eficiente, ya que reúne características como programación, electrónica, gestión del mantenimiento y manejo de motores eléctricos.

Cabe mencionar que los componentes utilizados, son de bajo costo y fáciles de encontrar, lo que facilita la implementación del mismo en análisis de mantenimientos predictivos.

Palabras clave.

Efecto Hall. El sensor de efecto Hall es un dispositivo semiconductor que genera un voltaje de salida cuando está expuesto a un campo magnético. [1].

Vibración Mecánica. De un punto material, es el movimiento de oscilación (no necesariamente simétrico) de dicho punto alrededor de una posición de equilibrio. [2]

Estadística descriptiva. Utiliza el número como medio para describir un conjunto, que debe ser numeroso, ya que las permanencias estadísticas no se dan en los casos raros. [3].

2. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo, es monitorear el comportamiento de las variables: Corriente eléctrica, vibraciones mecánicas y temperatura que se presenta en un motor de Shunt C.C

El registro de estos datos que son obtenidos, puede ser tratado para realizar un análisis de patrones que son de importancia en los mantenimientos predictivos de los motores eléctricos. Estos parámetros pueden ser; desde los valores máximos y mínimos de las variables mediadas, la media de los mismos y las desviaciones estándar que se presentan.

Esto trae como beneficio el poder predecir posibles fallas o evitar paros no deseados en el motor, lo que repercutiría en un proceso industrial.

Aunado a esto, la reducción de costos en cuanto a los componentes que se requieren para la implementación de este proyecto no son altos, tampoco de difíciles de encontrar.

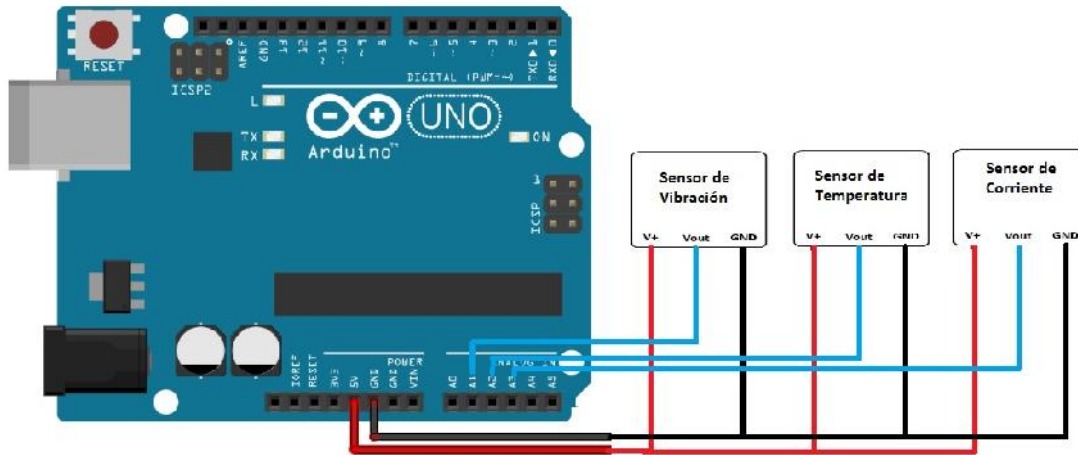


Figura 3. Conexiones placa Arduino y sensores.

Los datos que son adquiridos por la placa Arduino, suceden en tiempo real, y son visibles por medio de una tabla que nos muestra la fecha, hora y los datos de las tres variables. Dichos valores son mostrados a intervalos de tiempo de un segundo; sin embargo estos tiempos pueden ser modificados dependiendo del interés del usuario en la plataforma del software.

En esta ocasión, el proceso fue monitoreado y los valores registrados para el análisis de la información por un periodo de una hora.

El sistema se implementó en un motor Shunt o motor de excitación en paralelo de C.C (véase figura 4).

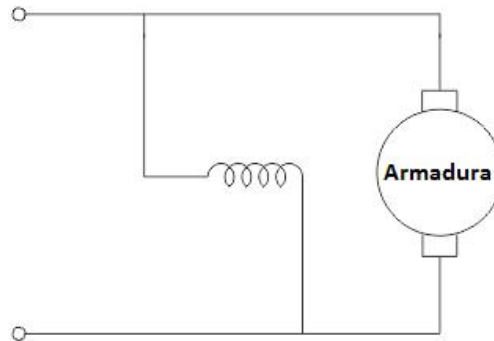


Figura 4. Conexiones del motor Shunt.

La interface gráfica nos muestra tres ventana en las que se muestran los comportamientos de las vibraciones mecánicas, la temperatura y la corriente eléctrica (véase figuras 5, 6 y 7 respectivamente).

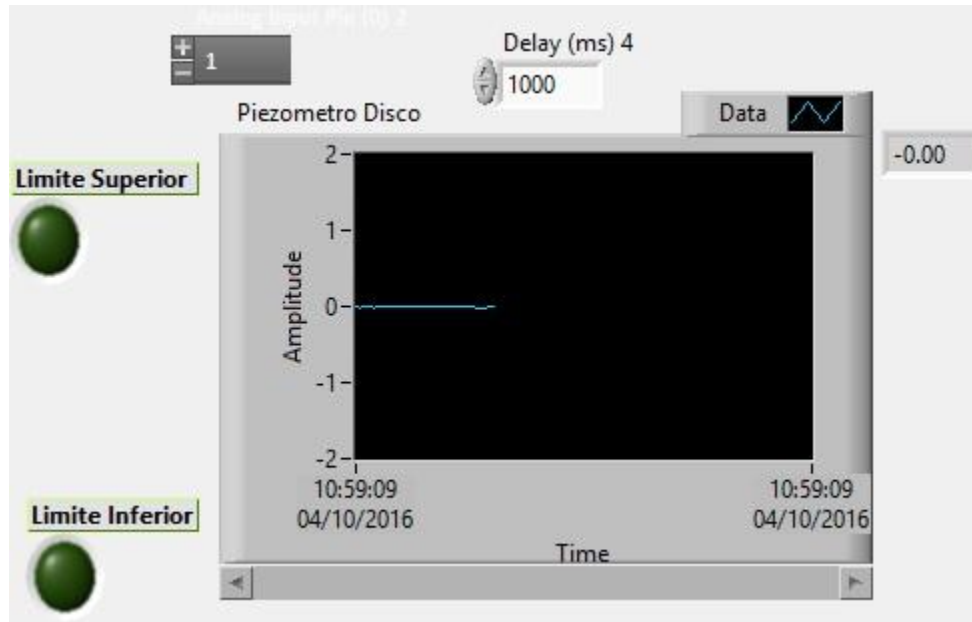


Figura 5. Comportamiento vibración mecánica.

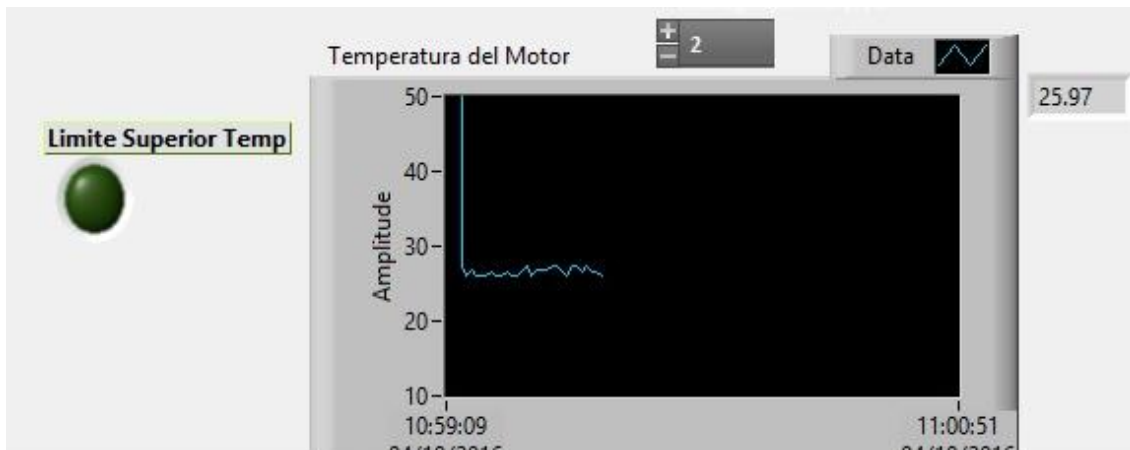


Figura 6. Comportamiento de la temperatura.

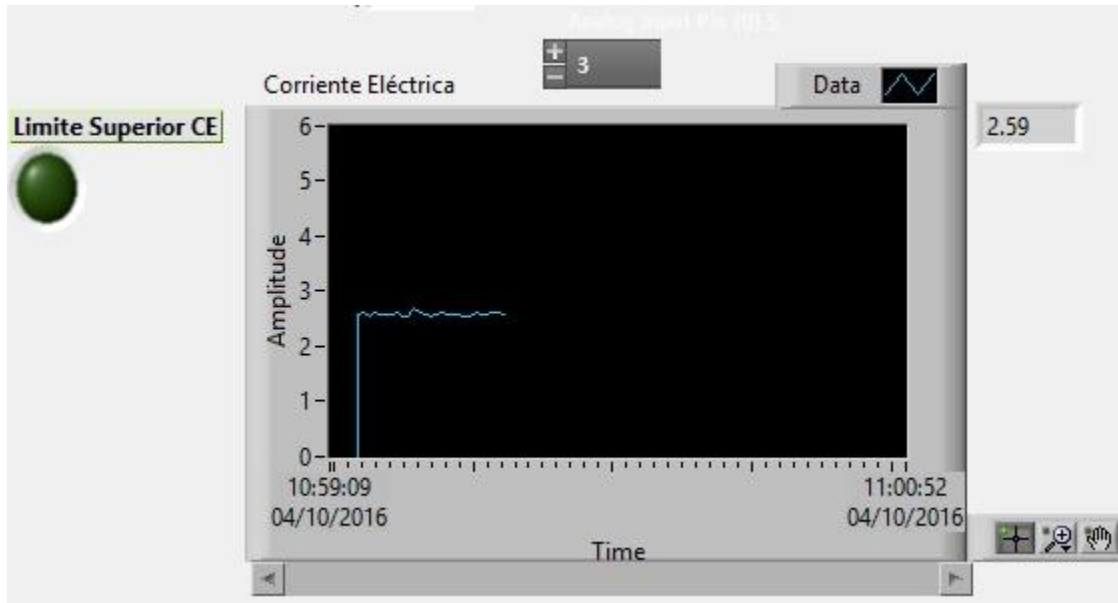


Figura 7. Comportamiento de la corriente eléctrica.

Para la construcción del sistema en LabView, se elaboraron bloques de programación para cada variable y se obtuvieron promedios en las lecturas de los datos y son los que finalmente son mostrados cada segundo (véase figura 8).

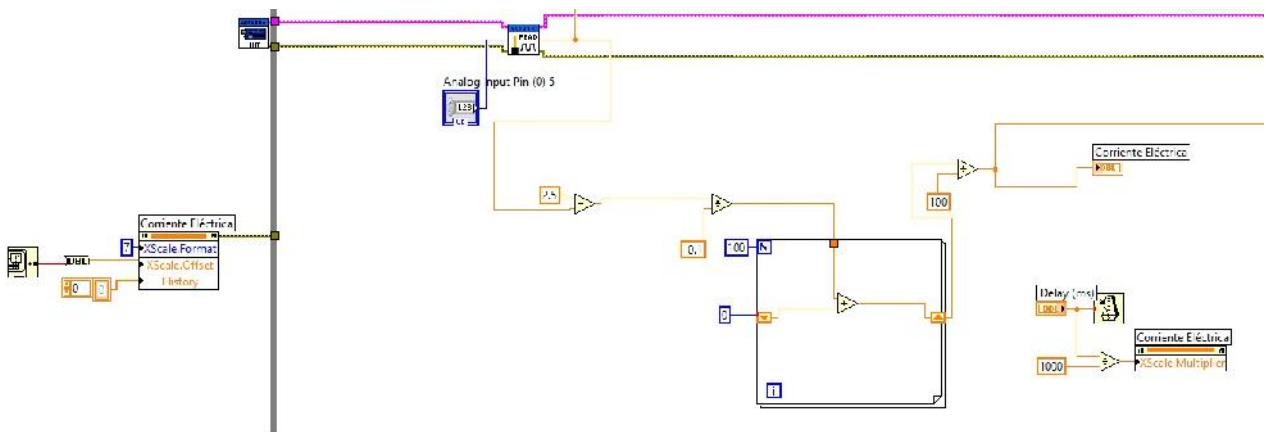


Figura 8. Programación en LabView para sensor de corriente eléctrica.

Para cada bloque de las variables, se establecieron límites con luces indicadoras, promedio de las lecturas y tiempos para ser mostrados los datos.

4. RESULTADOS

Las presentaciones de los valores obtenidos mediante una tabla forman parte del entorno de monitoreo y genera un reporte en Excel, mismo que es utilizado para el análisis más detallado en el

comportamiento de los parámetros registrados y con ello la toma correcta de decisiones. El reporte es generado mediante la programación de LabView (véase figura 9).

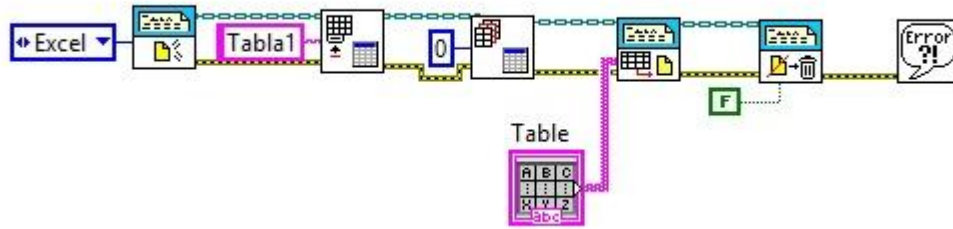


Figura 9. Generación del reporte en Excel.

Los datos que a continuación se presentan, corresponden parcialmente a los registros obtenidos en el periodo de una hora al motor Shunt. Dentro de estos valores parciales, se puede observar que existió una variación en la corriente eléctrica que fue provocada al aplicar una carga variable al motor de manera momentánea, provocando así los picos de corrientes que se encuentran fuera de la media que se presenta. (véase figura 10).

Fecha	Hora	Vibracio	Temp	C.Elec
04/10/2016	11:23	-0.00	28.91	1.51
04/10/2016	11:23	-0.00	27.93	1.46
04/10/2016	11:23	0.01	27.93	1.46
04/10/2016	11:23	-0.00	27.44	1.51
04/10/2016	11:23	0.00	27.44	1.51
04/10/2016	11:23	0.01	26.95	1.56
04/10/2016	11:23	-0.00	28.42	1.51
04/10/2016	11:23	-0.01	27.44	1.56
04/10/2016	11:23	0.02	27.44	1.56
04/10/2016	11:23	0.01	28.91	1.51
04/10/2016	11:23	-0.00	28.42	1.46
04/10/2016	11:23	-0.00	27.44	1.56
04/10/2016	11:23	-0.01	27.93	1.56
04/10/2016	11:23	-0.01	27.93	1.51
04/10/2016	11:23	0.00	27.44	1.61
04/10/2016	11:23	-0.00	26.95	1.41
04/10/2016	11:23	-0.00	27.44	1.31
04/10/2016	11:23	0.00	28.91	1.95
04/10/2016	11:23	-0.00	27.93	1.56
04/10/2016	11:23	-0.00	27.44	1.90
04/10/2016	11:23	-0.00	28.42	2.59
04/10/2016	11:23	-0.01	28.42	4.20
04/10/2016	11:23	-0.01	27.93	1.80
04/10/2016	11:23	-0.00	26.95	0.28
04/10/2016	11:23	-0.00	27.93	3.67
04/10/2016	11:23	-0.02	28.42	2.34
04/10/2016	11:23	-0.01	27.93	1.80
04/10/2016	11:23	-0.01	26.95	3.86

Figura 10. Monitoreo de variables en tabla.

Como se puede observar, en los valores señalados existen dos registros que están fuera de la corriente promedio y esto fue debido a la aplicación de una carga momentánea al motor, lo cual

5. CONCLUSIONES

Las máquinas de corriente eléctrica rotativas en su estructura mecánica que contienen rodamientos y el equilibrado de los mismos, así como los elementos de sujeción de los motores o una mala alineación, trae como consecuencia vibraciones mecánicas que son importantes tener en cuenta y pueden hacerse mediante los mantenimientos predictivos y con ello lograr que la maquinaria o motor opere sin problemas, especialmente aquellos que forman parte de algún proceso de producción. De igual manera, debido a una sobre carga en el motor o la presencia de una falla en algún rodamiento, es motivo para que exista un incremento en la corriente eléctrica o bien un sobre calentamiento en el motor. Estos parámetros al no ser medibles, analizados y tomados en cuenta, ocasionan en un corto plazo afectaciones importantes a los equipos. De ahí que es importante contar con un sistema de monitoreo de bajo costo y que este pueda ser utilizado en procesos productivos, o bien en pruebas de laboratorio donde se puedan apreciar los comportamientos de variables que son importantes para mantener en óptimas condiciones los equipos y poder predecir posibles fallos.

6. REFERENCIAS.

- [1] L.Boylestad, R. México. 2003. *Introducción al análisis de circuitos*. Naucalpan de Juárez, MEX: PRENTICE HALL, INC.
- [2] Sanchez Marín, F.T. Perez Gonzalez , A. 2006. *Mantenimiento Mecánico de Máquinas*. Castelló de la plana, ESP: Universitat Jaume
- [3] Vargas Sabadías, A. 1995. *Estadística Descriptiva e Inferencial*. La mancha, ESP: Universidad de Castilla-La Mancha.
- [4] Texas Instruments. Agosto 2016. *Texas Instruments*. Obtenido de <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
- [5] Hispavila. Octubre 2015. Hispavila.com. Obtenido de <https://www.hispavila.com/sensor-de-corriente-asc712/>
- [6] Sigmaelectronica. 2016. Sigmaelectronica.net. Obtenido de <http://www.sigmaelectronica.net/dfr0052-p-2198.html>

7. ELECTRÓNICA DE POTENCIA

6.1 INVERSOR DE VOLTAJE CON CONTROL REMOTO DE FRECUENCIA Y TIEMPO VÍA BLUETOOTH

Ma. Guadalupe Pech Solís, Diana C. Hernández Sosa,
Víctor Sandoval Curmina, J. Agustín Hernández Benítez

Instituto Tecnológico de Mérida

princesa_sirena@hotmail.com, diana_hernandez79@yahoo.com.mx, vcurmina@yahoo.com.mx,
agustin.hernandez@itmerida.mx

RESUMEN

El área de desarrollo de materiales del Instituto Tecnológico de Mérida ha comenzado con el estudio de deposición de partículas para mejoramiento de superficies por medio de la técnica llamada plasma polimerización; sin embargo, la falta de recursos para adquirir equipo de alimentación para los reactores de plasma, ha provocado un estancamiento en la experimentación. El plasma polimérico trabaja mejor a frecuencias inferiores a 700 Hz y se comporta como si fuera un circuito RC en paralelo, por lo cual se desarrolló un prototipo de fuente de alimentación de 400 V de corriente directa con forma de onda cuadrada controlado vía remota a través de una PC. Para esto se generó un alto voltaje mediante un inversor de puente completo el cual alimenta un arreglo de transformadores, las señales que controlan el inversor las proporciona un arduino, a la salida del arreglo de transformadores se obtiene una señal cuadrada. Para poder controlar el tiempo de activación y frecuencia de trabajo se diseñó un programa gráfico de computadora que es capaz de controlar el prototipo vía remota.

PALABRAS CLAVE

Inversor, plasma, electrónica de potencia, fuente, puente.

1. INTRODUCCIÓN:

En el Departamento de Ingeniería Civil del Instituto Tecnológico de Mérida (ITM) se encuentra el laboratorio de materiales, en el cual se estudia el mejoramiento de materiales por deposición de partículas poliméricas por medio de sistemas de plasma. Por lo cual se solicitó al Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (DIEE), la elaboración de una fuente de alimentación. El cual a su vez turno dicho proyecto a la unidad de Maestría en Ingeniería.

Se decidió diseñar y construir un inversor de voltaje de hasta 400 V, con forma alterna rectangular, cuyas frecuencias estarán en el rango de 70 a 700 Hz, en intervalos de 30 Hz. Cuyo tiempo de activación se podrá seleccionar entre 1, 2 y 5 minutos. Se podrá modificar en un futuro para generar un voltaje muchísimo mayor.

2. SISTEMA PROPUESTO

El sistema trabaja en modo remoto. Se comunica con una computadora por medio del puerto serial Bluetooth y es controlada por está. Así mismo se puede sustituir la computadora por un dispositivo con sistema Android que cuente con señal Bluetooth.

El sistema propuesto contempla las siguientes partes:

- **Generador de alto voltaje:** se implementó un inversor de voltaje de puente completo unido a un arreglo de transformadores. Las señales de control son generadas por un Arduino.
- **Sistema de Control:** Este se compone de dos partes el control vía arduino el cual emplea un Arduino Uno R3 que se encargará de las señales de control del inversor de puente completo. Así como de traducir la señal enviada por la computadora o teléfono celular con sistema Android para conocer la frecuencia de trabajo de estas dos señales. El arduino UNO R3 se encarga de todas las operaciones de comunicación con la computadora mediante un módulo Bluetooth HC-05 conectado a él y el software de control el cuál se elaboró en lenguaje Visual C# y se encarga de controlar la frecuencia de trabajo de la fuente y el tiempo que esta estará activada. Así mismo en caso de que no se tenga en el momento la computadora de control se podrá mandar el código de la frecuencia mediante un teléfono celular con sistema Android y cualquier aplicación del tipo blue terminal.

3. Desarrollo del Sistema

En este apartado se describe el modelo base del diseño, el análisis de las características del sistema, secciones que componen al equipo, diagramas y funcionamiento de las partes electrónicas.

3.1. Generador de Alto Voltaje

El sistema encargado de generar el alto voltaje está formado por dos partes importantes un inversor de voltaje de puente completo y un arreglo de transformadores.

3.1.1. Inversor de puente completo

Para generar el alto voltaje, se ha tomado como base el circuito propuesto por C. Koçum y H. Ayhan [1], tomando solo de este diseño la sección de poder que emplea un sistema inversor de voltaje de puente completo (Fig.1). Se desechó el control PWM propuesto en dicho artículo debido a que el tiempo muerto entre las señales de control que generaba era demasiado grande, lo que provocaba a la salida una señal distorsionada que poseía vacíos de energía (Fig.2). Un inversor de puente completo utiliza cuatro transistores en configuración corte-saturación, su función principal es aplicar un voltaje alternado a una carga, para lograrlo es necesario activar un par de transistores a la vez, esta función exige considerar un tiempo muerto de los transistores, ya que al estar activos al mismo tiempo podrían ocasionar un corto.

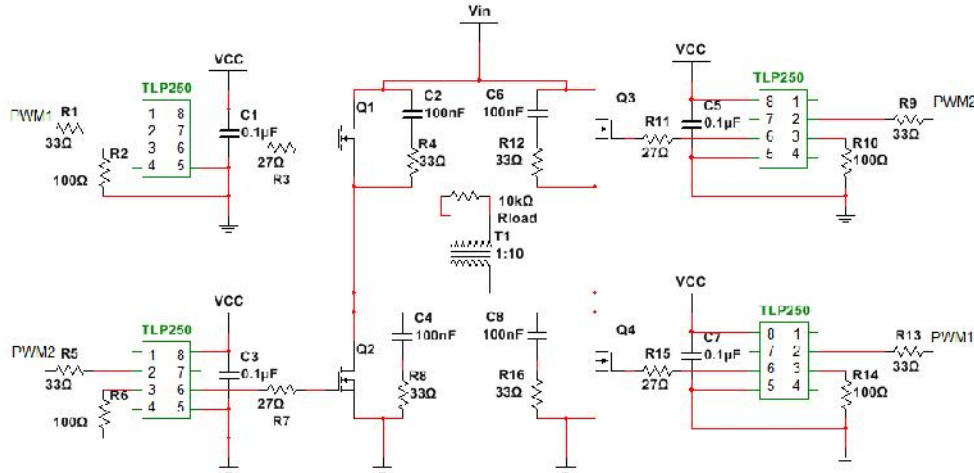


Fig.1. Inversor de Puente Completo

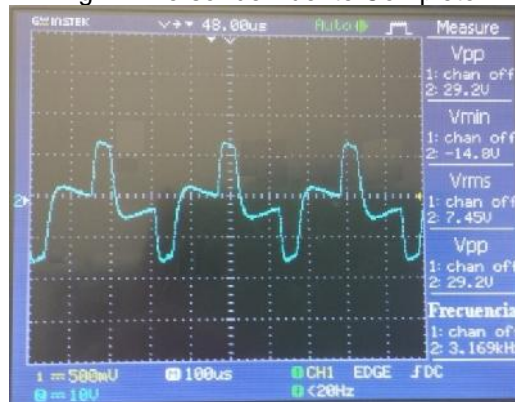


Fig.2. Señal de salida con vacíos de Energía

3.1.2. Arreglo de Transformadores

Al no contar con los recursos financieros necesarios para adquirir un transformador industrial se hizo necesario sustituirlo por un arreglo de transformadores el cual consiste de 4 transformadores de núcleo de hierro de 120-12 VAC a 2A de corriente (Fig.3). En el cual el voltaje final de salida es la suma de los voltajes de cada transformador.

La configuración es la siguiente se conectan en paralelo los secundarios de los transformadores dejando sin conectar el intermedio estas uniones en paralelo serán la entrada es decir la parte que estará conectada a la salida del inversor de puente completo. Los primarios se conectarán en serie lo que nos dará la suma de los voltajes.

Se hizo la prueba del arreglo de transformadores a diferentes frecuencias de entrada, en la tabla 1 se puede observar el comportamiento de la salida a diferentes frecuencias con un voltaje de entrada con forma de onda senoidal de 12 Vpp.

Con estos datos podemos determinar que nuestro arreglo funcionara de manera adecuada al ser interconectado con las demás partes del sistema.

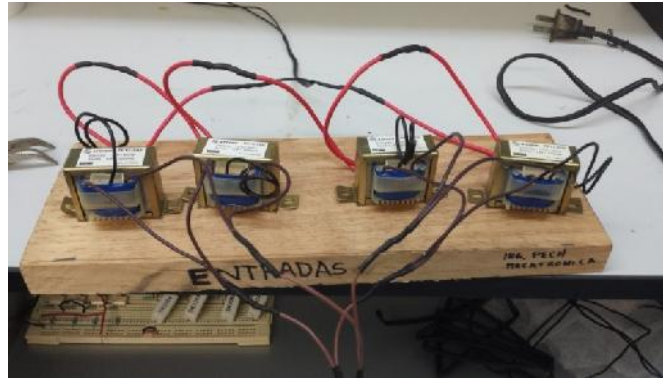


Fig.3. Arreglo de Transformadores

3.2. Sistema de Control

Está conformado por el control vía arduino y el control de frecuencia y tiempo vía software.

Tabla I

Frecuencia de Entrada (Hz)	Voltaje de Entrada (Vpp)	Voltaje de Salida (Vpp)	Ganancia
60	12	438	36.5
70	12	440	36.67
80	12	443	36.92
90	12	448	37.33
100	12	465	38.75
200	12	469	39.08
300	12	477	39.75
400	12	479	39.92
500	12	495	41.25
600	12	502	41.83
700	12	516	43
1000	12	556	46.33
2000	12	596	49.67
3000	12	604	50.33
10000	12	700	58.33
20000	12	1124	93.67
25000	12	1348	112.33
30000	12	1044	87
40000	12	380	31.67
60000	12	176	14.67

Tabla I. Comportamiento de salida del arreglo de transformadores

3.2.1. Sistema de Control con Arduino

Inicialmente se programó un sistema mínimo con Arduino el cual fue modificado para poder interconectarse vía remota a una PC o dispositivo Android mediante un módulo Bluetooth HC-05 (Fig.4). El diagrama de flujo se muestra en la Fig. 5.

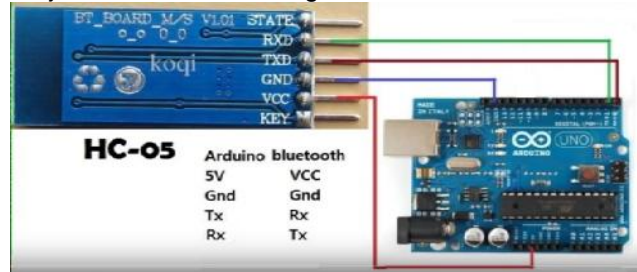


Fig. 4. Interconexiones Arduino UNO con el modulo Bluetooth HC-05

Para que el módulo funcione es necesario inicializar comunicaciones seriales en el arduino las cuales al recibir información remota la interpretan y generan las dos señales de control que salen de los pines 8 y 9 del arduino (Fig. 6) estos se conectan a los drivers del inversor de puente completo. Las señales que genera arduino aparentemente son la misma señal desfasada 180°, pero no es así una trabaja en un ciclo de 50.01 aproximadamente y la otra en un ciclo de 49.99 aproximadamente lo que hace que estas no se toquen (Fig. 7). Al no tocarse las señales se asegura el buen funcionamiento del inversor de puente completo, ya que debido a esto en ningún momento funcionarán al mismo tiempo los cuatros transistores, evitando así algún posible corto del circuito

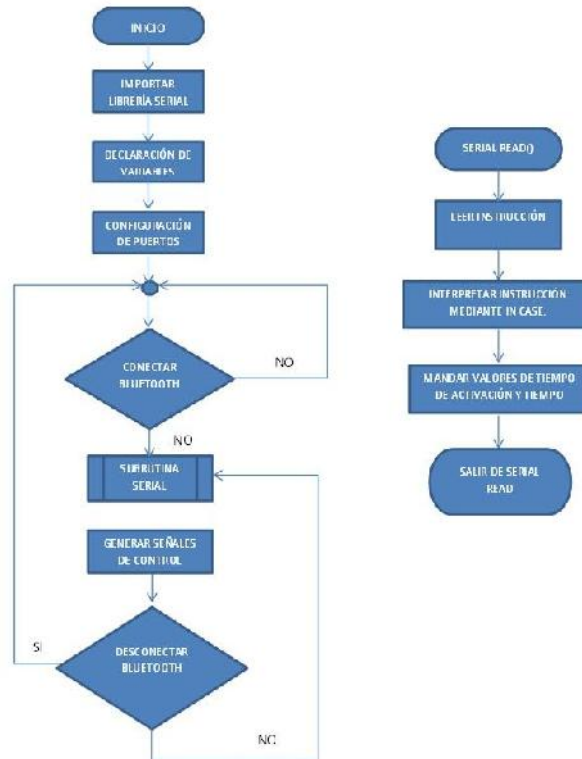


Fig.5. Diagrama de flujo del programa arduino y subrutina

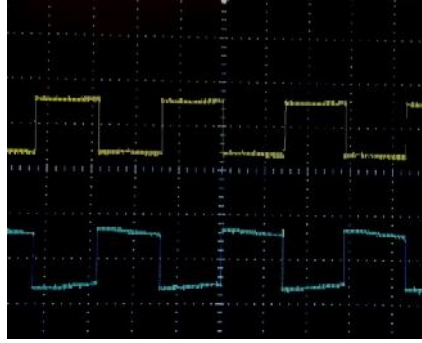


Fig.6. Señales de salida del arduino

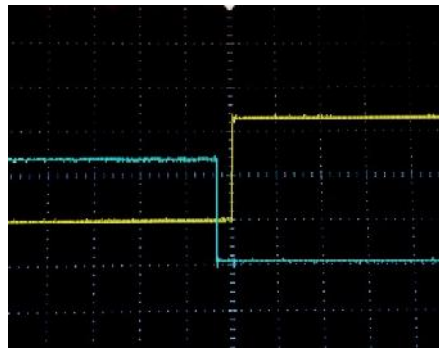


Fig.7. Tiempo muerto entre las señales de salida

3.2.2. Control de Frecuencia y Tiempo vía PC

Se utilizó el software Visual C# para crear la interfaz gráfica (Fig.8) que controla la frecuencia del equipo y el tiempo durante el cual se está activado el cual permite elegir entre 1, 2 y 5 minutos de operación después de ese tiempo el equipo se desactivara. Lo primero que hace nuestro software es buscar la señal Bluetooth de nuestro HC-05 y se conecta con él. Una vez conectado se queda en modo de espera, hasta que se introduzcan los datos a los que funcionará el equipo. Cuando se selecciona una frecuencia el software manda un código que es recibido por el módulo HC-05 y transmitido al Arduino el cual lo decodifica y genera las señales de control que van al inversor de voltaje.

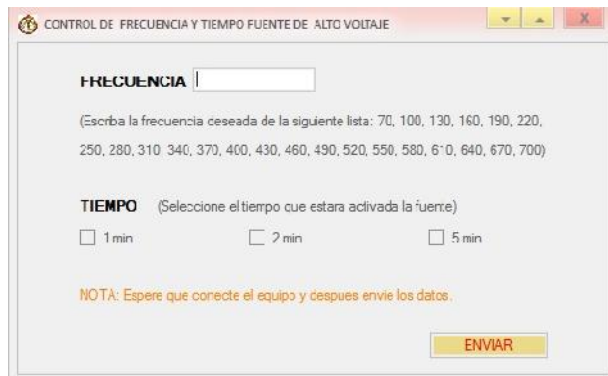


Fig.8. Interfaz gráfica de control

4. Resultados

Al interconectar todas las partes se tiene el sistema completo (Fig. 9). Para hacer funcionar el equipo lo primero que hay que hacer es alimentar el Arduino a 5 V y el inversor con los respectivos voltajes de funcionamiento de sus secciones, los integrados TLP250 con 15 V y los transistores con 15 V (aquí es donde se puede modificar el voltaje de salida para hacerlo mayor). Una vez alimentado el sistema el modulo bluetooth HC-05 queda en modo de espera.

Se abre el programa CONTROL FUENTE, al ejecutarse el programa se hace la conexión automática entre el Arduino y la computadora, ahora se introduce en la interfaz la frecuencia a la que se usara el equipo y el tiempo que estará activado y se da clic en ENVIAR, el Arduino recibe la instrucción la interpreta y manda las señales de salida por sus pines 8 y 9, estas señales van al inversor y las salidas del inversor van al arreglo de transformadores cuya salida proporciona la señal deseada para trabajar.

Se realizaron pruebas con el dispositivo mediante un circuito RC paralelo equivalente al generador de plasma polimérico los valores encontrados para 400V de alimentación se calcularon de las fórmulas de [2]. Los valores obtenidos fueron $C_p=4700\mu F$ y $R_p=10M$.

Se tomaron muestras con el osciloscopio del sistema completo sin el circuito RC y luego se le conecto el circuito RC paralelo, al ser la resistencia de salida del transformador muy baja las señales obtenidas fueron prácticamente idénticas, se puede observar algunas señales representativas en la Fig.8, en total se tomaron 22 muestras de las cuales se determinó que el margen de variación de la salida se encuentra entre -1% y 5%.de $\pm 5\%$, manteniéndose en el margen de los 400 V aproximadamente. Las señales del osciloscopio en las figuras están atenuadas x10.

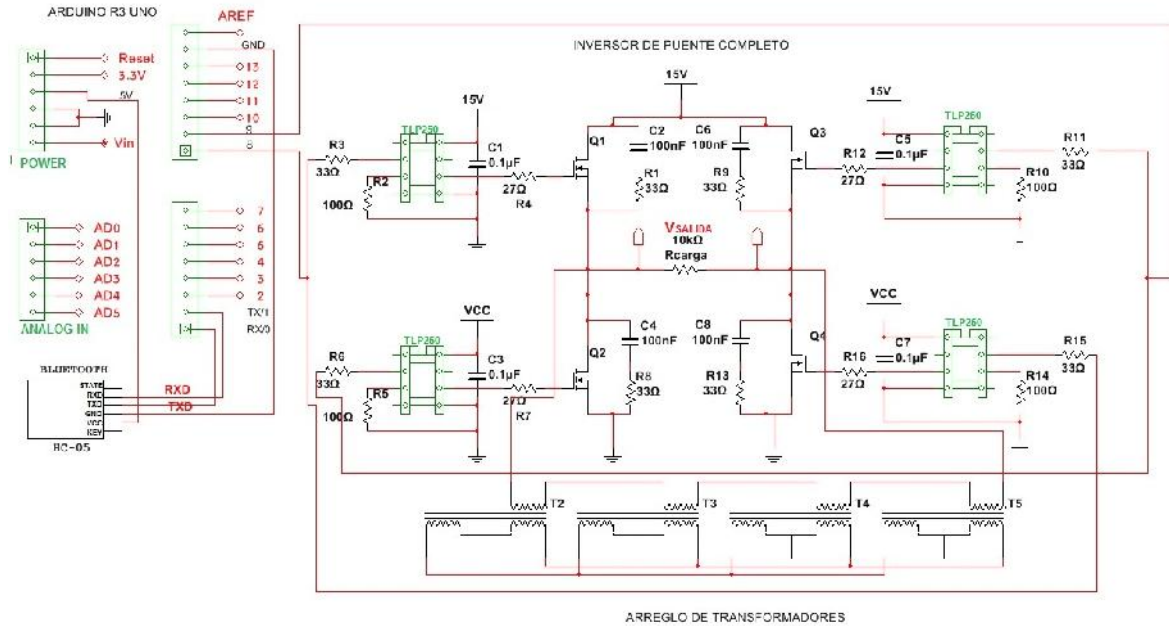


Fig.9. Diagrama electrónico del Prototipo



Fig.10. Salida del inversor a diferentes frecuencias.

Como se puede observar en las imágenes la señal de onda cuadrada se mantiene a un conectado al circuito RC es decir no se deforma.

Con los valores recabados de las imágenes se calculó el porcentaje de variación del voltaje de salida para las diferentes frecuencias (Tabla II). Como se puede observar el voltaje de salida se mantiene cercano a los 400 V siendo las variaciones entre -1% y 5%.

Tabla II

FRECUENCIA (HZ)	VOLTAJE (Vpp)	PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE LA SALIDA (%)
70	404	1
100	412	3
130	420	5
160	420	5
190	420	5
220	416	4
250	416	4
280	412	3
310	412	3
340	412	3
370	412	3
400	412	3
430	404	1
460	404	1

490	408	2
520	412	3
550	408	2
580	400	0
610	400	0
630	400	0
670	400	0
700	396	-1

Tabla II. Margen de error de la salida del sistema

5. Conclusiones

El objetivo fundamental de este proyecto era desarrollar una señal cuadrada de alto voltaje cuya frecuencia y tiempo de activación pudieran variarse remotamente.

Así pues, la aportación principal de este trabajo consiste en el diseño e implementación de un inversor de voltaje de puente completo tomando como base diseños ya existentes. Lo común es obtener una señal senoidal a la salida de un transformador ya que están diseñados para corriente alterna; sin embargo, las señales de control generadas por el arduino fueron capaces de lograr que el inversor de puente completo en conjunto con los transformadores genere una señal cuadrada.

La señal cuadrada obtenida se verificó con un filtro pasa bajas pasivo, a la salida del filtro se obtuvo una señal triangular con la misma frecuencia lo que corroboraba que la señal obtenida en efecto se trataba de una señal cuadrada.

A lo largo del desarrollo de nuestro prototipo fue necesario modificar varias veces nuestras señales de control del inversor de puente completo, el primer control tomado del artículo de C. Koçum y H. Ayhan nos generaba a la salida del inversor una señal deformada con vacíos de energía debido a que el tiempo muerto entre las señales era demasiado grande y no se podía modificar por lo cual se desechó y solo se mantuvo una parte del circuito. Se procedió a implementar dos señales con un sistema arduino por la facilidad que este nos brindaba de poder implementar el control vía remota. Durante la programación de las señales de control del arduino fue necesario modificar los códigos del tiempo muerto de manera manual cada vez que se modificaba el código debido a los retardos que producen las demás instrucciones.

Se implementó el control de tiempo mediante el programa de control vía remota en lugar de circuitos ya que de ser necesario una modificación de tiempos es más fácil adaptar el código fuente que cambiar circuitos internos. Este control vía remota se implementó mediante un programa elaborado en el lenguaje de programación Visual C#, lo primero que se hizo fue la parte gráfica, después se agregó el código fuente. El programa básicamente lo que hace es que: una vez se escribe la frecuencia, se selecciona el tiempo de activación y se presiona el botón Enviar, lo que hace es enviar un código al arduino que hará que este genere las señales de control, al mismo tiempo se activa el timer, una vez que el timer finaliza el programa vuelve a mandar otro código al arduino para hacer que este deje de generar las señales.

Este proyecto debe mejorarse para poder ser usado, con un reactor de plasma polimérico o cualquier otro sistema que emplee alto voltaje de alimentación, teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Adquirir o Diseñar un transformador amplificador de núcleo de hierro de alta relación de vueltas para sustituir el arreglo de transformadores.
- Implementar dos fuentes de corriente directa para alimentar los circuitos una de 15 V para los integrados TP250 y una de 5 V para el arduino.
- Un rectificador de voltaje de 110 VAC, que se pueda controlar para variar el voltaje a la salida del transformador. Este voltaje ira a los transistores 2SK956.

- Al manejar con estas mejoras mayor voltaje de salida y corriente, ser necesario colocar protecciones de sobre voltaje y sobre corriente.
- Se deberá construir una carcasa que contenga toda la circuitería con su respectivo aislamiento.
- Se recomienda igual que no haya ningún dispositivo bluetooth encendido donde se usara el equipo solo la PC.

6. Referencias

- [1] C. Ko um, H. Ayham, "Design and construction of uniform glow discharge plasma system operating under atmospheric condition". REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS 78, 063501 (2007).
- [2] G. Pech Solís, A. Hernández Benítez, "Caracterización Eléctrica de un Plasma-Polimérico". XV Congreso Nacional de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Mayab. Abril 2015. 262-264.

6.2 LINEALIZACIÓN DE TERMISTORES NTC

Josue Gilberto Granados Cervera, Daniel Jesús Pantí de la Rosa, Carlos Alberto Luján
Ramírez, Jose Ramon Atoche Enseñat
Instituto Tecnológico de Mérida

josue.granados@outlook.com, ing.djpr@gmail.com, clujanitm@gmail.com

RESUMEN

En este trabajo se presenta la forma de linealizar mediante modelos de regresión lineal para termistores ntc, para su uso en diferentes tipos de aplicaciones que requieran el cálculo preciso de temperatura a partir de este tipo de sensores económicos pero altamente no-lineales.

1. INTRODUCCIÓN

Los termistores son dispositivos para la medición de temperatura el cual su principio de operación es que su resistencia varía significativamente de acuerdo a la temperatura a la que se encuentren. Estos difieren de los detectores de temperatura por resistencia, o RTD por sus siglas en inglés, de acuerdo a su construcción, ya que el termistor se constituye principalmente de cerámica o polímeros, mientras que el RTD utilizan metales puros [1].

En su tipo de funcionamiento los termistores se agrupan en dos tipos, termistores de coeficiente de temperatura positivo o PTC por sus siglas en inglés, cuyo valor de resistencia aumenta cuando aumenta la temperatura y en termistores de coeficiente de temperatura negativo o NTC en inglés, cuyo valor decrece con la temperatura [2].

Por lo tanto, los termistores son económicos y fáciles de fabricar, pero su desventaja es que su modelo es altamente no lineal, por lo que los fabricantes prefieren dar tablas empíricas para el cálculo de la temperatura [3].

Para lo cual se proponen diferentes modelos de linealización basado en modelos de regresión ajustados para los diversos rangos de medición en los cuales se utilizarán.

Esto conlleva a un costo computacional de nivel medio, lo cual es fácilmente implementable en diferentes plataformas actuales y futuras sin necesidad de elevar significativamente el costo de este tipo de sistemas [4].

Otra de las formas de cómo resolver este tipo de problema es aplicando técnicas avanzadas de modelado de sistemas como, por ejemplo, las redes neuronales. Sin embargo, el costo computacional es mucho más alto debido a la determinación de un funcionamiento óptimo del sistema [5].

2. MODELOS DE LINEALIZACIÓN

En la mayoría de los casos no se requiere un valor muy preciso de temperatura, pero de acuerdo a la aplicación se requiere un modelo linealizado para obtener una mejor aproximación del mismo, por lo que en 1968 Jhon Steinhart y Stanley Hart propusieron un modelo de resistencia de acuerdo a la temperatura para dispositivos semiconductores [6].

2.1 Modelo de Steinhart–Hart

El modelo de Steinhart–Hart es un modelo para la resistencia de un semiconductor a diferentes temperaturas. Este se muestra en la ecuación 1 donde T es la temperatura en grados Kelvins y R es

la resistencia a la temperatura T, y los coeficientes a encontrar son los valores A, B y C, los cuales son valores escalares.

$$\frac{1}{T} = A + B \ln(R) + C [\ln(R)]^3 \quad (1)$$

$$^{\circ}K = ^{\circ}C + 273.15 \quad (2)$$

Por lo que para una R conocida T se puede expresar en °C de la forma:

$$T = \frac{1}{A + B \ln(R) + C [\ln(R)]^3} - 273.15 \quad (3)$$

Para encontrar los coeficientes del modelo se puede aplicar el sistema matricial de regresión de acuerdo a la ecuación 4.

$$\begin{matrix} 1 & \ln(R_1) & \ln(R_1)^3 & A \\ 1 & \ln(R_2) & \ln(R_2)^3 & B \\ 1 & \ln(R_3) & \ln(R_3)^3 & C \end{matrix} B = \begin{bmatrix} \frac{1}{T_1} \\ 1 \\ \frac{1}{T_2} \\ \frac{1}{T_3} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$L = \begin{bmatrix} 1 & \ln(R_1) & \ln(R_1)^3 \\ 1 & \ln(R_2) & \ln(R_2)^3 \\ 1 & \ln(R_3) & \ln(R_3)^3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{matrix} A \\ B \\ C \end{matrix} = L^{-1} \begin{bmatrix} \frac{1}{T_1} \\ 1 \\ \frac{1}{T_2} \\ \frac{1}{T_3} \end{bmatrix} \quad (6)$$

2.2 Modelo Beta

El modelo Beta o Modelo simplificado de Steinhart-Hart se basa en que C=0. La ventaja es que computacionalmente es más sencillo, la desventaja es que es mucho menos preciso, ya que suponiendo que C = 0 la fórmula 1 se reduce a la fórmula 7.

$$\frac{1}{T} = A + B \ln(R) \quad (7)$$

Siguiendo el mismo proceso de regresión matricial, se pueden encontrar los valores de A y B de acuerdo a la fórmula 11.

$$\begin{matrix} 1 & \ln(R_1) \\ 1 & \ln(R_2) \end{matrix} A = \begin{bmatrix} \frac{1}{T_1} \\ \frac{1}{T_2} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$L = \begin{bmatrix} 1 & \ln(R_1) \\ 1 & \ln(R_2) \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\begin{matrix} A \\ B \end{matrix} = L^{-1} \begin{bmatrix} \frac{1}{T_1} \\ \frac{1}{T_2} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\begin{matrix} A \\ B \end{matrix} = \begin{bmatrix} \frac{\ln(\frac{R_2}{R_1})}{\ln(\frac{1}{R_2}) - \ln(\frac{1}{R_1})} & -\frac{\ln(\frac{R_2}{R_1})}{\ln(\frac{1}{R_2}) - \ln(\frac{1}{R_1})} \\ -\frac{1}{\ln(\frac{1}{R_2}) - \ln(\frac{1}{R_1})} & \frac{1}{\ln(\frac{1}{R_2}) - \ln(\frac{1}{R_1})} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{T_1} \\ \frac{1}{T_2} \end{bmatrix} \quad (11)$$

3. APLICACIÓN DE LOS MODELOS

3.1 Modelo de Steinhart–Hart

Para la validación de los modelos en un caso práctico se eligió un sensor tipo NTC con número de modelo PTC2901 de la marca TDK, esta marca proporciona una tabla de datos empíricos de acuerdo con [7], con lo cual se puede realizar la aplicación de los modelos de regresión lineal, aunque se recomienda que para minimizar el error se escojan valores que se encuentren en el rango de trabajo que nos interese.

T(°C)	T(°K)	R(kOhm)
-35	238.15	930.55
25	298.15	50
120	393.15	2.3241

Tabla I: Datos Empíricos de las temperaturas a aplicarle el modelo de regresión De acuerdo a la ecuación 5 y 6 se encuentran los coeficientes A, B y C.

$$\begin{matrix} \sum \\ \sum \\ \sum \end{matrix} = \begin{matrix} 1 & 13.7435 & 2595.942 \\ 1 & 10.8197 & 1266.6455 \\ 1 & 7.7511 & 465.6804 \end{matrix} \quad (12)$$

$$\begin{matrix} A \\ B \\ C \end{matrix} = L^{-1} \begin{bmatrix} \frac{1}{T_1} \\ \frac{1}{T_2} \\ \frac{1}{T_3} \end{bmatrix} = \begin{matrix} 0.6967 * 10^{-3} \\ 0.2305 * 10^{-3} \\ 0.000128969 * 10^{-3} \end{matrix} \quad (13)$$

Por lo que el modelo linealizado para el PTC2901 se puede expresar en grados centígrados de acuerdo a la ecuación 14.

$$T = \frac{1}{0.6967 * 10^{-3} + 0.2305 * 10^{-3} \ln(R) - 0.000128969 * 10^{-3} [\ln(R)]^3} - 273.15 \quad (14)$$

5.2 Modelo Beta

Para la aplicación del modelo Beta, se eligieron los valores en el rango de 25°C y de 120°C como valores críticos los cuales se pueden observar en la tabla I. Utilizando la ecuación 11, se encuentran los valores de A y B. Como se muestra en la ecuación 15, y el modelo de temperatura en la ecuación 16.

$$\begin{matrix} A \\ B \end{matrix} = \begin{matrix} 0.4964 * 10^{-3} \\ 0.2641 * 10^{-3} \end{matrix} \quad (15)$$

$$T = \frac{1}{0.4964 * 10^{-3} + 0.2641 * 10^{-3} \ln(R)} - 273.15 \quad (16)$$

5.3 Calculo del Error

De acuerdo a los modelos de temperatura obtenidos se graficó el error de acuerdo a los datos empíricos del sensor ntc PTC2901 proporcionados por el fabricante, este error se describe de forma gráfica en la Figura 16.

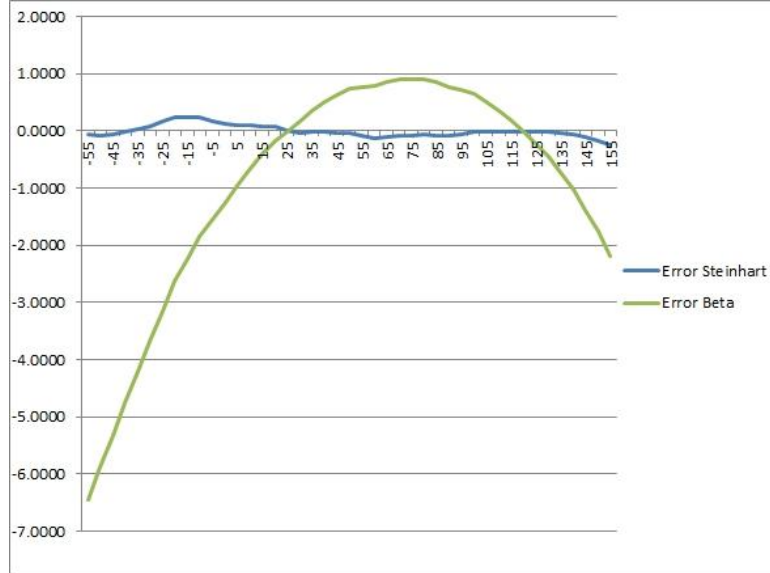


Figura 16: Gráfica del Error en Grados centígrados de los modelos calculados.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede obtener un modelo suficientemente preciso y verificable para un sensor ntc, el cual presenta un alto comportamiento no-lineal, sin embargo, al introducir en el modelo de Steinhart-Hart componentes logarítmicos, este se vuelve más complicado de aplicar ya que requiere de un mayor costo computacional, por lo que en esos casos el modelo Beta presenta un punto medio entre complejidad y precisión, solo que para ello se requiere elegir bien los puntos críticos de operación, de acuerdo a la aplicación deseada.

7. REFERENCIAS

1. A.C Solé. *Instrumentación Industrial* (Marcombo, Barcelona), 800, (2011)
2. T.J. Maloney. *Electrónica Industrial Moderna* (Pearson Educación, México), 972, (2006)
3. T. D. McGee. *Principles and Methods of Temperature Measurement* (Jhon Wiley & Sons, New York), 589, (1988).
4. A.R. Sarkar, D. Dey y S. Munshi, *Linearization of NTC Thermistor Characteristic Using Op-Amp Based Inverting Amplifier*, "IEEE Sensors Journal", **13**, 12, 4621-4626, (2013).
5. K.V. Lakshmi y V.N. Kumar, *Development of an Intelligent Temperature Transducer*, "IEEE Sensors Journal", **16**, 12, 4696-4703, (2016).
6. J. S. Steinhart y S. R. Hart, *Calibration curves for thermistors*, "Deep-Sea Research and Oceanographic Abstracts", **15**, 4, 497-503, (1968).
7. NTC thermistors for temperature measurement. TDK, Datasheet B57871S, (2013)

7. PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES

7.1 DISEÑO DEL CONTROL PARA UN LEVITADOR NEUMÁTICO A PARTIR DE DATOS EXPERIMENTALES EN UNA RED CAN.

Carlos Lujan Ramírez, Ojeda Arana Juan Alberto, Jesús Sandoval Gio, Agustín Flores Novelo

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

jojedaarana@gmail.com

Resumen.

El bus de comunicaciones CAN, es el protocolo de comunicación que ha sido implementado en varios sectores de la ingeniería, por ejemplo, el sector automotriz. El bus, comunica varios nodos (dispositivos), ya sea para leer datos de un sensor o aplicar un control a un actuador. Por otro lado, en la mayoría de los casos, los sistemas a controlar no tienen una función de transferencia establecida por el fabricante, por lo tanto, la función debe ser estimada a partir de datos experimentales. El siguiente trabajo, se diseña un controlador para un levitador neumático que se encuentra funcionando en una red CAN. El procesamiento del control diseñado va a estar regido de un nodo independiente en la red CAN.

Abstract.

CAN bus communications is the communication protocol that has been implemented in various sectors of engineering, for example, the automotive sector. The bus connects multiple nodes (devices), either to read data from a sensor or control applied to an actuator. Moreover, in most cases, control systems haven't a transfer function set by the manufacturer, therefore, the function must be estimated from experimental data. The next work, a controller for a tire levitation that is operating in a CAN network is designed. Control designed processing will be governed by a separate node in the CAN network.

1. introducción.

La teoría de control contiene una amplia literatura en donde han desarrollado técnicas para el diseño de controladores(o compensadores), ya sea utilizando la teoría de control clásica o moderna. Como parte del estudio en la asignatura (en la maestría en ingeniería del Instituto Tecnológico de Mérida) de sistemas electrónicos de instrumentación y control, se sugiere un análisis sobre la identificación paramétrica de sistemas a partir de datos experimentales. Dicho tema, es abordado por [1] en donde se explican y clasifican los sistemas de acuerdo a la respuesta ante una determinada entrada. En [2] se aplican algunas de las técnicas de identificación en el diseño de un control para el comportamiento dinámico de un servo sistema hidráulico, en donde se demuestran de una manera practica el diseño de controles a partir de datos experimentales. Por otro lado, en los sistemas de instrumentación, el bus de comunicaciones CAN (Control Área Network), es un protocolo de comunicación confiable para interconectar dispositivos en una red industrial [3].

Dicho lo anterior, en [4] se realiza el diseño de un control distribuido para un avión a escala, en donde utiliza el protocolo CAN para comunicar dispositivos en el avión. Dicha aplicación resalta la importancia de analizar más a fondo sobre el impacto de la comunicación CAN en los sistemas de control. En [5] se realiza un estudio de estrategias de control PI disparado por eventos para sistemas

basados en red. Dicho estudio simula las diferentes estrategias de control en un bus CAN mediante el software MATLAB, en donde concluye que el control PI híbrido basado por eventos es la técnica más eficiente en una red CAN. Dicho lo anterior, se desea conocer el comportamiento de un sistema real con un control diseñado mediante datos experimentales en una red CAN, en donde se desea involucrar varios nodos en la red para el procesamiento del control del sistema.

2. Metodología.

2.1 Métodos de identificación de sistemas.

Existen diferentes maneras de identificar un sistema para obtener la función de transferencia. Dichos métodos se pueden clasificar de dos maneras [6]:

Dependiendo de modelo obtenido:

Métodos no paramétricos: estos métodos hacen el uso de técnicas como: análisis de la respuesta transitoria, análisis de la respuesta en frecuencia, análisis de la correlación, análisis espectral, análisis de fourier, entre otros.

Métodos paramétricos: estos métodos requieren la elección de una posible estructura del modelo, de un criterio de ajuste de parámetros, y por último de la estimación de parámetros que mejor se ajustan el modelo a los datos muestreados.

Dependiendo de la aplicación:

Métodos de identificación off-line(a posteriori):

Es utilizado en aquellas aplicaciones en que no se requiera un ajuste continuado del modelo. En estos casos, se realiza la identificación previa a la planta, considerándose que la validez de los parámetros obtenidos no se verá alterada con el paso del tiempo.

Métodos de identificación on-line (recursiva): Se realiza la identificación en los que los parámetros se van actualizando continuamente a partir de los nuevos datos de entrada-salida obtenidos durante la evolución del proceso. Esta es muy utilizado en el control adaptativo.

Identificación paramétrica del sistema.

Este método de identificación pretende obtener un modelo matemático del proceso que se comporte de una manera lo más aproximada posible al sistema real. La manera más usual de identificar a un sistema es aplicar en su entrada una excitación conocida, obtener la respuesta y después tratar de ajustar un modelo conocido a las particularidades del sistema sujeto a la identificación [1].

Las señales más usadas como excitación al hacer la identificación son:

- Señal escalón, también conocido como “identificación en el tiempo”
- Señal senoidal de amplitud constante y frecuencia variable, también conocido “identificación en frecuencia”.

2.2 El bus CAN (Control Area Network).

El protocolo CAN fue desarrollado a finales de los 80s por el alemán R. Bosch Gmbh para solucionar problemas de interconexión y comunicación de dispositivo en los automóviles. El bus CAN es una comunicación serial que fue diseñado para proporcionar una transmisión de datos en ambientes de mucha interferencia como lo es la interferencia electromagnética o las descargas electroestáticas [7] y sobre todo, para poder implementar una comunicación a bajo costo.

1.2.1 Funcionamiento del bus CAN.

Las principales características, elementos, funcionamiento y trama lo menciona [8], cuyas principales características son:

- La información que circula entre las unidades de mando a través de los dos cables (bus) son paquetes de 0 y 1 (bit) con una longitud limitada y con una estructura definida de campos que conforman el mensaje.
- Uno de esos campos actúa de identificador del tipo de dato que se transporta, de la unidad de mando que lo trasmite y de la prioridad para transmitirlo respecto a otros. El mensaje no va direccionado a ninguna unidad de mando en concreto, cada una de ellas reconocerá mediante este identificador si el mensaje le interesa o no.
- Todas las unidades de mando pueden ser transmisoras y receptoras, y la cantidad de las mismas abonadas al sistema puede ser variable (dentro de unos límites).
- Si la situación lo exige, una unidad de mando puede solicitar a otra una determinada información mediante uno de los campos del mensaje (trama remota).
- Cualquier unidad de mando introduce un mensaje en el bus con la condición de que esté libre; si otra lo intenta al mismo tiempo, el conflicto se resuelve por la prioridad del mensaje indicado por el identificador del mismo.
- El sistema está dotado de una serie de mecanismos que aseguran que el mensaje es transmitido y recibido correctamente. Cuando un mensaje presenta un error, es anulado y vuelto a transmitir de forma correcta, de la misma forma una unidad de mando con problemas avisa a las demás mediante el propio mensaje, si la situación es irreversible, dicha unidad de mando queda fuera de servicio pero el sistema sigue funcionando.

3. Desarrollo.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la estructura de la red CAN, en donde hay 3 nodos; el primer nodo se encargará del procesamiento del control a diseñar, el segundo nodo será el responsable de leer los datos de los sensores y manejar los actuadores correspondientes al sistema que se desea controlar. El tercer nodo será el monitor de la red para poder observar los datos enviados en el bus.

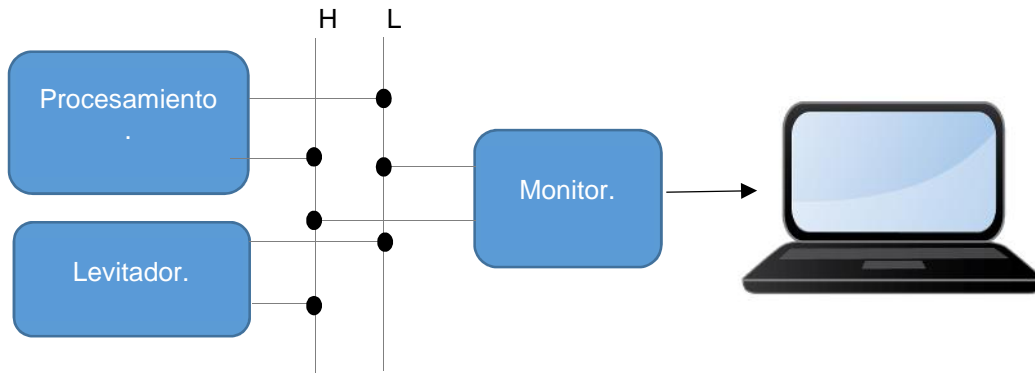


Figura 17 Red CAN.

3.1 Hardware en la red CAN.

Para la realización de la red CAN se utilizó el microcontrolador CY8C5888LTI-LP097 que esta implementado en el kit CY8KIT-059 de la empresa CYPRESS, dicho chip tiene embebido 1 modulo CAN mas no el tranceptor, por lo tanto, se diseñó una shield donde se incorporó el tranceptor. El tranceptor, es el MCP2551 de la empresa MICROCHIP, que soporta una velocidad de comunicación de hasta 1Mbps. En la Figura 18 se puede observar el diseño de la shield y en la Figura 019 el kit CY8KIT-059.

De acuerdo a la norma ISO11898-2 para una comunicación CAN de alta velocidad (de 125Kps-

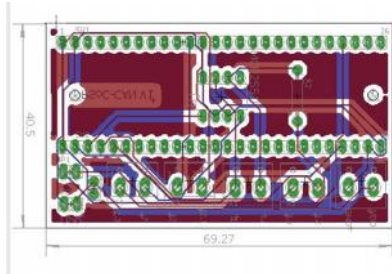


Figura 18 Diseño de la PCB Shield.



Figura 019 CY8KIT-059

1Mbps), es necesario colocar en cada extremo del bus una resistencia de 120 ohm, esto es con el fin de evitar rebotes de la señal [7].

4.3 Hardware del levitador neumático.

En la Figura 20 se muestra las partes que conforma el levitador, dentro de las cuales, utiliza un sensor de proximidad, en específico, utiliza el sensor Sharp GP2Y0A21YK0F, donde su rango de trabajo es de 10-80 cm. Como actuador tiene un ventilador que puede soportar una fuente de hasta 24 VDC, dicho ventilador servirá para empujar el disco en una determinada distancia dentro de una estructura cilíndrica. En la parte superior cilíndrica tiene de una tapa para provocar una determinada perturbación (Figura 021). La manera en que la tapa genere le perturbación, será el paso de menos (o más) flujo de aire en la tapa. Esto permitirá caracterizar el sistema y obtener su función de transferencia

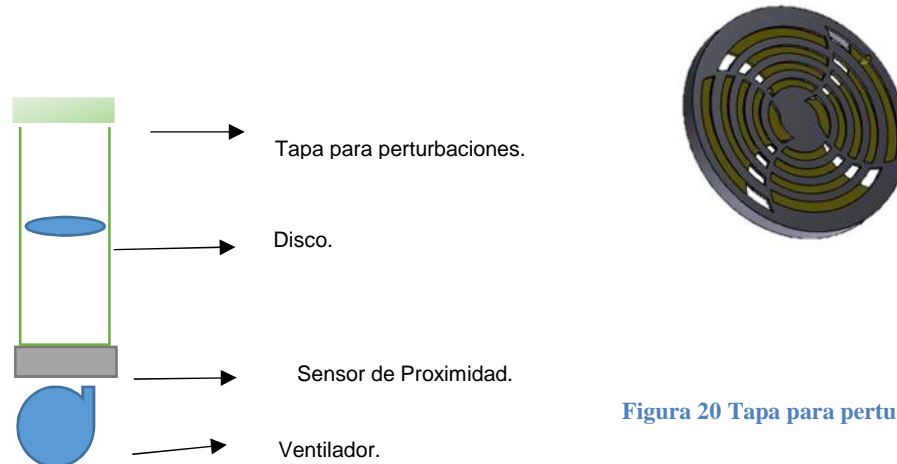


Figura 20 Tapa para perturbaciones.

Figura 021 Estructura del levitador.

4.4 Diseño del control.

Para el diseño del control, Se debe conocer la función de transferencia del sistema, en este caso no se conoce, por lo cual se estimará paramétricamente a partir de datos experimentales.

Identificación Paramétrica del sistema.

De acuerdo a [1] se fija una referencia (setpoint), dicha referencia debe mantenerse durante un determinado tiempo, posteriormente se le agregará una perturbación al sistema, dicha perturbación será la entrada escalón que se le aplicara al sistema para saber su comportamiento. Con el nodo que se encarga en el monitoreo del sistema, se grafica el comportamiento del levitador a dicha perturbación.



Figura 23 Gráfica del levitador con ruido



Figura 22 Gráfica del levitador sin ruido.

En la Figura 23 se observa el comportamiento del sistema ante una perturbación. La señal que es enviada por el sensor infrarrojo tiene ruido, por lo tanto hay que tratar el señal recibida para realizar un mejor análisis de la respuesta. En la Figura 22 se muestra la señal de la Figura 6 sin el ruido, por



Figura 24 Cálculo de la función de transferencia.

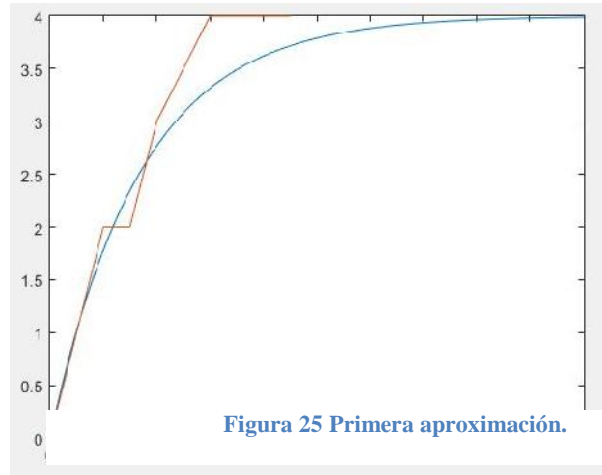
lo que facilitará su análisis. Ahora lo que interesa es observar de cerca el tiempo que le lleva al sistema estabilizarse ante la perturbación, por las razones que se acaban de señalar, del rango de datos que se tiene en la gráfica, solo se seleccionarán los datos del tiempo que lleva al sistema a estabilizarse.

En la figura 8 se estima la función de transferencia, hay que recalcar que para obtener esta grafica se tuvo que seleccionar el rango de valores del tiempo en la cual se estabiliza el sistema ante una perturbación. De acuerdo a [1], la Figura 8 representa una respuesta sobreamortiguada de primer

orden por lo tanto la función de transferencia es $G_s \frac{K}{t_s-1}$ en donde el valor de la constante de tiempo se obtiene sobre la gráfica, para ello se observa el tiempo correspondiente del 63% $U(t)$ [1]:

$$G_s = \frac{1}{1.7s+1} \quad (1)$$

Con la ayuda del software Simulink de MATLAB se compara la función de transferencia calculada versus los datos de la figura 8, para corroborar si son semejantes:



En la figura 9, se observa que la función de transferencia calculada (azul) es mucho más lenta que la función de transferencia real (rojo), por tal motivo dicha función no es útil. Se tendrá que realizar otra aproximación, pero ahora de acuerdo a las recomendaciones de [1], se aproximará mediante la técnica de polos reales distintos. Dicha técnica establece que la función de transferencia tendrá la forma:

$$G_s \frac{K}{(T_1s+1)(T_2s+1)} \quad (2)$$

En donde T_1 y T_2 son las constantes de tiempo. Para calcular las constantes de tiempo se recomienda utilizar el método de Strejc y posteriormente ajustar las constantes de tiempo hasta obtener los resultados deseados [1]. En este caso como es un sistema de primer orden sin retraso, ajustamos las constantes de tiempo hasta obtener la respuesta más parecida a la real.

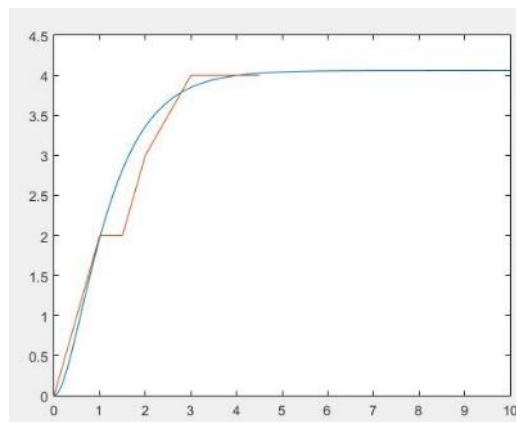


Figura 026 Aproximación final

En la figura 10 se observa la aproximación más parecida a la real utilizando la técnica de polos reales distintos, con lo anterior se establece que la función de transferencia del sistema es:

$$G_S = \frac{1.015}{(.8S+1)(.45S+1)} \quad (3)$$

Obteniendo la función de transferencia, ya se puede diseñar el control deseado.
Diseño de control.

El control a diseñar debe satisfacer los siguientes parámetros: el control debe tener una respuesta de al menos 2 segundos con un error en estado estacionario del 2%. A continuación se calcula el error en estado estacionario con la función de transferencia en lazo cerrado propuesto por [1].

Error en estado estacionario en lazo cerrado:

$$e_p = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{S}{1 + \frac{1.015}{(.8S+1)(.45S+1)}} * \frac{1}{S} \quad (4)$$

$$e_p = \frac{1}{1 + \frac{1.015}{1}} = 0.49$$

$$e_p = 49\%$$

Se tiene un error en estado estacionario del 49%, nuevamente con la ayuda del Simulink se corrobora dicho calculo (Figura 27).

Estimando la ganancia para quitar el error en estado estacionario:

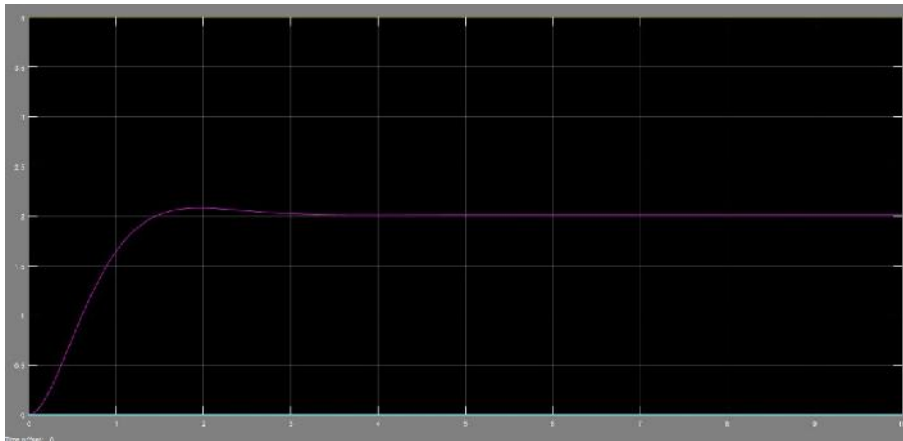


Figura 27 Error en estado estacionario.

$$e_p = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{S}{1 + \frac{Kp \cdot 1.015}{(.8S+1)(.45S+1)}} * \frac{1}{S} \quad (5)$$

$$e_p = \frac{1}{1 + \frac{1.015 K_p}{1}} = .02$$

$$K_p = \frac{\frac{1}{.02} - 1}{1.015}$$

$$K_p = 48.275$$

Con el resultado de la ecuación 5 se obtiene el valor proporcional (Kp) de 48 para quitar el error en estado estacionario de la función de transferencia en lazo cerrado con un error de 2%. Nuevamente con la ayuda del simulink corroboramos si con un control proporcional puede satisfacer los requerimientos del control deseado.

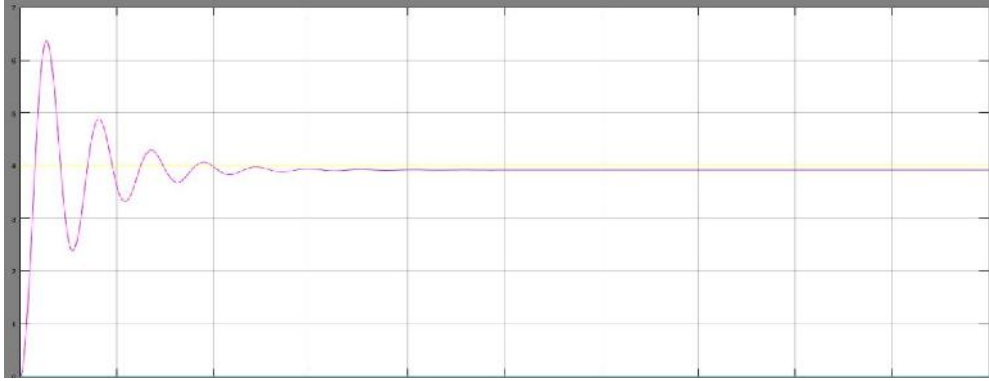


Figura 28 Control proporcional.

Como se observa en la figura 12, el control proporcional calculado, genera sobretiros de más del 50%, lo cual no es favorable, por lo tanto, hay que añadir un control integral [1]. Para calcular los valores del control integral respetando los valores de la ganancia calculada, se debe cumplir la siguiente relación de proporción entre cero y polo:

$$\frac{Z_0}{P_0} = 48. \quad (6)$$

Se propone la posición del cero del compensador lo más pegado al origen del plano complejo, y de tantos valores la relación que mayor satisfizo es el valor de $Z_0=1.2$ $P_0 = 0.025$. Por lo tanto el controlador PI queda:

$$\frac{s+1.2}{s+0.025} \quad (7)$$

Dicha expresión en serie con la función de transferencia en lazo cerrado tiene la siguiente respuesta:

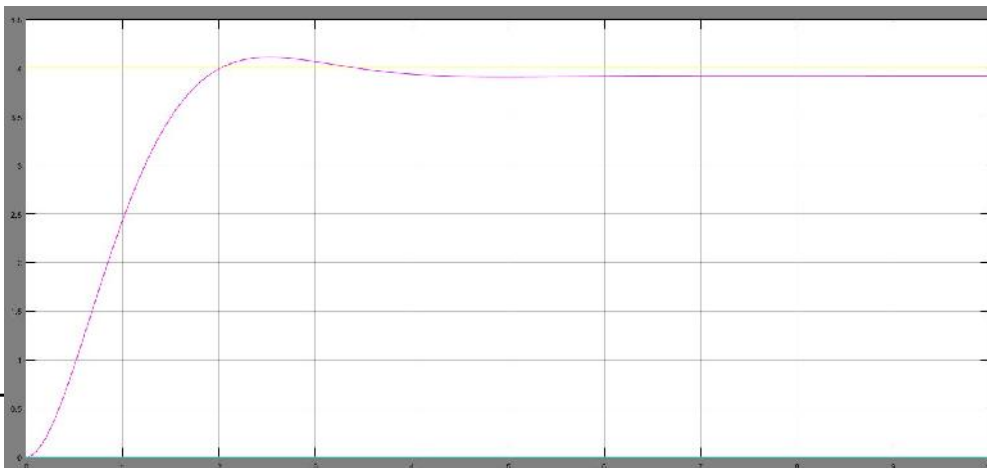


Figura 29 Control PI.

Observando la respuesta de la figura 13, el controlador cumple con el funcionamiento deseado del sistema. Ahora se convertirán los valores para utilizarlos en un microcontrolador. Como se diseñó el control en el medio continuo, se debe pasar los valores de la función de transferencia y del control al estado discreto, para ello se utiliza el método de discretización de Tustin [6]. Utilizando dicho método las expresiones quedan de la siguiente manera:

$$\frac{1.015}{(.4s + 1)(.45s + 1)} \quad \rightarrow \quad \frac{0.1257z - .0112}{z^2 - 1.683z + .7066} \quad (7)$$

$$\frac{+ 1.2}{s + 0.025} \quad \rightarrow \quad \frac{- 0.8801}{z - 0.9975} \quad (8)$$

Con lo anterior se corrobora en Simulink si es correcta la conversión

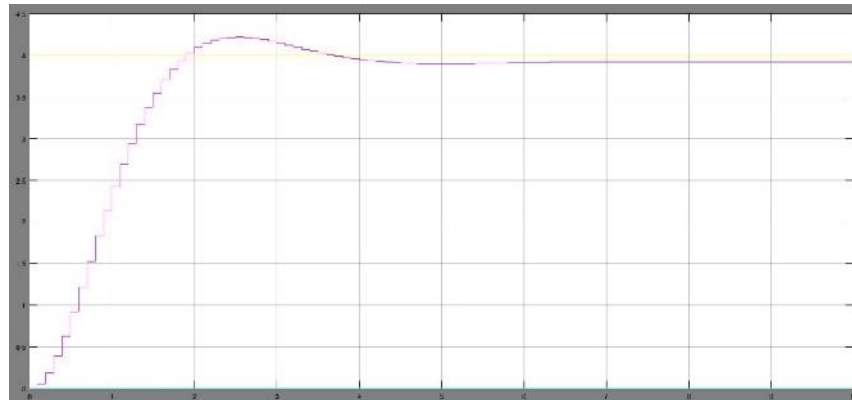


Figura 30 Control Discretizado.

El siguiente paso es obtener la ecuación de diferencias del control discreto (PI) para poder implementarlo en el microcontrolador:

$$G_s(z) = \frac{U_z}{E_z} = \frac{z - 0.8801}{z - 0.9975}$$

$$(z - 0.9975)U_z = (z - 0.8801)E_z$$

$$U_{(z)} = 0.9975Z^{-1}U_{(z)} + E_{(z)} - 0.8801z^{-1}E_{(z)} \quad (9)$$

Con la ecuación 9 se obtiene la ecuación de diferencias:

$$U_{(k)} = 0.9975 U(k - 1) + E(k) - 0.8801 E(k - 1) \quad (10)$$

4. Resultados.

Una vez diseñado el control, se añade el control en el microcontrolador, en este caso el control lo rige el nodo de solo procesamiento. En la figura 15 muestra el comportamiento del control cuando se le añade algunas perturbaciones al sistema. El eje de las abscisas representa el tiempo en segundos del sistema, y el de las ordenadas la distancia en centímetros en el tubo del levitador. En la figura 16 presenta el sistema funcionando, en donde el disco se mantiene estable.



Figura 31 Levitador con control.

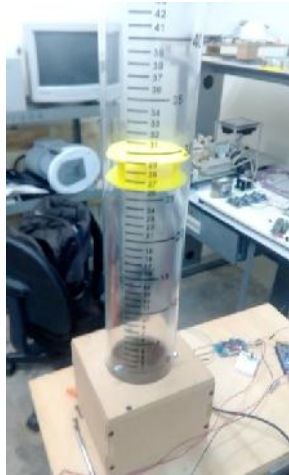


Figura 32
Levitador.

5. Conclusiones.

La identificación de sistemas mediante datos experimentales, es un método muy eficiente para sistemas estables. Por lo que si el sistema a modelar es demasiado inestable, la función de transferencia que se calcule no simularía al sistema real, esto traería efectos negativos al momento de diseñar un determinado control. Es importante contar con alguna herramienta computacional para emular las funciones de transferencia para comparar la función real vs la estimada, ya que muchas veces la función estimada, no es similar a la respuesta real por lo que se tiene que utilizar otras técnicas. A pesar que la función de transferencia no es exactamente igual a la original, el comportamiento del control fue satisfactorio para el caso del levitador, pero aún se puede mejorar el comportamiento del sistema, ya sea volviendo a calcular la función de transferencia con alguna técnica de identificación o en su caso implementar un control adaptable.

El bus de comunicaciones CAN trabaja a una velocidad de 1Mbps, en donde la comunicación entre los nodos fue satisfactoria.

En cuanto al hardware del levitador neumático, es de importancia ajustar el sensor y actuador en una posición conveniente, ya que, si existe algún desnivel en la base, el sensor podría realizar una lectura diferente a la determinada. Algunos de los errores en la respuesta del levitador son debido al sensor ya que por la inestabilidad del disco, la señal rebota en un ángulo no conveniente que ocasiona una mala lectura.

6. Referencias

- [1] D. A. F. Novelo, «Obtención de la Función de Transferencia de Sistemas mediante la Identificación Paramétrica a partir de datos Experimentales,» de *Apuntes de control*, Merida Yucatan, 2014.
- [2] V. H. B. B. MARÍA ELENA ANAYA PÉREZ*, «DISEÑO DE CONTROLADORES P, PI Y PID PARA EL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UN SERVO-SISTEMA HIDRÁULICO, BASADO EN DESARROLLO EXPERIMENTAL,» *EPISTEMUS*, pp. 13-21, 2014.
- [3] M. P. S. W. ChunHua Zeng, «CAN Bus Communication System Based On SOC Technology,» *IEEE*, pp. 322-325, 2010.
- [4] L. C. & Y. Guo, «Design of the Distributed Control System Based on CAN Bus,» *Computer and Information Science*, vol. 4, pp. 83-89, 2011.
- [5] J. F. G. C. e. a. M. Garcia Juarez, «Estudio de estrategias de control PI disparado por eventos para sistemas basados en red,» *Congreso Nacional de Control Automatico*, pp. 447-453, 2015.
- [6] M. E. L. Guillén, «Identificación de Sistemas: Aplicación al modelado de un motor de continua.,» Departamento de electronica, 2011.
- [7] J. Lepkowski, «EMI/ESD Protection,» On semiconductor, Arizona, 2004.
- [8] j. a. o. arana, CARACTERIZACIÓN DE UNA RED CAN CON INTERFAZ HID UTILIZANDO MICROCONTROLADORES DE LAS EMPRESAS CYPRESS Y MICROCHIP, Merida: Tecnológico de Merida, 2014.
- [9] A. Bailey, «CAN BUS,» Washington State University, Washington, 2015.

7.2 APLICACIÓN DE LAS REDES DE SENSORES PARA EL MONITOREO DEL CONSUMO ENERGÉTICO.

Javier Adán Méndez Méndez, José Agustín Hernández Benítez, Víctor Sandoval Curmina
Instituto Tecnológico de Mérida
javieradan1490@gmail.com, jhernand72@yahoo.com.mx, v.curmina@hotmail.com

RESUMEN

La capacidad de tomar lecturas en tiempo real del consumo energético es el primer paso para el uso eficiente de la energía, ya que con esto podemos obtener los datos suficientes para conocer el comportamiento de consumo y, por ende, establecer estrategias que ayuden a optimizar el uso de la misma. El uso de redes de sensores industriales (IWSN, Industrial Wireless Sensor Network) no solo nos permite obtener información en tiempo real del consumo energético de una casa, si no también saber el consumo de cada aparato eléctrico dentro de la casa, así como también identificar aquellos elementos claves que representan una carga enorme en el consumo general. La aplicación del paradigma del Internet de las Cosas (IoT, Internet of Things), nos permitiría acceder a toda esta información a través del internet en cualquier tiempo y desde cualquier plataforma. En el presente trabajo se propone las características que una IWSN debe cubrir para monitorear el consumo energético, así como una propuesta de implementación.

Abstract

The ability to make real-time readings of energy consumption is the first step for the efficient use of energy because with this way we can get enough data to determine the consumption behavior and, therefore, establish strategies to optimize the use of energy. The use of Industrial Wireless Sensor Network allows us not only to get data in real-time of energy consumption but to know the consumption of each electrical appliance inside a house as well as identify the key elements that represent a huge burden on general consumption. The application of the paradigm of Internet of Things would allow us to get access to all this information via Internet at any time and from any platform. This work proposes the characteristics that an IWSN should satisfy to check the energetic consumption, as well as an implementation proposal.

1 INTRODUCCION

Los avances tecnológicos en el área de la electrónica están trayendo consigo infraestructuras como la red eléctrica inteligentes (Smart Grid), casas inteligentes, conducción autónoma y demás que conectan al mundo más de lo que creíamos posible. Detrás de todo esto se encuentra un concepto muy importante, el internet de las cosas (IoT, Internet of Things), que consiste básicamente de la conexión de cada objeto interactuando con otros por medio del internet [1]. Una de las tecnologías con más fuerza tiene en el IoT son las redes de sensores inalámbrica (WNS, Wireless Networks Sensor). Una WSN se puede definir como una red de pequeños sistemas embebidos, autónomos y distribuidos físicamente llamados nodos sensoriales, que se encuentran instalados alrededor de un fenómeno para ser monitoreado, los cuales tienen la capacidad de almacenar y comunicar datos en una forma inalámbrica colaborando entre sí para realizar una tarea en común [2] - [4].

Una de las aplicaciones emergentes de WSN son las redes de sensores industriales (IWNS, Industrial Wireless Networks Sensor) donde los sistemas inalámbricos son usados para controlar y monitorear diversos procesos industriales. Los IWSN pueden mejorar los procesos mediante la

recopilación de datos dentro de un intervalo de tiempo limitado, ayuda a acceder de forma remota a lugares peligrosos en alguna instalación y reduce el gasto económico evitando la necesidad de la instalación de cables [5]. Dentro de las aplicaciones industriales podemos mencionar el monitoreo de:

- Variables ambientales. En la industria agrícola, las variables tales como son la luz, humedad, pH del suelo, nutrientes, etc. ayudan a mejorar el crecimiento de las cosechas [6].
- Recursos. En la industria del petróleo y gas, el uso de los sensores permite el seguimiento del recurso durante la producción de este, así como el uso de alertas ante posibles fugas e indicadores en el desempeño de los pozos [7].
- Condiciones meteorológicas. Los IWSN son muy útiles para la predicción del clima en condiciones geográficas hostiles [8].
- Estados de un proceso. La aplicación IWSN permite el seguimiento del estado de una máquina en sus condiciones habituales de trabajo. Con esto los fabricantes pueden reducir costos innecesarios incurridos por fallas o mal funcionamiento de la máquina [9].

En su mayoría, estas redes contienen actuadores para controlar procesos críticos y no tan críticos que operan en un bucle cerrado; por lo tanto, un IWSN puede aumentar el desempeño de cualquier sistema haciéndolo más rápido y confiable [10].

Una de las áreas donde más impacto tiene esta tecnología son en los Smart Grids, ya que las IWSN son un factor importante para que alcance todo su potencial. La idea de todo esto es que la red eléctrica responda en tiempo real a la demanda y para ello es necesario que una IWSN provean la información adecuada en tiempo real. Por ejemplo, el estado de las líneas de transmisión eléctrica está afectado directamente con las condiciones ambientales de las zonas en las que se encuentran, con una IWSN se puede enviar alertas oportunas de los desastres, localizar rápidamente las posiciones de fallas, detectar fallos en la línea eléctrica, acortar el tiempo de recuperación de fallas y mejorar la fiabilidad de las fuentes de suministro eléctrico. Además, puede proporcionar datos para mejorar la eficiencia en la transmisión y aumentar la capacidad dinámica de las líneas de transmisión; así como el estatus en los que se encuentra cada elemento de la red y la red misma [11]. Los IWSNs puede conectar a los usuarios con los proveedores haciendo una red más interactiva y completa, con esto se puede obtener la información del consumo energético y guiar al usuario o directamente ajustar los hábitos de consumo de la energía, reducir los costos de suministros eléctrico mejorando la fiabilidad y la eficiencia. Por otra parte, ayudaría a que la adopción de fuentes de energía renovables sea más rápida al tener datos en tiempo real del clima, como velocidad del viento y la cantidad de luz que recibe el área. Además, conociendo la demanda de la red en un determinado momento del día, ayudaría a administrar de manera eficiente su uso y escoger de manera apropiada cuando inyectarla a la red o almacenarla [12].

A. Objetivos y contribuciones.

Queda claro que uno de los propósitos importantes de las Smart Grids es el de tomar mediciones del consumo energético para poder optimizar su uso. Sin embargo, después de analizar los campos de aplicación del IWSN dentro de las Smart Grids, se observa que existe la necesidad de una tecnología que trabaje a nivel de usuario y permita tomar mediciones del consumo energético por dispositivo eléctrico dentro de la casa-habitación o empresa y generar un reporte de precio-gasto del consumo del lugar con base en las tarifas oficiales. Otras características deseables son que sea capaz de identificar las horas de mayor consumo, establecer cuáles son los aparatos eléctricos que más consumen y generar una alerta en el momento de que el consumo se encuentre fuera del promedio. También es necesario que la información generada se guarde en una base de datos, que esté alojado en la nube para que sea fácilmente consultada en cualquier momento a través de una página web desde cualquier plataforma. Esta información debe ser mostrada en forma de gráficos a través de diversos parámetros, como hora, tipo de aparato eléctrico, consumo-gasto, kWh etc. La IWSN debe de ser de fácil instalación, así como contar con la capacidad de expandirse.

El objetivo de este trabajo es hacer un estudio para seleccionar la tecnología de IWSN con el paradigma de IoT para la medición del consumo energético por dispositivo eléctrico. Por lo tanto, la contribución de este trabajo está en la dirección de que el usuario pueda medir el consumo energético por elemento e identificar su comportamiento de consumo. Esto con la finalidad de que se puedan tomar acciones de domótica orientado a la sustentabilidad energética.

B. Organización del trabajo.

El presente trabajo está organizado de la siguiente manera, en la sección dos se presenta el modelo del sistema que consiste en ver las características de una IWSN para contemplar las características que deben de considerar en la selección de una tecnología. En el apartado b de la misma sección se presentan las características que debe de cumplir para aplicar el paradigma del IoT. En la sección tres planteando las necesidades que requieren cubrir en el monitoreo del consumo eléctrico se explicara cómo se selección la tecnología de IWSN. Y finalmente, se da una conclusión y se habla del trabajo a futuro.

2 MODELO DEL SISTEMA

A. Características de una WSN.

Una IWNS cuenta con ciertas características rigen su funcionamiento con el fin de cubrir las necesidades del problema [5]. Con base en lo mencionado anteriormente, las características que se necesitan cubrir son:

- *Confiabilidad.* esta relacionando con la cantidad de datos que pueden ser transmitidos y recibidos exitosamente dentro de la red sin que haya pérdidas o retraso. Para la aplicación es necesario que la red sea muy robusta ya que por ella transitara una enorme cantidad de datos debido a que las lecturas son en tiempo real y una pérdida de algún paquete de información podría perjudicar en el momento de procesar los datos.
- *Latencia y comunicación en tiempo real.* Latencia es definido como el tiempo requerido por un paquete de datos requiere para alcanzar su destino, es decir los retardos producidos por la demora en la propagación y transmisión de paquetes de datos dentro de la red [13]. Para que haya una comunicación en tiempo real es necesario que los datos se transmitan con el mínimo retardo posible.
- *Entorno.* Por lo general los nodos son desplegados muy cerca del fenómeno a ser por lo que se encuentra expuesto a las condiciones ambientales del entorno. Los nodos a desarrollar se encontrarán normalmente dentro de un registro eléctrico o cerca de los aparatos eléctricos a observar, y aunque no se encuentren expuestos a condiciones climáticas, si deben ser resistentes al calor, fallas energéticas o sobrecargas. La falla de un nodo no debe comprometer el funcionamiento total de la red.
- *Fuente de alimentación.* Para poder medir el consumo energético los nodos estarán conectados directamente de la línea eléctrica por lo que el uso de baterías es prescindible, aunque hay que destacar que el consumo de cada nodo, así como la suma de los mismo no debe representar una carga eléctrica en las mediciones, debe de consumir el minio necesario. Los nodos estarán en un estado dormido (sleep) la mayor parte del tiempo y luego pasarán al estado Activo (Activate) por un momento para tomar la medición y enviarla, y posteriormente regresar otra vez al estado sleep.
- *Seguridad.* Un IWNS es un sistema abierto por lo que lo hace susceptibles a que un usuario no autorizado acceda a la información, convirtiéndose en una amenaza seria de seguridad. Dicho

lo anterior, resalta la importancia de usar un protocolo de prueba de seguridad con una técnica de cifrado fuerte para asegurar los datos.

- *Hardware.* La estructura del IWNS contara con 4 elementos como se muestra en la figura 2, el primero son los Nodos que son la columna vertebral de la red, en este se encuentra los sensores que transforman las señales físicas en señales eléctrica, el controlador que toma las señales del sensor por medio un convertidor analógico-digital (ADC) para su procesamiento, una memoria para el programa y el almacenamiento temporal de los datos, un dispositivo de comunicación para la trasferencia de los datos e interacción con otros nodos. La estación base es el recolector de los datos basado en alguna topología definida, en este punto los datos serán almacenados para poder ser manipulados y ser presentados al usuario final. Las puertas de enlace (Gateway) permiten la interconexión entre la IWSN y la red TCP/IP. Recoge los datos de la red y sirve como punto de unión con la red LAN o con Internet. Y finalmente la red inalámbrica que es usada para comunicar lo nodos con otros nodos, la base o el Gateway, entre los más populares están el ZigBee, Wi-Fi y bluetooth.
- *Topología.* La topología de red se refiere a la distribución espacial de la red. La topología de red define la cadena de comunicación que utilizan los nodos que conforman la red para comunicarse [14]. Como se muestra en la Figura 1, los nodos de una IWSN están típicamente organizados en uno de tres tipos de topologías de red:
 - Estrella. Es un sistema de un salto, donde la información enviada da un solo salto, y donde todos los nodos están en comunicación directa a la estación base y este con la puerta de enlace o Gateway. Todos los nodos son idénticos, y la base central capta la información de todos ellos. La puerta de enlace es usada para transmitir datos al exterior y permitir la monitorización de la red. Si la base central falla, toda la red se desconecta [15].
 - Árbol. La conexión se da de forma jerárquica, ya que posee un nodo conectado a otros en forma ramificada. La distribución de la información en forma jerárquica es posible gracias al enlace troncal, que consiste en un Gateway con capas ramificadas. La topología en árbol puede verse como una combinación de varias topologías en estrella. La mayoría de los dispositivos se conectan a un concentrador secundario que, a su vez, se conecta al concentrador central, las ramificaciones se extienden tanto como sean posibles, según las características del árbol [15].
 - Malla. Es un sistema multisalto, donde todos los nodos son routers y son idénticos. Cada nodo puede recibir y enviar información de otro nodo y de la puerta de enlace. A diferencia de la topología en estrella, donde los nodos solo pueden hablar con la puerta de enlace, en esta los nodos pueden enviarse mensajes entre ellos. La propagación de los datos a través de los nodos hacia la puerta de enlace hace posible, crear una red con una extensión posible ilimitada. Este tipo, también es altamente tolerante a fallos ya que cada nodo tiene diferentes caminos para comunicarse con la puerta de enlace. Los nodos se pueden conectar a múltiples nodos en el sistema y pasar los datos por el camino disponible de mayor confiabilidad. Otra ventaja es la privacidad o la seguridad. Cuando un mensaje viaja a través de una línea dedicada, solamente lo ve el receptor adecuado. Las fronteras físicas evitan que otros usuarios puedan tener acceso a los mensajes [15].

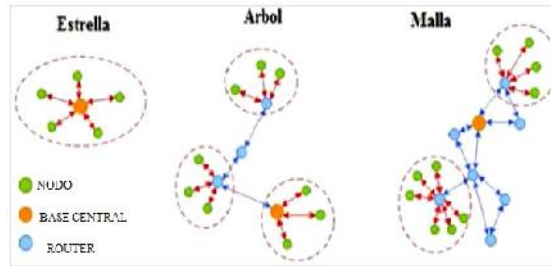


Figura1. Topologías de una IWSN

B. Características del IoT.

El IoT cuenta con seis componentes principales que habilitan sus funcionalidades los cuales son [16]:

Identificador. Se refiere a la tarea de asignar a los objetos de IoT (sensores y actuadores) un identificador (ID) y una dirección (una IP pública) en la red.

Sensado. Es la recolección de datos desde los objetos que se encuentran conectados de la red. Los datos son enviados para su almacenamiento para después tomar acciones específicas basadas en servicios específicos requeridos por los usuarios.

Comunicación. Generalmente los nodos de IoT operan con un bajo consumo de energía, y en un entorno de comunicación ruidoso por lo que hay pérdidas de información, por lo cual se requiere protocolo de comunicación robustos como el wifi, zigbee, bluetooth por mencionar algunos.

Procesamiento. Son el cerebro donde se procesan los datos sensados. Algunas plataformas conocidas son el Raspberry pi, BeagleBone, Arduino, Intel Galileo, PSoC pioner kit.

Servicios. Se puede clasificar en cuatro tipos. De *identidad* son los que trasladan la información del mundo real al internet. De *agregación* son los que recogen y reúnen información de los sensores para ser procesadas y reportadas a alguna aplicación específica. De *colaboración*, utilizan los datos obtenidos para la toma de decisiones y para realizar las acciones correspondientes. Y los *servicios ubicuos*, proporcionan servicios de colaboración en cualquier momento en que estos sean requeridos por cualquier usuario en cualquier lugar.

Semántica. Se refiere a la capacidad de extraer conocimiento de los datos de manera inteligente por medio de procesos automatizados. La extracción de conocimiento incluye el descubrimiento y uso de recursos y modelado de información; además involucra el reconocimiento y análisis de datos para tomar una decisión correcta que proporcione los servicios adecuadamente.

4 SELECCIÓN DE LA IWSN PARA EL MONITOREO DEL CONSUMO ENERGÉTICO.

La propuesta para solución se presenta en el diagrama a bloques en la figura 2. En primer lugar, se encuentra dos clases de nodos el tipo general y el tipo particular. El nodo tipo general mide el consumo general de la casa, este nodo será único; por otra parte, el nodo particular que mide el consumo de cada aparato eléctrico, de este habrá tantos como electrodomésticos se desea medir. Los nodos particulares serán todos iguales y tendrán dos estados, sleep, estado en el cual estarán la mayor parte de tiempo, solo consumirán la energía necesaria para mantener un contador hasta que el intervalo de tiempo pase para entrar al siguiente estado, active donde el nodo toma la medición, lo procesa y lo envía a la base central para finalmente volver al estado sleep y esperar el intervalo de tiempo propuesto. Para la base central se usará la micro computadora Raspberry Pi, la ventaja que presenta que al ser una computadora esta puede alojar una base de datos, una página web y conectarse a internet funcionando como servidor privado.

La topología a usar será el tipo estrella ya que cada elemento a medir es único por lo que no es necesario pasar la información a otros nodos antes de llegar a la base central, además si un nodo falla significa que no se tiene la lectura de un aparato en específico, por lo que la ventaja de la

topología tipo malla pierde su efectividad para esta aplicación en específico; la topología tipo árbol puede aplicarse para hoteles, conjuntos habitacionales etc. Para hacer la comunicación entre los nodos y la base central se usará módulos de Wi-Fi, esta elección se debe a la popularidad del estándar de comunicación y que se encuentra prácticamente en cualquier hogar [17] esto es para aprovechar el módulo de wifi que viene incluido en la placa del Raspberry Pi modelo 3. Finalmente, la puerta de enlace será el modem de la conexión a internet con la que cuente la casa, la base central estará conectada a este mediante la conexión Ethernet con la que cuenta el Raspberry Pi. Para el paradigma del IoT los primeros cuatro puntos quedan cubiertos en la configuración de la red, el servicio será de tipo agregación ya que la información se recoge, se procesa y se reporta al usuario final en forma de gráficas.

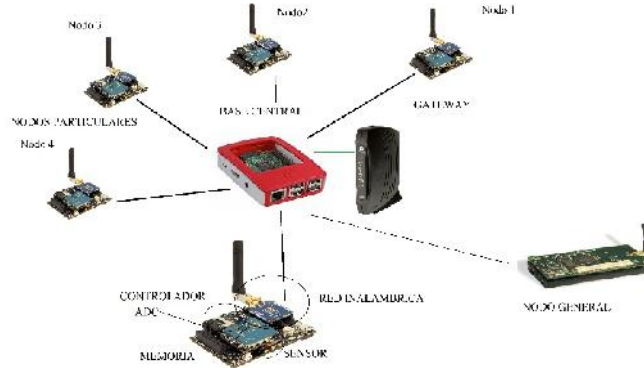


Figura 2. Diagrama General de la IWSN.

5 CONCLUSIÓN Y TRABAJO A FUTURO

Parte de los requisitos que se busca es que sea de bajo costo y fácil de replicar por lo que se verán opciones del sensor para la parte de la lectura del consumo, ya sea adquiriendo un sensor comercial que cubra las necesidades del proyecto o diseñar uno a la medida. El uso de módulos de Wi-Fi se debe a su versatilidad, popularidad y actualmente es más barato que otras tecnologías. El uso de la plataforma Raspberry Pi tiene la ventaja sobre los microcontroladores en que, al ser una minicomputadora, puede correr diferentes programas en paralelo, por lo que puede funcionar como servidor para alojar la base de datos y la página web. La primera etapa del proyecto es que la IWNS solo mida el consumo de la energía y la muestre. Para la segunda etapa se agregaría propiedades domóticas a la red, otorgándole al usuario la capacidad de decidir de manera manual, el encendido o apagado de los aparatos. La tercera etapa es dotarle a la red la capacidad de analizar el comportamiento de consumo del usuario y tomar decisiones con el fin de optimizar el uso de la energía.

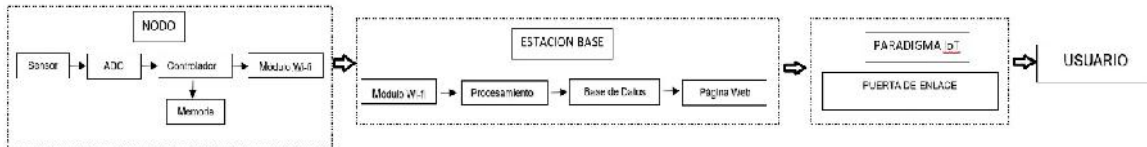


Figura3. Diagrama a Bloque de la Propuesta.

REFERENCIAS.

[1] P. Friess, Internet of things: converging technologies for smart environments and integrated ecosystems. River Publishers, 2013.

- [2] White paper Internet of Things: Wireless Sensor Networks, IEC
- [3] M. Zennaro, "Introducción a las Redes de Sensores Inalámbricos", ed, 2010.
- [4] Flores Carbajal Esther, Redes de Sensores Inalámbricas Aplicado a la medicina, Universidad de Cantabria, 2012.
- [5] U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, "Industrial Wireless Technology for the 21st Century," Dec 2002.
- [6] Izzatdin Abdul Aziz, Mohd Hilmi Hasan, Mohd Jimmy Ismail, Mazlina Mehat, Nazleeni Samiha Haron, "Remote Monitoring in Agricultural Greenhouse Using Wireless Sensor and Short Message Service (SMS)", 2008.
- [7] M. reza Akhondi, A. Talevski, S. Carlsen, and S. Petersen, "Applications of wireless sensor networks in the oil, gas and resources industries," in 2010 24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications. IEEE, 2010, pp.941–948.
- [8] Toledano-Ayala, M., Herrera-Ruiz, G., Soto-Zarazúa, G. M., Rivas-Araiza, E. A., Trujillo, R. D. B., & Porrás-Trejo, R. E. (2011). Long-range wireless mesh network for weather monitoring in unfriendly geographic conditions. *Sensors*, 11(7), 7141-7161.
- [9] K. S. Low, W. N. N. Win, and M. J. Er, "Wireless sensor networks for industrial environments," in International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce (CIMCA-IAWTIC'06), vol. 2. IEEE, 2005, pp. 271–276.
- [10] Abdus Salam H., Muhammad Khan, Bilal, IWSN- Standards, Challenges, and the future, IEEE, 2016.
- [11] Gungor, V. C., Lu, B., & Hancke, G. P. (2010). Opportunities and challenges of wireless sensor networks in smart grid. *IEEE transactions on industrial electronics*, 57(10), 3557-3564.
- [12] F. Telefónica, Smart Cities: un primer paso hacia la Internet de las Cosas. Fundación Telefónica, 2011.
- [13] O.A. Fata, Redes de Sensores, Universidad Nacional de la Plata, 2011.
- [14] M. R. Eugenia, R.L. Victor, Apuntes de la Asignatura de Redes de Datos 1 y 2, Universidad Autónoma de México Facultad de ingeniería, 2009
- [15] S. Farahni. "Zigbee. Wireless Networks and Transceivers", Elsevier, 2008
- [16] Al-Fuqaha, A. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, M. Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376.
- [17] F. Gebali, "Modeling IEEE 802.11 (WiFi) Protocol," in *Analysis of Computer Networks*, F. Gebali, Ed. New York: Springer-Verlag, 2015, pp. 371-401.

7.3 AVANCES EN EL DISEÑO DE UN ALGORITMO PARA LA CLASIFICACIÓN EN TIEMPO REAL DE ACTIVIDADES FÍSICAS USANDO UN SISTEMA EMBEBIDO

Geenkel Coss Lara, Mildred González Hau, Carlos Brito Loeza y Anabel Martin González
Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Matemáticas
Laboratorio de Aprendizaje Automático y Visión Computacional, www.clir-lab.org
mcoss002, milttere@gmail.com, carlos.brito, amarting@correo.uady.mx

RESUMEN

En este trabajo se describe el diseño de un algoritmo y su implementación en un dispositivo embebido para el reconocimiento en tiempo real de actividades físicas como correr, saltar, caminar, realizar lagartijas o abdominales. El dispositivo cuenta con un acelerómetro y un giroscopio, se coloca en la muñeca del usuario y con los sensores se obtiene información acerca del movimiento del individuo. Esta información sirve como entrada para un algoritmo clasificador que determina la actividad que se está realizando. Los algoritmos clasificadores que se probaron en este trabajo son K Vecinos más Cercanos y Redes Neuronales Artificiales. El dispositivo consiste principalmente en un microcontrolador MSP430, una unidad de medición inercial, una ranura para tarjetas Micro SD, botones y diodos leds.

ABSTRACT

This paper describes the design of an algorithm and its realization on an embedded device for recognizing physical activities in real time such as running, walking, jumping, doing push-ups and doing sit-ups. The device has an accelerometer and a gyroscope, it is worn on the user's wrist and the sensors retrieve information about the user's movement. The collected data is used as input for a classifier algorithm which recognises the activities being done by the user. The classifier algorithms tested in this work are K nearest neighbour and Artificial Neuronal Networks. This device is composed by a microcontroller MSP430, an inertial measurement unit, a Micro SD slot, push buttons and LEDs.

1. INTRODUCCIÓN

En años recientes se ha incrementado la importancia del ejercicio en la vida diaria de las personas, ya sea como una forma de entretenimiento o para combatir o prevenir enfermedades como la obesidad y problemas cardíacos entre otros. Conocer que actividades físicas se realizan durante el día, durante cuánto tiempo se realiza cada actividad y la intensidad con la que se realiza ayuda a tener una mejor estimación del gasto energético. Con esta información, se puede recomendar un entrenamiento personalizado eficiente o una dieta alimenticia apropiada con el consecuente beneficio de una mejor salud y por la tanto mejor calidad de vida. En este trabajo se propone un dispositivo portable capaz de reconocer qué actividad física realiza una persona.

En la literatura podemos encontrar una gran cantidad de trabajos en los que se aborda el tema del reconocimiento de actividades, sin embargo, son pocos en los que la clasificación de la actividad se realiza en un dispositivo embebido, ya que, por lo general, esta tarea requiere de poder computacional. En la tabla 1 tomada del artículo [6] se encuentra una lista resumida de los tipos de actividades que han sido clasificadas.

Tabla I

Grupo	Actividades
Ambulación	Cambiar, correr, permanecer sentado o de pie, subir o bajar escaleras.
Transporte	Usar el autobús, montar bicicleta, manejar.
Vida diaria	Comer, beber, ver TV, lavarse los dientes, usar la PC, leer un libro.
Ejercicio	Abdominales, lagartijas, spinning.
Social	Platicar.

Tabla VII. Tipos de actividades que se han detectado [Lara y Labrador, 2013]

Para realizar el reconocimiento automático de actividades es necesario obtener primero, información acerca de los movimiento o gestos que realice el usuario. Para esto se han utilizado diferentes sensores, siendo los más comunes los sensores inerciales, en especial los acelerómetros, ya que se ha visto que son los que proporcionan información más relevante. Además de estos sensores, también se han utilizado micrófonos para reconocer actividades como platicar o ver la televisión [9], sensores GPS [8] para actividades como conducir un auto o montar en bicicleta, sensores de temperatura, humedad y luz ambiental [9] para detectar si una actividad se realiza de día o de noche. También se han utilizado cámaras de video [2], sin embargo, éstas tienen la desventaja de que incomodan al usuario al invadir su privacidad.

En la mayoría de los trabajos de la literatura se han utilizado técnicas de aprendizaje supervisado para realizar la clasificación de las actividades ya que generalmente es fácil obtener muestras etiquetadas y se obtienen mejores resultados. Entre las técnicas utilizadas están árboles de decisión, clasificadores Bayesianos, métodos basados en instancias, redes neuronales, máquinas de soporte vectorial, lógica difusa, métodos de regresión o combinaciones de varios métodos.

Para realizar la detección de actividades en tiempo real se han utilizado computadoras portátiles [3], teléfonos celulares [4] y dispositivos *wearables* [9][7]. Los dispositivos *wearables* o vestibles son aquellos dispositivos electrónicos que una persona puede llevar encima, en alguna parte de su cuerpo o la ropa, interactuando continuamente con él, sin afectar sus actividades normales. En general, estos dispositivos se caracterizan por ser pequeños, tener una capacidad computacional limitada y además funcionan con batería. De manera comercial, ya se ha realizado el reconocimiento de actividades físicas utilizando este tipo de dispositivos. Por ejemplo, un teléfono de la compañía Samsung puede detectar las actividades de caminar, correr y montar bicicleta. Por otra parte, en la literatura encontramos dos trabajos que han realizado la clasificación en dispositivos *wearables*. Sus características se resumen en la tabla II.

Tabla II

	ewatch [Maurer et al, 2006]	Mobile Sensig Plataform (MSP) [Choudhury et al,2008]
Procesador	Philips LPC2106 a 60Mhz.	Intel PXA271 de 32-bit en tarjeta iMote y Atmega128 de 8-bits en tarjeta de sensores.
Medidas	50mm x 48mm x 17.5mm.	51mm x 36mm.
Batería	Capacidad de 700mAh y duración de 1 día.	Capacidad de 1800 mAh y duración de 10 horas.
Sensores	Acelerómetro de 2 ejes colocado en la muñeca.	Acelerómetro de 3 ejes colocado en la cintura.
Actividades	Caminar, correr, estar sentado o de pie, subir o bajar escaleras.	Caminar, estar sentado o de pie, subir o bajar escaleras, subir o bajar en elevador, cepillarse los dientes.
Precisión del reconocimiento	87.10%	93.80%

Tabla VIII Comparación entre dispositivos wearables encontrados en la literatura.

2. DISEÑO DE HARDWARE

Un dispositivo *wearable* normalmente se caracteriza por ser de tamaño pequeño, no deben ser estorbosos y generalmente funcionan con batería. Por esta razón, para el diseño se seleccionaron componentes pequeños y de bajo consumo de energía bajo para que este pueda funcionar de manera prolongada sin necesidad de recargar la batería.

El diseño se puede dividir en 6 módulos: Microcontrolador, Sensor inercial, Memoria F-RAM, Memoria Micro SD, Botones y diodos LED, Batería. En la figura 1 se ilustran los módulos que componen el sistema. El microcontrolador controla todos los demás módulos del sistema.

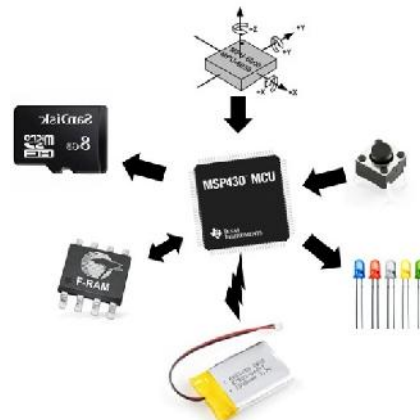


Figura 33. Módulos del dispositivo de detección de actividades

2.1 Microcontrolador

El microcontrolador que se añadió al sistema fue el MSP430F5529 de *Texas Instruments*, principalmente debido a que tiene un consumo muy bajo de energía, lo que permite una mayor autonomía del dispositivo. El MSP430F5529 es un microcontrolador de 16 bits y tiene una velocidad de hasta 25Mhz. Una de sus principales características es que permite configurar de manera flexible y en tiempo de ejecución la velocidad de las fuentes del reloj para el procesador y los periféricos y además éste puede operar en varios modos de energía. Con estas características se puede obtener un rendimiento óptimo según la tarea que se realice. El microcontrolador puede configurarse también para operar a baja velocidad baja para ahorrar energía o de manera análoga, puede configurarse para funcionar rápido en tareas más demandantes. El MSP430 cuenta con los módulos de comunicación SPI e I2C necesarios para controlar el sensor, la memoria FRAM y la memoria Micro SD.

2.2 Sensor inercial

El sensor MPU-9150 incluido en el sistema, es una unidad de medición inercial, la cual cuenta con un acelerómetro, un giroscopio y un magnetómetro integrados en el mismo chip. Todos ellos pueden funcionar en los 3 ejes x, y y z. Para este proyecto solo se utilizarán los sensores acelerómetro y giroscopio dejando para pruebas futuras incluir información del sensor magnetómetro. Las principales características de los sensores acelerómetro y giroscopio se enlistan a continuación.

- Acelerómetro
 - Ejes x, y y z.
 - $\pm 16g$ de rango a escala completa.
 - ADC de 16 bits.
 - Detección de toques.
- Giroscopio
 - Ejes x, y y z.
 - $\pm 2000^\circ/\text{sec}$ de rango a escala completa.
 - ADC de 16 bits.
 - Filtro digital programable.

2.3 Memoria F-RAM

La memoria F-RAM FM24VN10 de Cypress es una memoria no volátil que se caracteriza por tener una velocidad de escritura muy rápida a diferencia de otras memorias no volátiles como las EEPROM y las memorias flash. La F-RAM se añadió para almacenar en primera instancia las muestras provenientes de los sensores en formato binario. El microcontrolador no necesita esperar a que se escriban los datos en la memoria ya que la escritura ocurre de manera instantánea. La memoria utiliza el protocolo I2C para comunicarse con el microcontrolador a una velocidad de hasta 3.4 Mhz. Además, consume solamente 175uA mientras escribe y 5uA mientras está en reposo.

2.4 Memoria Micro SD

Para transferir los datos obtenidos de los sensores a la computadora, se añadió al sistema una ranura para tarjetas Micro SD. Las bibliotecas existentes para controlar memorias micro SD para el microcontrolador MSP430 facilitan la programación del almacenamiento de los datos en ésta. La memoria Micro SD se añadió para almacenar en un archivo de texto los datos provenientes de los sensores que se almacenaron primero en la memoria F-RAM.

2.5 Botones y diodos led.

Se añadieron al dispositivo botones y diodos led para interactuar con el usuario de una manera simple. En total, se añadieron 4 botones y 3 diodos LED. Dos de los botones se utilizan para indicar al dispositivo a qué actividad pertenecen los datos que se van a recolectar para posteriormente indicar en el archivo de texto almacenada en la Micro SD el número de actividad a la que corresponden los datos. Un tercer botón sirve para iniciar o suspender la recolección de datos, y el último botón se utiliza para reiniciar el funcionamiento de la tarjeta. Los LED indican al usuario la actividad seleccionada en formato binario, es decir, un LED encendido indicará un uno, y apagado indicará cero.

2.6 Batería

Para alimentar al dispositivo se utiliza una batería Li-Po. Este tipo de baterías se caracterizan por ser ligeras y pueden fabricarse con casi cualquier forma o tamaño, lo que las hace ideales para dispositivos *wearables*. La batería seleccionada tiene 420mAh de capacidad.

2.7 Diseño del PCB

El diseño del PCB del dispositivo se realizó en el programa CadSoft EAGLE. En la figura 2 se encuentra el esquemático del circuito electrónico.

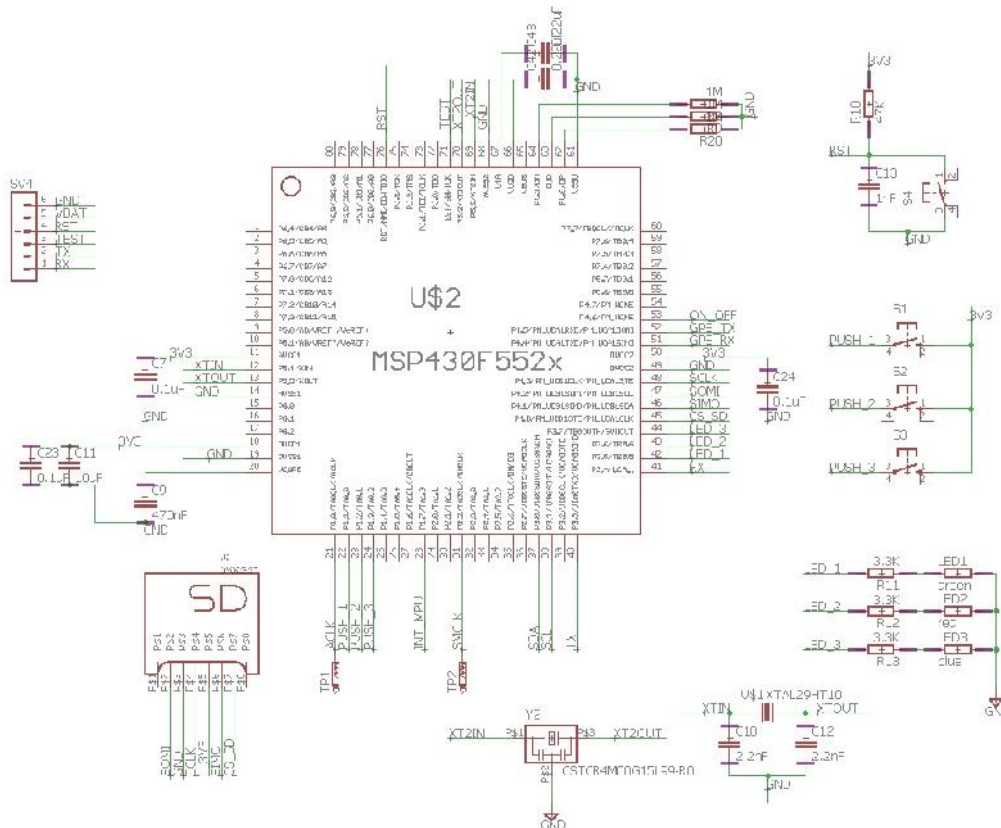


Figura 34. Esquemático del dispositivo de detección de actividades.

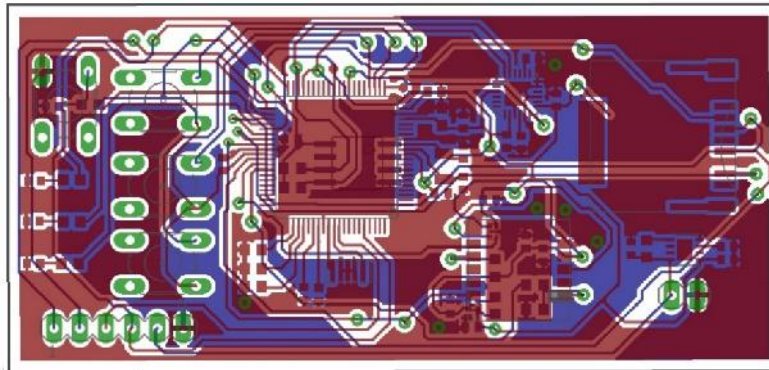


Figura 35. Diseño del PCB.

En la figura 4 se puede observar la tarjeta fabricada. Esta mide 7.5cm por 3.8cm y tiene un consumo de corriente de 11mA aproximadamente, medido con el microcontrolador adquiriendo muestras de los sensores a 5Hz.

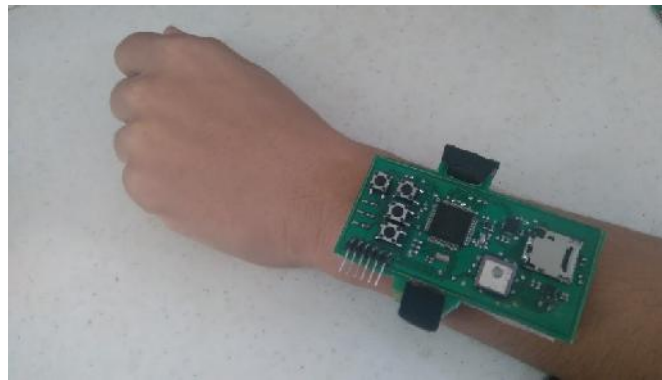


Figura 36 Dispositivo de detección de actividades.

3. CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES

Para realizar la detección de actividades se utilizó aprendizaje automático, en específico, se usaron dos técnicas de aprendizaje supervisado: k vecinos más cercanos, también conocido como K-NN por sus siglas en inglés y redes neuronales artificiales. Las dos técnicas consisten en algoritmos clasificadores que identifican la clase a la que pertenece una muestra de entrada utilizando conocimiento previamente adquirido mediante una fase de entrenamiento. Estos dos algoritmos se entrenaron para clasificar 6 clases: caminar, correr, estar en reposo, saltar, realizar abdominales y realizar lagartijas.

3.1 Conjunto de entrenamiento

K-NN y redes neuronales son técnicas de aprendizaje supervisado, es decir, necesitan de ejemplos de entrenamiento etiquetados con la clase a la que pertenecen. Los ejemplos de entrenamiento están formados por un conjunto de características obtenidas de los datos de los sensores. A la lista de

vectores de características etiquetados con la clase a la que pertenecen se le conoce como conjunto de entrenamiento. La clasificación está basada en el conocimiento adquirido a través de los ejemplos en el conjunto de entrenamiento.

Los vectores de características contienen información proveniente de los sensores. Debido a que la aceleración y la velocidad angular medida en un instante de tiempo proporcionan muy poca información acerca de alguna actividad física, se utilizan características con modos estadísticos de secuencias de estas mediciones. Por ejemplo, la media o la varianza de varias muestras consecutivas. El vector de características seleccionado está conformado de 16 elementos:

1. La aceleración en el eje x.
2. La aceleración en el eje y.
3. La aceleración en el eje z.
4. La velocidad angular en el eje x.
5. La velocidad angular en el eje y.
6. La velocidad angular en el eje z.
7. El módulo del vector de aceleración.
8. El módulo del vector de la velocidad angular.

Las siguientes 8 características se obtienen a partir de un número N de muestras consecutivas:

9. El máximo del módulo de aceleración.
10. El máximo del módulo de la velocidad angular.
11. El mínimo del módulo de aceleración.
12. El mínimo del módulo de la velocidad angular.
13. La media del módulo de aceleración.
14. La media del módulo de velocidad angular.
15. La varianza del módulo de aceleración.
16. La varianza del módulo de la velocidad angular.

Para formar el conjunto de entrenamiento se programa la tarjeta para obtener muestras de los sensores, almacenarlos en la F-RAM y por último escribir éstas en un archivo de texto en la Micro SD. En la figura 5 se encuentra el diagrama de flujo del programa. Como primer paso el microcontrolador configura los puertos, e inicializa las configuraciones para controlar la Micro SD, además de escribir las configuraciones para el funcionamiento del MPU-9150 a 5Hz de frecuencia de muestreo. Después, el microcontrolador queda a la espera de que el usuario por medio de 2 botones seleccione el número de actividad de la cual se recolectarán datos. Los diodos LED despliegan en formato binario el número. Al presionar el botón de inicio, el microcontrolador comienza a obtener datos y después de leer cada muestra, la almacena en la memoria F-RAM en formato binario. En este momento, el microcontrolador entra en un estado de bajo consumo para ahorrar energía hasta que la siguiente muestra esté lista para ser leída. Una vez que se hayan obtenido un número N de muestras, el microcontrolador crea un archivo de texto en la Micro SD en donde escribe en cada línea la lista de valores. El primer carácter de la línea es el número seleccionado a través de los botones e indica la actividad que se estaba realizando al obtener los datos.

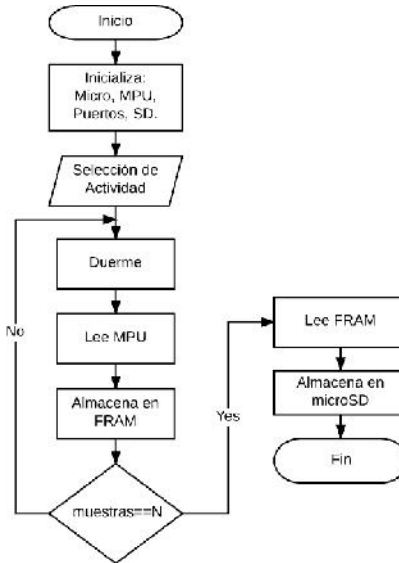


Figura 5. Diagrama de flujo del programa.

Después de obtener un archivo de texto en la Micro SD con los datos de los sensores, éste se transfiere a la computadora en donde un programa en MATLAB toma como parámetros el archivo de texto y el número N de muestras para formar los vectores de características. El programa almacena en otro archivo los vectores de características etiquetados.

En los experimentos, se colocó la tarjeta en la muñeca izquierda de un voluntario, del cual se obtuvieron muestras de los sensores de aceleración y giroscopio mientras realizaba las 6 actividades. De las muestras obtenidas, se construyeron un total de 1200 vectores de características etiquetados que sirven como conjunto de entrenamiento para los algoritmos de clasificación.

3.2 K vecinos más cercanos.

El algoritmo K-NN clasifica una nueva muestra en la clase más frecuente a la que pertenecen sus K vecinos más cercanos. En el caso más simple, cuando K=1, la muestra se clasifica en la clase a la que pertenece el vecino más cercano. La función de distancia utilizada en este trabajo fue la de distancia euclidiana dada por la siguiente ecuación:

$$d(P, Q) = \sqrt{(p_i - q_i)^2} \quad (1)$$

En donde P es la muestra sin clasificar, Q es la muestra ejemplo, p_i y q_i son las características de P y Q.

Para medir el rendimiento se clasificó cada vector de características en la base de datos de 1200 vectores utilizando los restantes como conjunto de entrenamiento y se contabilizaron los vectores clasificados correctamente. El rendimiento se define como el número de muestras clasificadas correctamente entre el total de muestras clasificadas.

Para hallar el valor óptimo de K se calificaron las 1200 muestras varias veces incrementando el valor de K. En la gráfica de la figura 6 se encuentran los resultados obtenidos, de los que se concluye que

el valor de K no afecta significativamente el rendimiento, por lo tanto, el valor de K=1 puede seleccionarse como el mejor ya que la complejidad es menor.

Seleccionando K=1 se realizaron varias pruebas variando el tamaño de ventana dado por el valor N de muestras consecutivas. Los resultados se encuentran en la gráfica de la figura 7. En la gráfica se observa que en general, al incrementar el tamaño de ventana se incrementa el rendimiento de la clasificación, sin embargo, incrementa también la complejidad al momento de clasificar.

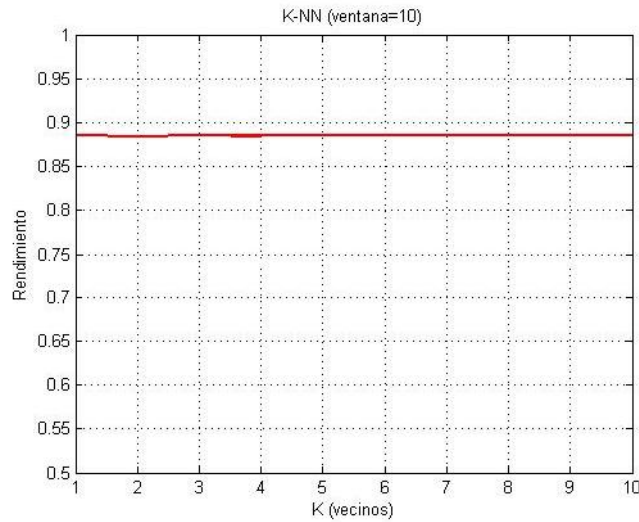


Figura 6. Rendimiento del algoritmo K-NN variando K.

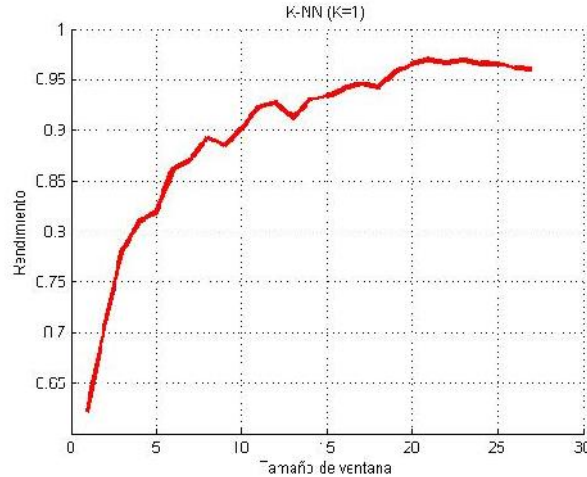


Figura 7. Rendimiento del algoritmo K-NN variando el tamaño de ventana.

3.3 Redes neuronales artificiales.

Al igual que con el algoritmo K-NN, también se hicieron pruebas utilizando redes neuronales artificiales. Se utilizó una topología sin ciclos de propagación hacia adelante utilizando una capa de neuronas de salida y una o varias capas de neuronas ocultas. Las redes probadas fueron entrenadas

utilizando el método de propagación de error hacia atrás. Para encontrar la topología óptima se realizaron varias pruebas fijando los siguientes parámetros: se tomó una ventana de tamaño 10, se entrenó a la red 500 épocas utilizando 200 ejemplos por cada actividad, se utilizó validación cruzada con 5 particiones y se utilizó la función tangente hiperbólica como función de activación de las neuronas.

Las topologías probadas y el rendimiento obtenido en cada una se encuentran en la tabla III.

Tabla III

Topología de red	Rendimiento
1-6	0.4675
2-6	0.6122
3-6	0.8143
4-6	0.9174
5-6	0.9542
8-6	0.9686
10-6	0.9706
3-2-6	0.6703
5-2-6	0.6696
6-6-6	0.972
10-7-6	0.9849
10-10-6	0.9767

Tabla IX. Comparación de topologías de red.

De la tabla III se concluyó que la mejor topología es la que está formada por dos capas ocultas de tamaño 3 y 2, la cual tuvo un rendimiento de 0.95. El incremento en el rendimiento en las topologías con más neuronas no es suficiente para compensar el incremento en la complejidad de la clasificación. Se midió el rendimiento de la topología seleccionada variando el tamaño de ventana con el que se construyen los vectores de características. Los resultados obtenidos se grafican en la figura 8, en la que se puede observar que a partir de una ventana de tamaño 5 ya se logra un rendimiento mayor 0.9.

Figura

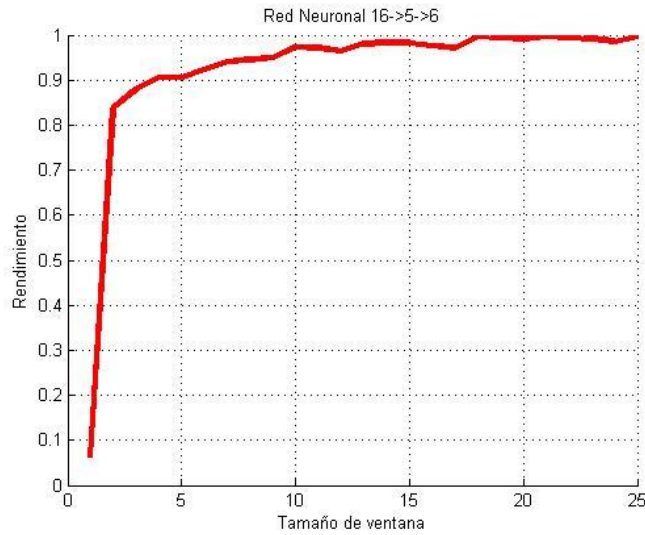


Figura 8. Rendimiento de la Red Neuronal variando el tamaño de ventana.

4. CONCLUSIONES.

De los resultados obtenidos de las pruebas con los algoritmos K-NN y redes neuronales muestran evidencia que apunta a que los datos de aceleración y del giroscopio tomados del sensor inercial colocado en la muñeca proporcionan suficiente información acerca de la actividad física que se esté realizando. Los porcentajes de rendimiento obtenidos con el vector de características elegido y los algoritmos clasificadores son aceptables para la aplicación considerada. Es importante remarcar que dichos vectores y clasificadores de baja complejidad fueron elegidos dadas las restricciones de poder computacional y consumo energético del dispositivo.

En la tabla IV se comparan los rendimientos medidos de los dos métodos para cada una de las 6 actividades y se puede observar que la Red Neuronal tiene un mayor rendimiento que el algoritmo K-NN, además que la actividad de lagartijas fue la más difícil de clasificar para los dos algoritmos.

Tabla IV

Actividad	Red Neuronal	K-NN
Reposo	1	1
Caminar	1	0.89
Correr	1	0.81
Saltar	1	0.83
Abdominales	0.71	0.65
Lagartijas	1	0.97

Tabla X. Comparación de los métodos probados.

El estudio presentado utiliza sin embargo pocos datos de entrenamiento por lo que el trabajo futuro inmediato es incrementar el tamaño de la base de datos de entrenamiento y validar con muchos individuos. A corto plazo, se efectuarán pruebas con vectores de características más complejos y se estudiará en detalle el algoritmo K-NN ya que con este es posible reentrenar en tiempo de ejecución.

5. REFERENCIAS

1. N. Bicocchi, M. Mamei, and F. Zambonelli, "Detecting activities from body-worn accelerometers via instance-based algorithms," *Pervasive and Mobile Computing*, vol. **6**, no. 4, pp. 482–495, (2010).
2. C. N. Joseph, S. Kokulakumaran, K. Srijevanthar, A. Thusyanthar, C. Gunasekara, and C. Gamage, "A framework for whole-body gesture recognition from video feeds," in *International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS)*, pp. 430–435, (2010).
3. L. C. Jatoba, U. Grossmann, C. Kunze, J. Ottenbacher, and W. Stork, "Context-aware mobile health monitoring: Evaluation of different pattern recognition methods for classification of physical activity," in *30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 5250–5253, (2008).
4. T. Brezmes, J.-L. Gorricho, and J. Cotrina, "Activity recognition from accelerometer data on a mobile phone," in *Distributed Computing, Artificial Intelligence, Bioinformatics, Soft Computing, and Ambient Assisted Living*, vol. 5518 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 796–799, Springer Berlin / Heidelberg, (2009).
5. C.-C. Yang and Y.-L. Hsu, "A review of accelerometry-based wearable motion detectors for physical activity monitoring.," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. **10**, pp. 7772–88, (2010).
6. O. D. Lara and M. A. Labrador, "A survey on human activity recognition using wearable sensors," *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. **15**, pp. 1192–1209, (2013).
7. U. Maurer, A. Smailagic, D. P. Siewiorek, and M. Deisher, "Activity recognition and monitoring using multiple sensors on different body positions," in *International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN'06)*, pp. 4 pp.–116, (2006).
- [8] S. Reddy, M. Mun, J. Burke, D. Estrin, M. Hansen, and M. Srivastava, "Using mobile phones to determine transportation modes," *ACM Trans. Sen. Netw.*, vol. 6, pp. 13:1– 13:27, Mar. 2010.
- [9] Choudhury, T., Borriello, G., Consolvo, S., Haehnel, D., Harrison, B., Hemingway, B., ... Wyatt, D. (2008). The mobile sensing platform: An embedded activity recognition system. *IEEE Pervasive Computing*, 7(2), 32-41. [4487086]. DOI:

7.4 READOUT ELECTRONIC BOARD AND DATA ADQUISITION SYSTEM FOR THREE-CHANNEL COSMIC RAY DETECTOR

Luis Arceo, Julián Félix

Laboratorio de Partículas Elementales, División de Ciencias e Ingenierías Campus León,
Universidad de Guanajuato, México

miquel@fisica.ugto.mx, felix@fisica.ugto.mx

RESUMEN

En cualquier detector de rayos cósmicos, el material detector y sus componentes electrónicos son fundamentalmente importantes para el rendimiento del detector. Hay detectores basados en agua, aire, etc. con electrónica y sistema de adquisición de datos comerciales. Se presenta el diseño, la construcción, el sistema de adquisición de datos, pruebas y algunos resultados físicos preliminares de un detector de rayos cósmicos basado en tres bloques de Aluminio de 2.54 cm X 5.08 cm X 20.32 cm cada uno.

ABSTRACT

In any cosmic ray detector, the detector material and its electronics are of fundamental importance in detector performance. There are typical detectors based on water, air, etc. with commercial electronics and data acquisition system. It is presented the design, construction, data acquisition system, readout electronic board, tests and some very preliminary physical results of a three channel cosmic ray detector based on three 2.54 cm X 5.08 cm X 20.32 cm Aluminum blocks.

1. INTRODUCTION

Currently there are many reports around the world on cosmic rays detectors [1]. These detectors are with different geometric configurations, and based on different physical detection processes and electronic boards and data acquisition systems.

There are some scientific groups in experimental high energy physics working in Mexico. Particularly, the students and professors from Laboratory for elementary particles (laboratorio de partículas elementales [2]) design, construct, and run their own cosmic ray detectors [3].

The basic readout electronic board design is new and original, using passive and active electronic parts, to feed and activate Hamamatsu avalanche photodiode S12572-100P [4], figure 2.1 [5].

The advantage in using avalanche photodiode in comparison with photomultiplier tube PTM is to reduce the cost, voltage operation, and the size of cosmic ray detectors, the disadvantage is sometimes photodiodes are very noisy.

The data acquisition system selected was 9025 CompactRIO [6] cRIO of National Instrument, the core of this device is based with Field Programmable Gate Array FPGA technology, with NI-9402 four-channel, LVTTTL digital input/output module [7].

This paper focuses on the design, construction and test of a basic readout electronic board and data acquisition system for a cosmic ray detector.

2. DESIGN

Each one channel cosmic ray detector is assembled with two individual electronic boards - photodiode board and passive electronics board-, and one shared electronic board -discriminator board-.

The data acquisition system, readout digital signal from discriminator board, counts the digital signal for each channel and sends information to the PC HOST for saving counts with the data logging software. The figure 1 displays the diagram block of three-channel cosmic ray detector.

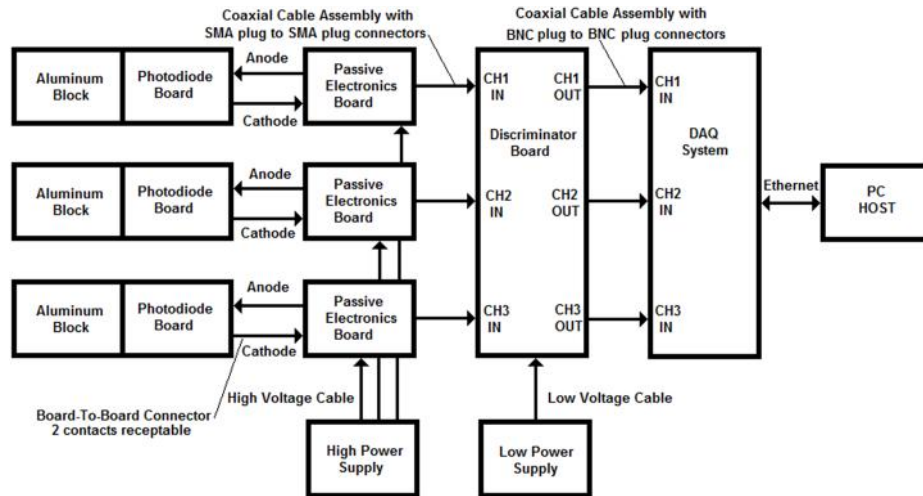


Figure 1.- Block diagram of the hardware completed three-channel cosmic ray detector.

The avalanche photodiode attached to Aluminum block delivers an analogue positive exponential decay signal for each cosmic ray hitting the detector, with a sharp rise time ~ 10 ns and a decay time ~ 100 ns.

2.1 Electronic boards.

Photodiode board, its function is to support mechanically the electrical connection (anode and cathode) of the photodiode to attach it to the Aluminum block on one of its polished 2.54 cm X 5.08 cm end. The figure 2.2 and 2.3 displays the bottom and top layer, respectively. The figure 2.4 displays one front end 2.54 cm X 5.08 cm Aluminum block polish, the figure 2.5 displays Aluminum block to attach with photodiode and finally the figure 2.6 displays the Aluminum block attached with a photodiode board and isolated optically with four layers of Aluminum tape 3311.

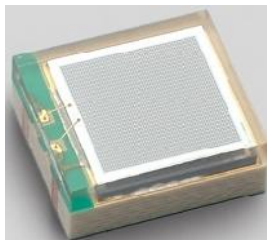


Figure 2.1.- S12572-100P photodiode.

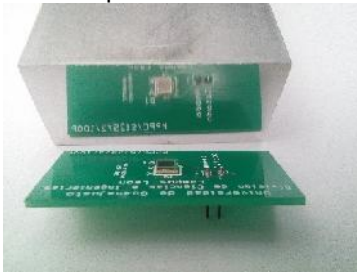


Figure 2.2.- Photodiode board bottom layer.

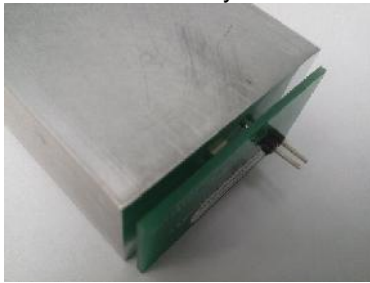


Figure 2.3.- Photodiode board top layer.

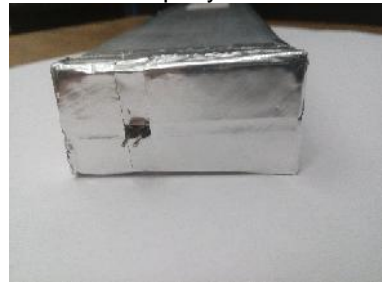


Figure 2.4.- Aluminum block polished.

Figure 2.5.- Aluminum block to attach with photodiode.

Figure 2.6.- Aluminum block and photodiode isolated optically.

Passive electronic board, provides high voltage to the photodiode enabling it, and for the readout of the signal was implemented a RC circuit. The photodiode requires reverse polarity for working. The figure 3.1 displays passive electronic board diagram schematic and figure 3.2 displays the passive electronic board.

The cosmic rays penetrate Aluminum block and generates Cherenkov radiation (light emitted by a charged particle passes through a medium at a speed greater than the velocity of light in that medium) and the photodiode detects it. It charged C3 capacitor and discharges through R7 resistance; this analogue signal is readout using J1 SMA connector or a test point.

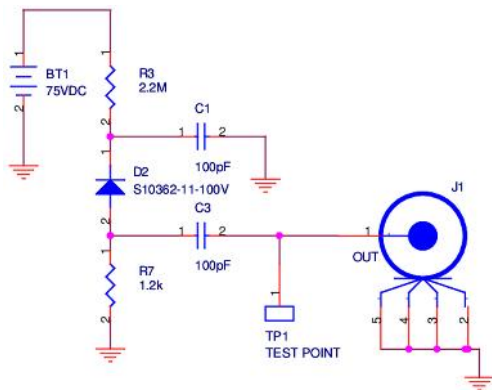


Figure 3.1.- Passive electronic board diagram.

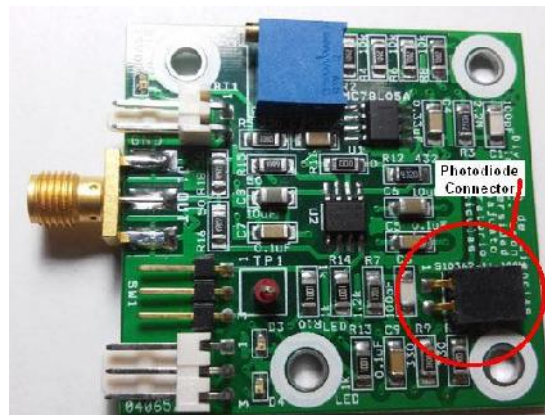


Figure 3.2.- Passive electronic board with photodiode connector.

Discriminator board contains a single integrated circuit CMP401 of Analog Device [8], with 23 ns propagation delay, quad comparators and compatible with 5 volts logic. Its function is to compare analogue signal coming from the passive electronic board, with a fixed trigger voltage defined by the final user and give out the digital signal. If the input signal is higher in amplitude than the trigger, the discriminator turned on -one logical state-, otherwise, turns off -zero logical state-. The figure 4.1 and 4.2 display the one channel discriminator board diagram schematic and four channel discriminator board, respectively.

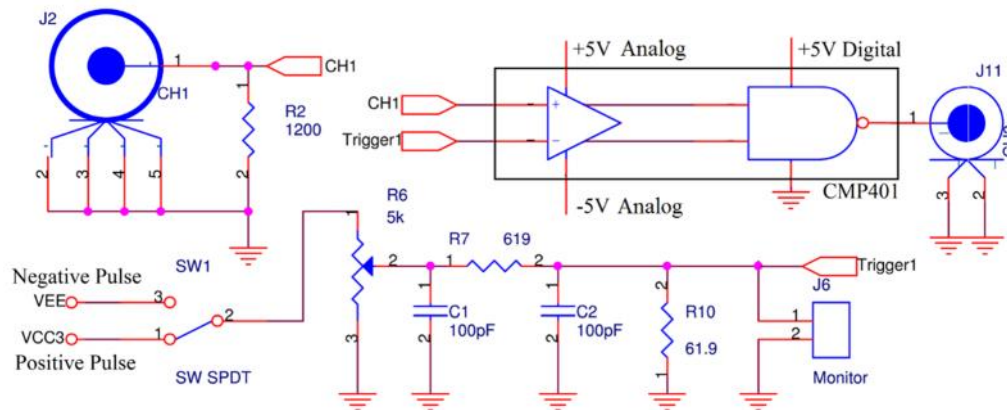


Figure 4.1.- One channel discriminator board diagram schematic.

The trigger has wide input range positive of 0 volts to 300 mV, the end user can measured trigger voltage with J6 board-to-board connector and 2 contacts header.



Figure 4.2.- Four channel discriminator board.

The SMA connector is defined for discriminator board input and the out uses the BNC connector.

2.2 Data acquisition system.

The cRIO is assembled with 9025 embedded controller, eight NI-9402 interchangeable C modules of four channels of digital input or output and one rack. The figure 5.1 displays 9025 embedded controller, the figure 5.2 displays C modules and figure 5.3 displays assembled cRIO. Finally the cRIO is connected to the PC HOST via Ethernet cable with one number port.



Figure 5.1.- 9025 Embedded controller.



Figure 5.2.- NI-9402 C Module.



Figure 5.3.- Assembly cRIO.

Mechanically, each channel from cosmic ray detector is connected to the C module of the cRIO using a BNC plug to BNC plug coaxial cable.

By default, cRIO doesn't work to count pulses from cosmic ray detector, the end user needs to create a program project adding embedded controller and C modules. The cRIO requires programming in LabVIEW-FPGA and the PC HOST accept only LabVIEW program.

The LabVIEW-FPGA program reads for each channel the digital input signal every 25 ns from C module, submits the digital signal to an edge detector with rise polarity configured for searching digital rise pulse (the digital rise pulse is a possible cosmic rays). If the digital rise pulse is detected, the unsigned 64-bits (U 64-bits) counter increases by one and the digital rise pulse complement is discriminated (to avoid count the same digital signal), this is a parallel process and individual for each channel.

Every 1 ms, LabVIEW-FPGA program copies the three counters results and the time in ms to Direct Memory Access First Input First Output (DMA FIFO) memory with interleaving method, clears the three counters and LabVIEW-VHDL program begins again. Automatically, the DMA FIFO memory information is transferred for Ethernet port to PC HOST by embedded controller.

The LabVIEW program runs into PC HOST. By default, the received data by the Ethernet port is stored automatically into PC HOST DMA FIFO memory. The LabVIEW program reads DMA FIFO memory information with block size (BZ) method. The decimate method is applied to separate and stack arrange data of BS, finally, the data is recorded to text file. Each text file is created every 30 minutes.

3. CONSTRUCTION

There were implemented three 2.54 cm X 5.08 cm X 20.32 cm Aluminum blocks, with only one 2.54 cm X 5.08 cm end polished to mirror for each Aluminum block. Each photodiode board was attached to the Aluminum block on the polished end, and isolated optically with four layers of Aluminum tape 3311.

A 25 cm X 35 cm Aluminum plate was used as a main board for a three Aluminum blocks and electronics assemble. On the main board was installed the first Aluminum block and it was connect with the first passive electronic board, it was fixed with 3 inch screws and nuts. This process is repeated for the next two channels in stack arrangement and fixed only with nuts.

The discriminator board was fixed at the main board one edge. The top, middle and bottom output channels were connected to 1, 2 and 3 input channels discriminator board with SMA plug to SMA plug coaxial cable.

From discriminator board, the channels 1, 2 and 3 correspond to the top, middle and bottom Aluminum block, respectively. With respect to the cRIO the channel 0, 1 and 2 corresponds to top, middle and bottom Aluminum block, in that order. The figure 6 displays the three channels detector final assembly.

The XLN10014 BK Precision and 72-8335A Tenma were used high and low power supply, respectively. The low and high voltage cables were implemented 22 AWG size with wire-board receptacle MC34 series Molex, three contacts for low power and two contacts for high power.

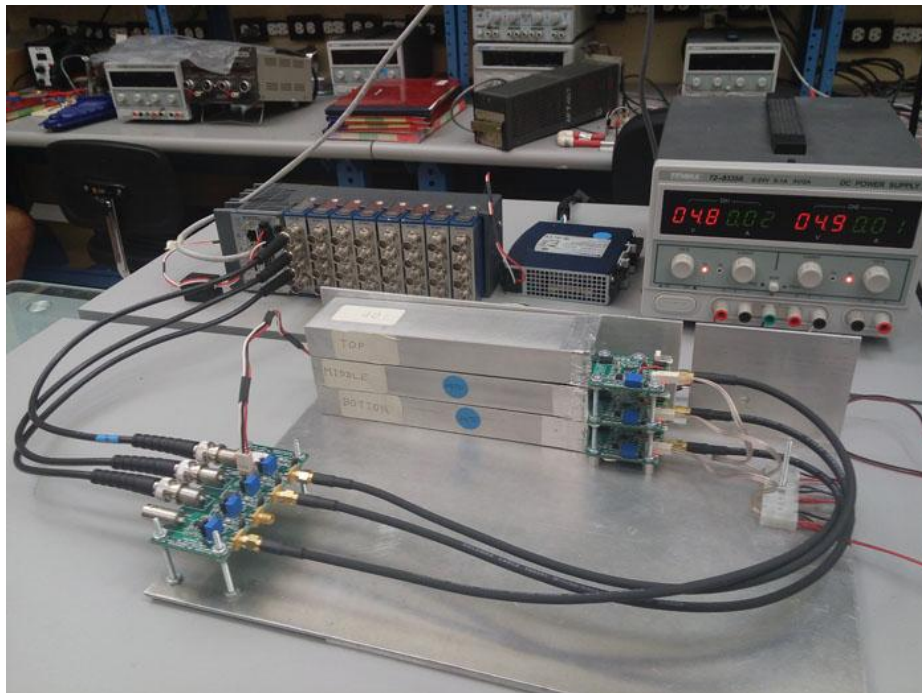


Figure 6.- Three channel detector final assembly.

4. TEST

Before recording measurements with cRIO, it was checked the operation of each canal of the cosmic ray detector using TDS1001C-EDU Tektronix oscilloscope. The oscilloscope channel one (yellow color) was connected to the passive probe to passive electronic board test point and oscilloscope channel two (blue color) was connected to the BNC plug to BNC plug coaxial cable to discriminator board signal output. The figure 7.1, 7.2 and 7.3 display top, middle and bottom Aluminum block output signal tests. The oscilloscope channel one displays analog output signal of a detector trigger; the

oscilloscope channel two displays the digital version of the analog signal; the trigger value was 124 mV. The analogue signal amplitude is variable, and with duration of 100 ns pulse width.

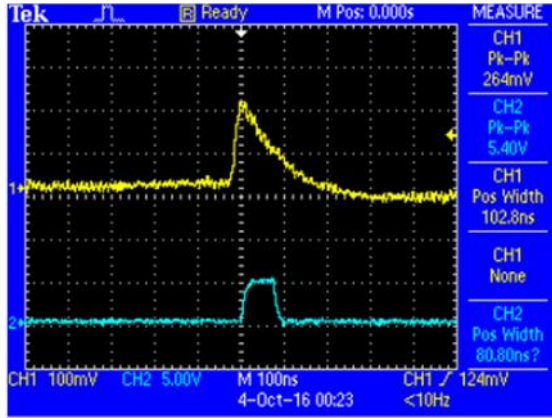


Figure 7.1.- Top Aluminum block oscilloscope output signal test.

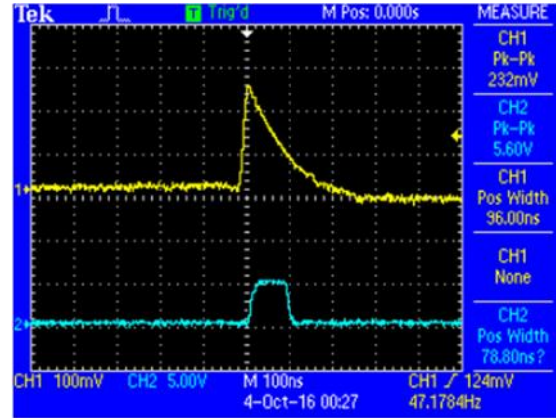


Figure 7.2.- Middle Aluminum block oscilloscope output signal test.

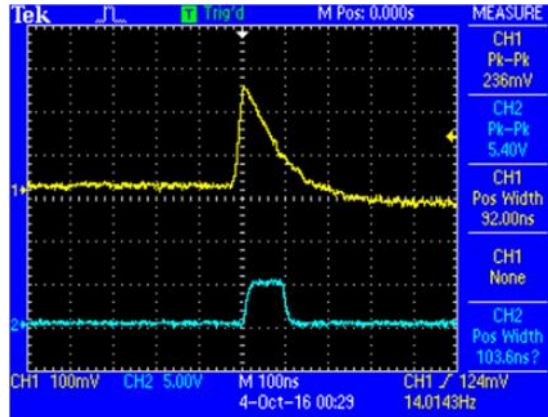


Figure 7.3.- Bottom Aluminum block oscilloscope output signal test.

5. CHARACTERIZATION

The output counts as function of applied high voltage for each channel are displayed in figures 8.1, 8.2 and 8.3. The recording interval began at 60 volts and finished at 100 volts in steps of 5 volts each. Nine ten minute text files were generated. Figure 8.1 corresponds to the results of top Aluminum block. Figure 8.2 corresponds to the result of middle Aluminum block. And figure 8.3 corresponds to the result of bottom Aluminum block. In the three channels for voltages between 60 and 65 volts the result is zero counts. For 70 volts and higher the number the counts increases lineally with applied voltage.

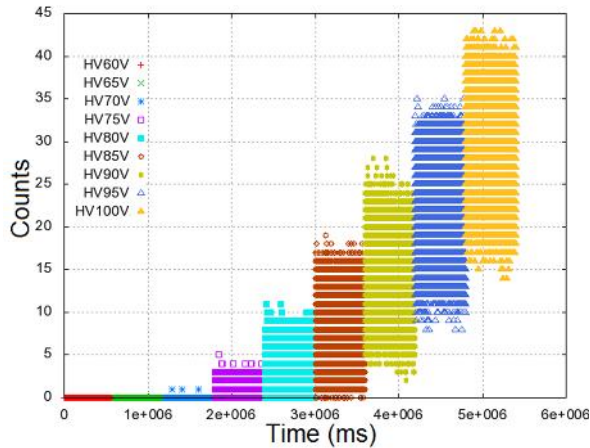


Figure 8.1.- Top Aluminum block.

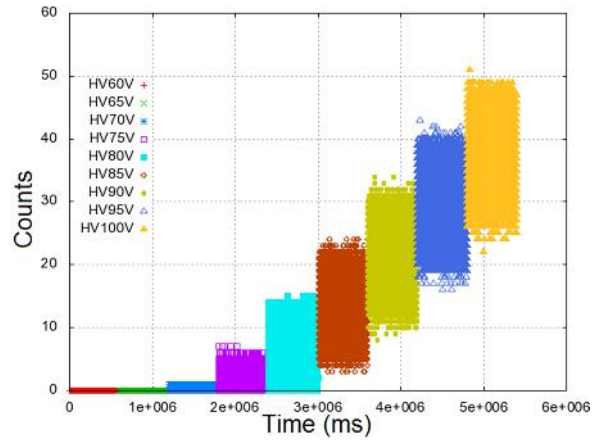


Figure 8.2.- Middle Aluminum block.

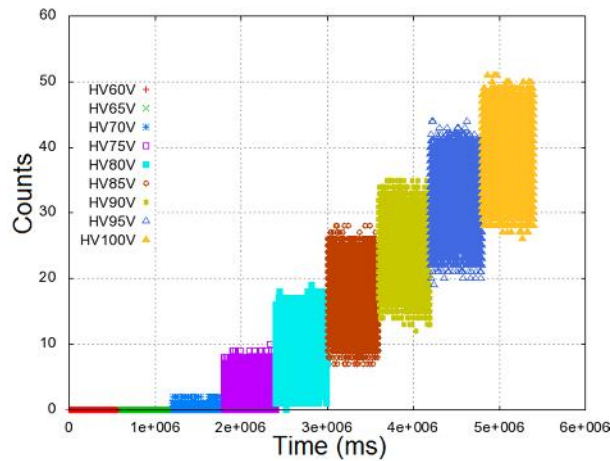


Figure 8.3.- Bottom Aluminum block.

6. RESULTS

The analogue signal noise was 20 mVpp and the configuration parameters were 75 Volts for operation voltage and 100 mV of threshold for the discriminator board.

The figure 9.1, 9.3 and 9.5 display the number of counts vs time for top, middle and bottom channels, respectively. The figure 9.2, 9.4 and 9.6 display frequency vs counts histograms for top, middle and bottom channels, respectively. The recording time length was 30 minutes for each file.

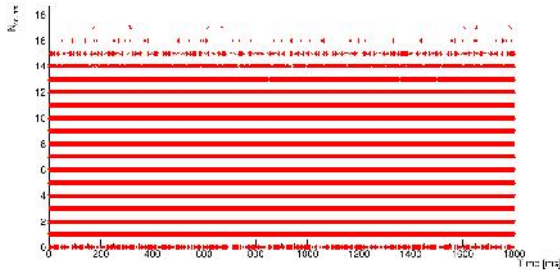


Figure 9.1.- Counts vs time of top Aluminum block.

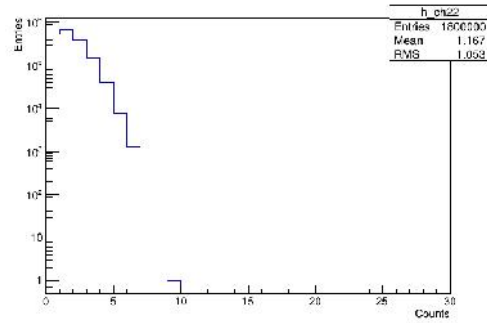


Figure 9.2.- Frequency vs counts of top Aluminum block.

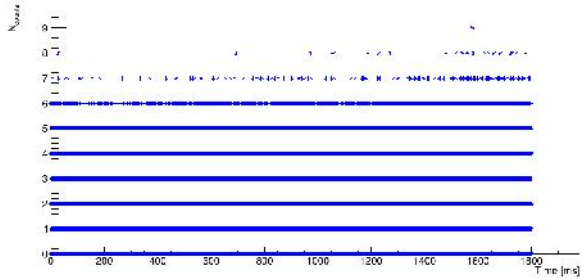


Figure 9.3.- Counts vs time of middle Aluminum block.

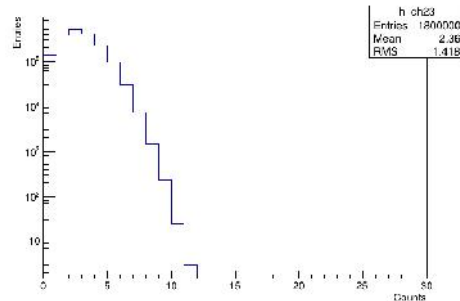


Figure 9.4.- Frequency vs counts of middle Aluminum block.

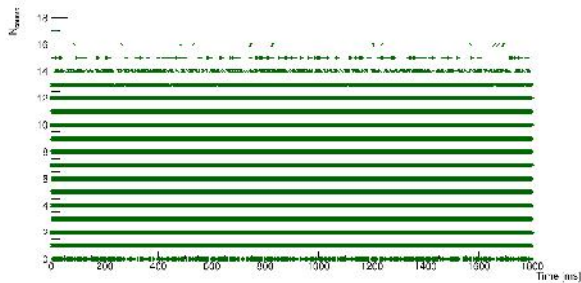


Figure 9.5.- Counts vs time of bottom Aluminum block.

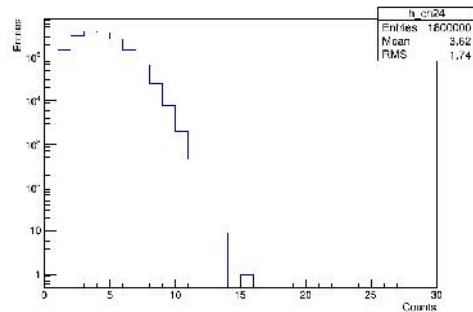


Figure 9.6.- Frequency vs counts of bottom Aluminum block.

7. CONCLUSIONS

It was designed, constructed and tested a three channel cosmic ray detector. The electronic board, the data acquisition system and photodiode work properly. It was characterized the cosmic ray detector to obtain a linear function of the counts vs applied high voltage. The distributions of counts vs time are almost flat, for the three channels of the cosmic ray detector. The distributions of frequency vs counts are almost a Poisson distribution, for the three channels of the cosmic ray detector.

8. ACKNOWLEDGMENTS

CONACYT for the support to the project 223179,10017, CB-2013-01 "Fondo Sectorial de Investigación para educación SEP- CONACYT". CONACYT for the support to the project 223179,10017, CB-2013-01 "Fondo Sectorial de Investigación para educación SEP- CONACYT". And Laboratorio de Partículas Elementales, <http://laboratoriodeparticulaselementales.blogspot.mx/>.

9. REFERENCES

- [1] http://inspirehep.net/record/912798/files/CRA%20School_027.pdf.
- [2] <http://laboratoriodeparticulaselementales.blogspot.mx/>.
- [3] Julián Félix, Design, construction, and operation of small cosmic rays detectors at Universidad de Guanajuato, Mexico, August 3 – 10, ICHEP2016.
<https://indico.cern.ch/event/432527/contributions/1072033/attachments/1321179/1981335/pos-terICHEP2016JFelix.pdf>
- [4] Hamamatsu, datasheet, (December, 2015).
<http://www.hamamatsu.com/jp/en/S12572-100P.html>.
- [5] Luis Arceo, Julián Félix, Basic Readout Electronic Board for Three Channel Cosmic Ray Detector, PoS (ICHEP2016)769, August 3 – 10, ICHEP2016.
<https://indico.cern.ch/event/432527/contributions/1071349/attachments/1321188/1981345/ICHEP2016-270-LJAM.pdf>
- [6] National Instruments, user manual and specifications NI cRIO-9025 (October, 2015).
<Http://www.ni.com/pdf/manuals/375490d.pdf>.
- [7] National Instruments, datasheet, NI-9402 (January 2016).
http://www.ni.com/pdf/manuals/374614a_02.pdf
- [8] Analog Devices, datasheet, (Rev. A, 2002).
http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/CMP401_402.pdf.

8. ROBÓTICA

8.1 DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ROBOT MÓVIL DIDÁCTICO, TIPO PLATAFORMA INDUSTRIAL PARA TRANSPORTE DE MATERIALES

Aguilera Hernández Martha Isabel, Olivares Ortega Jorge, Ortiz Simón José Luis,
Rojo Velasquez Gustavo, Cruz Hernández Nicolás
Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo

Resumen: En este artículo se presenta el diseño e implementación de un robot móvil didáctico, tipo plataforma industrial para el transporte de materiales. El robot cuenta con un sistema de control con un microcontrolador arduino y tiene un sistema sensorial para detección de obstáculos y seguimiento de una trayectoria. El prototipo está diseñado en su mayor parte con materiales reutilizados. El código se deja abierto para que pueda ser modificado de acuerdo a la aplicación didáctica.

Abstract: In this article, it is shown the design and implementation of a didactic mobile robot, industrial platform type, for transporting materials. The robot have a control system with the microcontroller Arduino and a sensor system to detect obstacles and path following. The prototype is designed in most part by reuse materials. The algorithms were design as an open source code so they can be modified according to the didactic application.

1.- Introducción

El diseño e implementación de prototipos robóticos experimentales con fines didácticos en el Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo, ha sido un trabajo continuo en los últimos 10 años. Los resultados de estos trabajos se han podido observar en participaciones del instituto en torneos de robótica a nivel nacional e internacional, publicaciones en revistas y congresos, residencias y proyectos de titulación. Otro resultado paralelo que se ha venido presentando es el de autoequipamiento. Los proyectos implementados se quedan en el instituto y son utilizados como prototipos didácticos. También se presenta el caso de evolución de los prototipos, es decir, una generación los diseña y la siguiente los modifica para obtener mejores desempeños. De esta manera, estos trabajos tienen varias metas que se integran en una sola: *“La mejora continua de la carreras de ingeniería eléctrica, electrónica, sistemas y mecatrónica”*.

Se ha ido promoviendo en forma paralela, la reutilización de materiales. Es decir, se propone que los materiales a utilizar en los prototipos, provengan de equipos en desuso. De esta manera, los alumnos aprenden también a obtener las características de los materiales, así como tener criterio acerca de su utilización adecuada en el proyecto,

En el 2006, se diseñó el Robot "*Plataforma industrial para transporte de materiales*", la cual se muestra en la figura 1. La cual consistía en una base de metal, con dos motores de corriente directa(DC) para el movimiento de las ruedas. Tenía unos sensores ópticos para que el robot fuera programado para seguir una línea. También contaba sensores de obstáculos como medida de seguridad por si alguien se atravesaba al tener el robot en movimiento.

Este trabajo fue realizado por el Club Mecatron del Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo y participó en el "*Mondialogo Engineering Award 2006-2007*" como una propuesta industrial para el transporte de materiales en una fábrica a un bajo costo. Los resultados de este trabajo fueron presentados en Roma, Italia en el 2006.

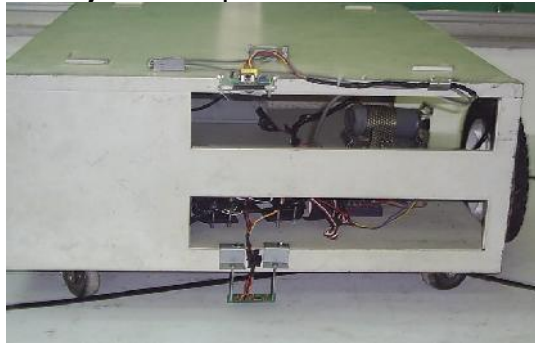


Figura 1: Plataforma industrial diseñada en el Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo en el 2006. En este trabajo, se presenta el diseño de un prototipo con la misma finalidad de transporte de materiales, pero con otras características. Primeramente, el control. Se integró un microcontrolador arduino para actualizar la comunicación de la plataforma con la computadora. También se colocaron dos niveles para aumentar el nivel de carga de material.

Es de bajo costo de construcción comparado con robots que existen en el mercado y que generalmente están limitados a tareas predeterminadas por el fabricante, gran parte de las veces, se desconocen sus componentes internos de funcionamiento. Estas limitaciones pueden llegar a ser un inconveniente cuando deseamos añadir una tarea o grupo de tareas diferentes a la que fue diseñado por el fabricante.

La primera parte de este trabajo se centra en el diseño y construcción del prototipo robótico móvil. En la segunda parte se muestra la adaptación del componente sensorial para implementar algoritmos de seguimientos de trayectorias. En la tercera y última se muestra la implementación de algoritmos para el seguimiento de línea. Finalmente, se muestran los resultados y conclusiones de este trabajo.

2.- DESARROLLO

El diagrama general del proyecto se muestra en la figura 2. Se puede observar al centro el prototipo diseñado y los componentes principales que lo conforman. La plataforma requiere una fuente de voltaje de 12v, por lo que se utilizó una batería de carro. En la parte sensorial se utilizaron dos tipos de sensores ópticos: uno para el seguimiento de línea y el otro para la detección de obstáculos. Este último se coloca como una medida de seguridad en una línea de producción para el caso de que alguna persona entre al espacio de trabajo del robot.



Figura 2: Diagrama general del prototipo diseñado

2.1 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

La estructura se diseñó pensando en la comodidad y ergonomía del operador, para que no resulte cansado, agotador y/o tardado tomar o depositar material del carro, la altura y ancho de la estructura está basada en al tamaño promedio de una persona. La estructura está hecha de material PTR tubo cuadrado para poder hacerlo un poco ligero, pesando solo 3 kilos con 300 gramos. A la cual se le agregaron unas bases de acoplamiento desmontables para poder colocar los motores, estos siendo 2 motores DC de 12 volts, capaces de moverse en ambas direcciones y moverse independientemente en direcciones contrarias. Tienen el torque suficiente para poder mover una carga total de 30 kilos extras al peso final del carro. Como fuente de voltaje se usa una batería de 12 volts al centro de la estructura capaz de durar hasta 3 horas con peso máximo y 5 horas con peso

moderado. Tan solo 2 carros se necesitan para cubrir una jornada laboral de 8 horas.

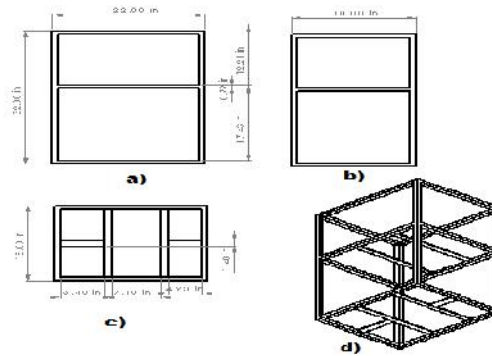


Figura 3: Dimensiones de la estructura, a) Vista lateral, b) Vista frontal, c) Vista superior, d) Vista de estructura completa.

En la figura 3, se muestran las dimensiones de la estructura del carro seguidor, dicha estructura está elaborada de material PTR de un grosor de 0.7 in, el cual se eligió por su ligereza y resistencia, se soldó (se utilizó soldadura eléctrica) para darle la forma rectangular, la altura es de 32.00 in (81.28 cm) para evitar que la persona tenga que inclinarse a colocarle el material que transportará

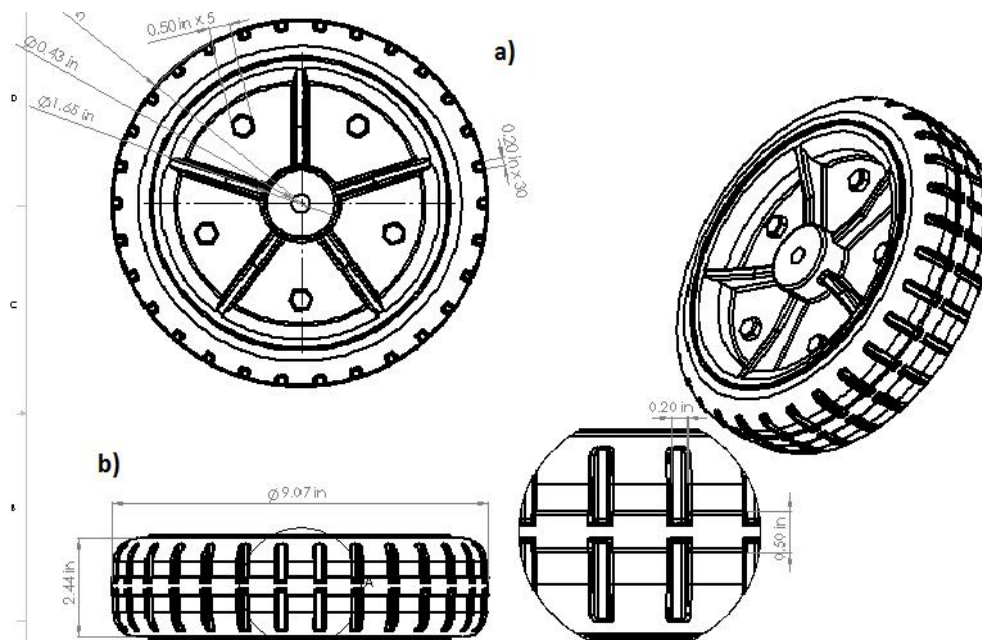


Figura 4: Dimensiones de las llantas: a) vista frontal de las llantas, b) vista superior de las llantas. Las llantas están construidas de un polímero resistente que es capaz de trabajar en todo tipo de superficies, aun así sean ásperas, lisas, mojadas, resbalosas. Capaces de soportar hasta 150 kg sin variar su movilidad y/o dañarse, se adapta de acuerdo al peso de la carga para poder moverse sin problema alguno.

Las ruedas de giro libre son ruedas de plástico antiderrapante con libertad de movimiento de giro capaces de soportar hasta 100 kg. Estas mismas ruedas están levemente más arriba que las ruedas principales ya que el peso recae en las mismas y las ruedas de giro libre solo dan el soporte y equilibrio para mantener el carro balanceado y fijo. Como motores, se seleccionaron los utilizados como elevadores de la ventana de automóvil. Están contruidos para girar a distinta velocidad dependiendo el sentido de su giro, si la ventana del automóvil se desea bajar, la velocidad de giro se realiza de una manera un poco más rápida que el sentido contrario que sería para elevar la ventana del automóvil. Esta es una característica importante para la construcción del prototipo, que se aprovechó en la programación. En la tabla 1, se muestran las especificaciones de los motores de corriente directa.

Tipo	Motor de DC
Voltaje de operación	12 v
Marca	Siemens
Engranaje	6 dientes
Corriente necesaria para funcionamiento	4 A

Tabla 1: Especificaciones de los motores de CD



Figura 5: Motores utilizados en este prototipo

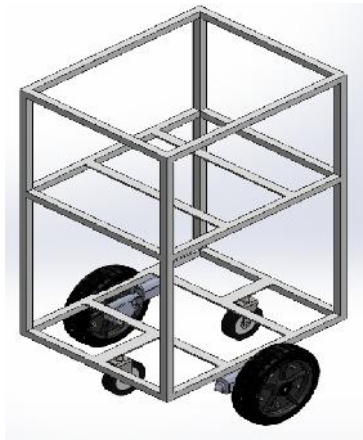


Figura 6: Adaptación de las ruedas con motores a la estructura

La figura 6, muestra la adaptación de los motores a las ruedas y a la estructura. Para el control de los motores se utilizó el victor 884, que es un controlador de velocidad diseñado específicamente para aplicaciones robóticas. Su capacidad de 40 A, su baja caída de voltaje hace que el victor 884 sea ideal para los sistemas de transmisión. Puede realizar el cambio de sentido de giro y además de modular la velocidad. La tabla 2, muestra las especificaciones del controlador de velocidad.

Control estándar de la señal	r/c tipo pwm por canal
Voltaje de operación	6v a 15 v
Corriente máxima	40 A
Típicas aplicaciones	Encendido de motor con variables de avance, retroceso y apagado
Peso	0.25 libras

Tabla 2: Características principales del victor 884

Se utilizan dos controladores victor 884. Los pines de salida pwm del arduino son los 3 y 9. Cada salida pwm del arduino va conectada hacia la entrada de señal de pwm de los controladores. La figura 7, muestra la conexión del arduino con el PWM.



Figura 7: Conexión de las salidas del arduino que son mandadas al controlador Víctor 884.

En la conexión de la fuente de alimentación es importante agregar las terminales universales que son para las baterías de automóvil, para facilitar el cableado del prototipo. Se utilizó una barra de extensión para poder tener varias terminales para las tierras y la alimentación de 12v, para alimentar el arduino y los dos controladores victor 884. Esta barra se muestra en la figura 8.



Figura 8: Barra de extensión para alimentar los componentes electrónicos y motores

Los motores requieren estar conectados con la misma polaridad para que el sentido de giro sea el mismo, para que las llantas puedan avanzar o retroceder. También se requiere conectar el abanico que ayuda a disipar el calor del controlador para mejora de funcionamiento, este se conecta a la fuente de alimentación que abastece al controlador (12v). El PWM tiene un led indicador para mostrar el estado en el cual se encuentra trabajando. Esto se muestra en la tabla 3.

Color	Estado
Verde	Totalmente avanzando
Rojo	Totalmente retrocediendo
Naranja	Neutro en reposo
Naranja Parpadeante	No recibe señal pwm

Tabla 3: Indicador del estado en que se encuentra el controlador

2.2. Adaptación de sensores ópticos

Para la detección de obstáculos se utilizó el Sensor ultrasónico HC-SR04 (figura 10). Este sensor ultrasónico detecta algún obstáculo en el camino del robot móvil y

manda una señal sensorial al arduino. El prototipo se detiene completamente antes de impactar con el obstáculo. Esto como medida de seguridad para la empresa. Este sensor opera con una alimentación de 5v y permite detectar un obstáculo a la distancia máxima de 4m y con 30° hacia los lados. Los sensores ópticos se alimentan de la fuente interna del arduino. Los pines trigg y echo van conectados, en este caso, a los pines 7,8,12,13 del arduino para los dos sensores ultrasónicos. Los sensores ópticos que se utilizaron como seguimiento de línea son los CNY70, que es un sensor óptico reflexivo que tiene una construcción compacta donde el emisor de luz y el receptor se colocan en la misma dirección para detectar la presencia de un objeto. El detector consiste en un fototransistor. Este sensor sirve para detectar una línea negra o blanca, su funcionamiento sirve en mandar señales sensoriales al arduino al momento de ser reflejado la luz emitida por el emisor al detector. Si se tiene una línea negra, la señal sensorial mandará señales bajas debido a que no se refleja tanto en lo oscuro y en cambio si se tiene una línea blanca, la señal sensorial será alta porque se reflejara a un nivel alto con el detector. La figura 9, muestra la forma de conectar los sensores. Se utiliza la fuente interna del arduino de 5v. Se deben usar las entradas analógicas para estos sensores en este caso se conectaron a las entradas A0, A1 a los sensores de avance y para los sensores de retroceso en las entradas analógicas A2 y A3.

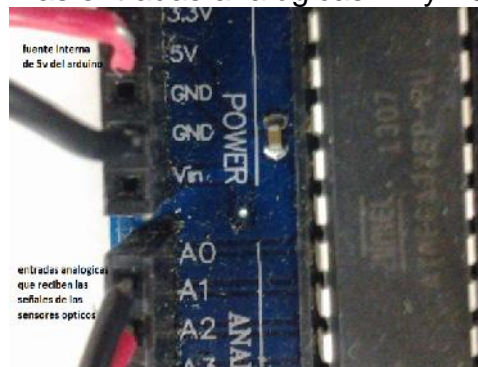


Figura 9: Conexión de los sensores al arduino Uno.

Para lograr un ensamble correcto para los elementos sensoriales se implementaron bases para eliminar fallas al momento de detección. Estas mismas bases que portan los elementos sensoriales fueron realizadas con acrílico, igualmente siendo cortadas las hojas de acrílico a medidas precisas.



Figura 10: Sensores ultrasónicos instalados

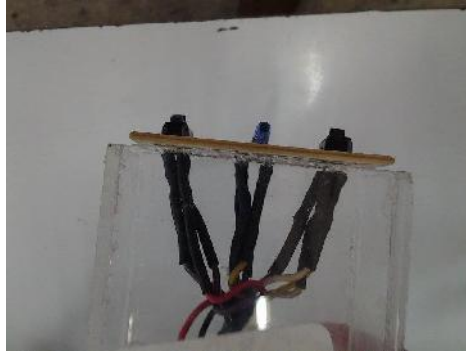


Figura 11: Base realizada con acrílico para sostener los sensores seguidores de línea y mantenerlos a una distancia adecuada al suelo.

2.2 Diseño de algoritmos de seguimiento de línea y detección de obstáculo

En esta sección, se presenta el diagrama de flujo para el movimiento del prototipo y su código fuente. Contiene señales de las variables como lo son la distancia, que es captada por el sensor ultrasónico para la detección de un obstáculo y las señales del sensor 1 y 2, para la detección de la línea (niveles de blanco y negro). La figura 12, muestra el diagrama de flujo de seguimiento para facilitar la programación para que avance hacia adelante el prototipo.

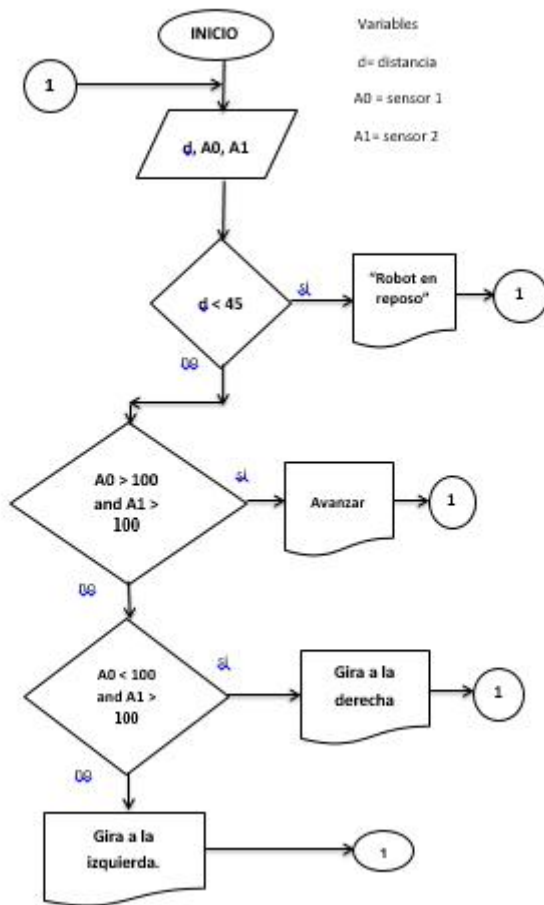


Figura 12: Diagrama de flujo del programa

El programa cuenta de 3 secciones, la primera es el inicio que establece el nombre de las variables que se utilizan y en que pines están asignadas, es la sección declaración de variables. La segunda sección es el void setup en esta sección se dan de alta todos los pines que se utilizaran y se asignan como entradas o salidas. La tercer y última sección es void loop, que es donde se codifica el razonamiento que se le asigna al microcontrolador, se establecen todas las acciones que desea realizar el programa. A continuación se muestra una parte del programa en la cual se toman las decisiones de acuerdo a los valores de los sensores.

```

If(distancia >45) {
// condición para que nuestro robot móvil avance
if (sensorValor >100 && sensorValor2 > 100 )
{
  analogWrite(motord, 127); // se mandan pulsos a la salida que controla la llanta derecha
  analogWrite(motori, 127); // se mandan pulsos a la salida que controla la llanta izquierda
  analogWrite(motord2, 0);
  analogWrite(motori2, 0);
}
// condición para que nuestro robot móvil gire hacia la derecha
  
```

```

if(sensorValor < 100 && sensorValor2 > 100 )
{
analogWrite(motord, 127);
analogWrite(motori, 0);
analogWrite(motord2, 0);
analogWrite(motori2, 0); // cambia su pulso al pin de salida que controla el cambio de giro del motor
de la llanta izquierda
}
// condición para que nuestro robot móvil gire hacia la izquierda
if(sensorValor > 100 && sensorValor2 < 100)
{
analogWrite(motord, 0);
analogWrite(motori, 127);
analogWrite(motord2, 0); // cambia el envío de pulso hacia el pin de salida del cambio de giro del
motor de la llanta derecha
anogalWrite(motori2, 0);
}}

```

Resultados

En este trabajo se logró construir un prototipo de un robot móvil para transportar material en la industria. La meta principal fue que el robot siguiera una trayectoria de seguimiento de línea y que tuviera la capacidad de cargar material de hasta 20 kg. La figura 13, muestra el prototipo terminado y la figura 14, muestra la forma de acomodar material para su transporte.



Figura 13: Prototipo terminado



Figura 14: Muestra lo compacto y accesible que es transportar cualquier material en el robot móvil

CONCLUSIONES

Se diseñó un prototipo robótico móvil con la capacidad de transportar material siguiendo una trayectoria determinada por una línea negra. Tiene la característica de seguridad en el sentido de que si detecta algún obstáculo, el robot se detendrá. Además de que el prototipo puede realizar la tarea ya sea en forma de avance o hacia la dirección opuesta para regresar al lugar de inicio del patrón. Tomando en cuenta de que existen distintos proyectos similares en la industria, este prototipo es de gran utilidad en las materias relacionadas a automatización. Puede utilizarse también para ejercicios de tiempos y movimientos que se presentan en una línea de producción.

Referencias

- [1] Tauseef Aized (2010). Material Handling in Flexible Manufacturing System, Future Manufacturing Systems, Tauseef Aized (Ed.), ISBN: 978-953-307-128-2, InTech, <http://www.intechopen.com/books/future-manufacturing-systems/material-handling-in-flexible-manufacturingsystem>
- [2] Panos J. Antsaklis, Passino K., Wang S.J., "An introduction to autonomous control systems", IEEE Control Systems, Junio de 1991.
- [3] Olivares Ortega, "*Diseño de un robot móvil para transporte de materiales*", reporte de residencias. Agosto del 2015.
- [4] Aguilera Martha, Club Mecatrón, "*Diseño de una plataforma industrial con componentes de reutilización para transporte de materiales*", conferencia presentada en Roma Italia en "Mondialogo Engineering Award", noviembre del 2006.
- [5] Solis R., "*Implementación de Robots Móviles con ruedas para apoyo didáctico en áreas de electrónica y mecatrónica*", Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo, Tesis de Ingeniería electrónica, Noviembre del 2012.
- [6] Briseño J., Lopez L., "*Diseño de un Robot Móvil Experimental para Seguimiento de Trayectorias*", Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo, Tesis de Ing. Electronica, 8 de Octubre del 2004
- [7] Fundacion Robot Market Place, "victor 884 motor controller", <http://www.robotmarketplace.com/products/IFI-V884.html>, consultado el 20 de mayo del 2014
- [8] Fundacion Arduino página principal, "arduino características", <http://www.arduino.cl/int/caracteristicas.html>, consultado el 20 de mayo del 2014
- [9] Fundación tech make electronics, "sensor ultrasónico descripción del producto", <http://www.techmake.com/sen-00029.html>, consultado el 21 de mayo del 2014

9. TELECOMUNICACIONES

9.1 ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE PUNTOS DE ACCESO INALÁMBRICOS DOMÉSTICOS EN LA CIUDAD DE CHETUMAL, QUINTANA ROO

Vladimir Cabañas Victoria, Javier Vázquez Castillo, Melissa Blanqueto Estrada,
Laura Dávalos Castilla, Jaime Ortegón Aguilar
Universidad de Quintana Roo
{vdrakul, jvazquez, melissa, ldavalos, jortegon}@uqroo.edu.mx

RESUMEN

La gran demanda de servicios de información provenientes de Internet ha ocasionado que la cantidad de solicitudes a proveedores de Internet en los hogares en México esté en aumento. Sin embargo, el desconocimiento sobre el manejo y configuración del equipo de telecomunicaciones que se instala (access points-APs) por parte de los proveedores de servicio hace que los datos personales de los usuarios sean vulnerables y estén en riesgo. Este artículo, presenta un análisis de las redes inalámbricas personales 802.11x que se encuentran en determinados puntos de la ciudad de Chetumal Quintana Roo, México. El estudio se planeó con la finalidad de identificar las principales características de los puntos de acceso a Internet, y así generar información útil para mitigar de manera considerable los riesgos inherentes a las configuraciones por defecto. Lo anterior, permitirá aumentar y mejorar el grado de confiabilidad de los puntos de acceso a Internet, evitando que los usuarios caseros estén expuestos a amenazas por parte de personas malintencionadas.

1 INTRODUCCIÓN

Las redes inalámbricas del tipo doméstico en la ciudad de Chetumal Quintana Roo, han observado un gran crecimiento debido a la demanda de conectividad, disminución de los costos y a la creciente oferta de los diversos proveedores de servicios de Internet en el estado y el país en general.

Los proveedores de servicios de Internet que ofrecen equipos de conexión con capacidades inalámbricas habitualmente entregan los dispositivos con las configuraciones por defecto, es decir, presentan características que están ampliamente documentadas en Internet, información que es de fácil acceso. Obviamente esto conlleva un riesgo importante en materia de seguridad informática.

La configuración por default de los dispositivos de conectividad inalámbrica representa un riesgo en la integridad, privacidad y confidencialidad de la información de los usuarios de las redes domésticas.

El objetivo de esta investigación fue analizar la variedad de redes inalámbricas 802.11 que se encuentran en determinados puntos de la ciudad de Chetumal Quintana Roo, para identificar las principales características de los puntos de acceso y poder generar información útil y eficaz para mitigar de manera considerable los riesgos inherentes a las configuraciones por default, las

configuraciones deficientes, y aumentar la confiabilidad en la configuración de las redes inalámbricas.

2 MARCO DE REFERENCIA

2.1 Componentes de las redes inalámbricas

2.1.1 Puntos de acceso

Los puntos de acceso (APs, *Access Point por sus siglas en inglés*), constituyen el punto principal de emisión y recepción. El AP concentra la señal de los nodos inalámbricos y centraliza el reparto de la información de toda la red local. También realiza el vínculo entre los nodos inalámbricos y la red cableada; por este se lo suele llamar puente.

Cuando conectamos varios AP (sincronizados) entre sí, podemos formar una gran red sin utilizar cables. Una mejor idea para poder entender el concepto de punto de acceso, es el situarse del lado del cliente (notebook, por ejemplo) y pensar que el punto de acceso provee un cable virtual entre cada cliente asociado a él. Así, este cable inalámbrico nos conecta a la red cableada como a cada uno de los demás usuarios de la red inalámbrica [1].

2.1.2 Ruteador inalámbrico

Es muy común confundir el término Access Point con un ruteador inalámbrico. Este último es un Access Point combinado con un ruteador y puede realizar tareas más difíciles que las del AP. Un ruteador inalámbrico es como un puente (que une la red cableada y la no cableada) y un direccionador (que selecciona el destino según el enrutamiento del protocolo IP).

Si se tiene una conexión ADSL que nos da acceso a internet a través de la línea telefónica, este dispositivo será el encargado de conectarnos. Pero no es la única función ya que, además, permite distribuir internet mediante cables y de forma inalámbrica mediante el punto de acceso que tiene integrado. [2]

También realiza las restricciones de acceso, por usuarios, servicios y horarios, entre otras opciones, y puede controlar el ancho de banda y las prioridades de acceso por cliente conectado o servicio [1].

2.2 Modo de operación

El modo de operación inalámbrica se refiere a los estándares 802.11 que se define en dos modos fundamentales: ad hoc e infraestructura.

2.2.1 Modo ad hoc

Los únicos elementos necesarios para conformar una red en modo ad hoc son los dispositivos móviles que poseen placas de red inalámbricas.

También se le conoce con el nombre de punto a punto, ya que permite establecer comunicación directa entre los usuarios sin necesidad de involucrar un punto de acceso central que realice un vínculo.

2.2.2 Modo infraestructura

En las configuraciones en modo infraestructura se usa el concepto de celda, similar al implementado en la red de telefonía celular. Se entiende por celda al área en la cual una señal radioeléctrica es efectiva. Así, una red inalámbrica puede tener una celda de tamaño reducido y, por medio de varios puntos de emisión, es posible combinar celdas y tener un área mayor.

Se logra esto utilizando los famosos puntos de acceso, que funcionan como receptores y, por eso, pueden duplicar el alcance de la red, ya que, en este caso, la distancia máxima no es entre estaciones, si no entre una estación y un punto de acceso. Estos dispositivos capaces de extender una red son colocados en lugares estratégicos, en general, altos y, además, realizan la coordinación del funcionamiento entre usuarios. Con solo un punto de acceso se puede soportar un grupo acotado de usuarios, el rango será de entre 30 metros y varios cientos más. Si se quiere conectar varios puntos de acceso y usuarios, todos deben configurar el mismo SSID [2].

2.3 Tipos de cifrado

En la Tabla 11 se enlistan los diversos tipos de cifrados que se utilizan con las redes WiFi, con una descripción de los mismos.

Tabla 11. Tipos de cifrado

Cifrado	Descripción
WEP	<p><i>Wired Equivalent Privacy</i>. Se trata de un sistema de cifrado que funciona mediante la autenticación del usuario con contraseña. El tráfico viaja cifrado, y aquel usuario que se encuentre escuchando el tráfico sólo leerá caracteres sin sentido alguno, a no ser que tenga la clave del cifrado. Está basado en el algoritmo de cifrado RC4, utilizado para ello las claves de 64 o de 128 bits.</p> <p>Entre las principales vulnerabilidades de este sistema está que las claves permanecen siempre estáticas, y por otro lado los 24 bits del vector inicialización son insuficientes, además de transmitirse sin cifrar. No se aconseja su utilización en las redes inalámbricas, ya que se puede llegar a romper su seguridad mediante distintos sistemas como fuerza bruta o el ataque FMS [3]</p>
WPA	<p><i>WiFi Protected Access</i>. Este sistema de cifrado hace uso del protocolo TKIP para gestionar las claves dinámicas, que resuelve muchos de los problemas que tenía WEP tales como la longitud de la clave, el cambio de la clave de estática a dinámica y la multidifusión.</p> <p>WPA permite diferentes sistemas de control de acceso incluyendo la validación del usuario, como puede ser contraseña, certificado digital o simplemente hacer uso de una contraseña compartida para identificarse. [4]</p>
WPA-PSK	<p>Consiste en un sistema de clave compartida, clave formada entre 8 y 63 caracteres. Cualquier equipo que tenga esta clave podrá conectarse a la red. Su problema es que se basa en el uso de claves, y puede identificarse por fuerza bruta, de ahí que se recomiendan claves complejas alfanuméricas. [4]</p>
WPA2	<p>WPA2 utiliza una nueva arquitectura para las redes Wireless llamada Robust Security Network (RSN) y utiliza la autenticación 802.11x, distribución de claves robustas y nuevos mecanismos de integridad y privacidad. Para el cifrado de datos utiliza el algoritmo de cifrado por bloques AES (Advance</p>

	Encryption Standart). Es el algoritmo más seguro y se aconseja su utilización frente a otros algoritmos que ya han sido “rotos”, como es el caso de WEP o WPA. [2]
WPA CCMP/ WPA2 CCMP	Este cifrado es la combinación de WPA y WPA2 con el protocolo CCMP (<i>Counter Mode CBC-MAC</i>), también conocido como AES CCMP. Es un mecanismo de cifrado que sustituye a TKIP. [5]
WPA MGT/ WPA2 MGT	Una red WPA MGT o WPA2 MGT significa que la contraseña no es una clave pre compartida. En su lugar, la red WiFi está conectada a un sistema o servicio de autenticación, habitualmente un servicio radius, para verificar el usuario y la contraseña de la persona que se intenta conectar. Dado que las redes WiFi MGT (Management) necesitan una infraestructura algo más compleja, son las usadas en entornos profesionales y en empresas. [5]

2.4 Canales

El IEEE 802.11 establece que los dispositivos pueden utilizar las bandas 2.4 GHz, 3.6 GHz y 5 GHz para la retransmisión inalámbrica. Cada banda esta subdividida en canales, que están separados por una frecuencia mínima de 5 MHz. La variedad de canales que pueden utilizar varia con la región, en Norte América se puede usar del 1 a 11, y en Japón del 1 a 14, pero en Europa, los routers que ofrecen las compañías tienen capacidad para operar con 14 canales, como observamos en la siguiente lista [6] :

- Radio 2.4 GHz: Canales 1-2412, 2-2417, 3-2422, 4-2427, 5-2432, 6-2437, 7-2442, 8-2447, 9-2452, 10-2457, 11-2462, 12-2467, 13-2472, 14-2484.
- Radio 5 GHz: Canales 34-5170, 36-5180,38-5190, 40-5200, 42-5210, 44-5220, 46-5230, 48-5240, 52-5260, 56-5280, 60-5300, 64-5320.

2.5 SSID (Service Set Identifier)

Es el nombre que se asigna a la red inalámbrica, que se incluye en todos los paquetes que envía el punto de acceso, conocido como *baliza*. Una *baliza* es un paquete de información que se manda desde un dispositivo conectado a todos los demás, para anunciar su disponibilidad. Un intervalo de baliza es el periodo de tiempo (enviado con baliza) que debe transcurrir antes de que se vuelva a enviar la baliza. El intervalo de baliza puede ajustarse en términos de milisegundos (ms). [7]

2.6 Filtrado MAC

La dirección MAC (Media Access Control) es un identificador de 48 bits que está grabado en las placas de red (en todas) y que identifica físicamente a nuestra placa. Este valor viene establecido de fábrica, y cada dirección MAC es diferente según el fabricante. [8]

El filtrado MAC significa que solo un grupo limitado en direcciones MAC conocidas por nosotros pueden conectarse al punto de acceso. Es una medida de seguridad bastante débil, pero se puede usar combinada con otras un poco más avanzadas.

El filtrado MAC utiliza una lista de direcciones MAC. Tomando en cuenta dicha lista, hay dos modos en los que se puede configurar [9]:

- *Permitiendo la conexión a los dispositivos añadidos a la lista de direcciones MAC*, quedando cualquier otro sin posibilidad de conectarse a la red. Esto es bastante útil cuando se quiere que solo unos determinados dispositivos puedan conectarse al Wi-Fi.

- *Denegando la conexión a los dispositivos que aparecen en la lista de direcciones MAC, circunstancia en la que cualquier otro dispositivo podrá conectarse. Esta forma sería adecuada para no permitir la conexión a un determinado dispositivo del que se conoce la dirección MAC.*

3 METODOLOGÍA

Para cumplir con el objetivo de este trabajo, es indispensable contar con una metodología probada que permita el recabado de información de APs y que proporcione certidumbre de que el análisis de los datos de APs son confiables.

En el análisis de esta investigación se optó por la metodología estandarizada Open Wireless Security Assessment Methodology (Metodología de evaluación de seguridad de Wireless abierta o OWISAM), el cual es una metodología que consta con 10 controles de seguridad, las cuales son todas aquellas verificaciones que se deben llevar a cabo para realizar con éxito un análisis de seguridad sobre una infraestructura inalámbrica.

El principal objetivo de OWISAM es la de mantener una metodología ágil y usable que ayude a realizar con éxito un análisis de seguridad sobre las redes WiFi. El análisis cubre todos los aspectos de seguridad relacionados a las redes inalámbricas, todo esto gracias a que OWISAM cuenta con 63 controles técnicos de seguridad agrupados en 10 categorías, las cuales son:

1. OWISAM-DI: Descubrimiento de dispositivos.
2. OWISAM-FP: Fingerprinting.
3. OWISAM-AU: Pruebas sobre la autenticación.
4. OWISAM-CP: Cifrado de las comunicaciones.
5. OWISAM-CF: Configuración de la plataforma.
6. OWISAM-IF: Pruebas de infraestructura.
7. OWISAM-DS: Pruebas de denegación de servicio.
8. OWISAM-GD: Pruebas sobre directivas y normativas.
9. OWISAM-CT: Pruebas sobre los clientes inalámbricos.
10. OWISAM-HS: Pruebas sobre hostspots y portales cautivos.

En el presente estudio se utilizó el análisis de *caja negra*, que es un tipo de análisis contemplado dentro de la metodología OWISAM [3], debido a que la investigación se inició de un completo desconocimiento en la seguridad de los APs, como su cifrado, canal, identificador de red (SSID) y modelo del dispositivo del área geográfica a analizar. Es decir, al no contar con la referencia en materia de seguridad inalámbrica es necesario recaudar información que ayude a realizar el análisis detallado y concreto durante el caso de estudio. Una vez capturada la información, se podrá generar los modelos estadísticos y porcentuales que permitan desarrollar los reportes y recomendaciones de seguridad en APs para usuarios domésticos.

Por otra parte, se establecieron ciertas restricciones como lo son a) el área geográfica específica y que consistió de dos áreas geoestadística básicas (AGEB acorde al INEGI) y en b) la ventana horaria de captura de información la cual tuvo un margen dentro de las 11 AM y las 15:00 PM.

3 DESARROLLO DEL TRABAJO

El desarrollo de este trabajo dependió de la AGEB, software analizador, equipo de cómputo y un adaptador inalámbrico. En este sentido es necesario definir los recursos utilizados durante el trabajo de investigación.

3.1 Recursos a utilizar

1. Mapa Digital: Mapa obtenido del Instituto Nacional de Estadística y Geografía [4] en el cual se encuentran marcadas las zonas denominadas AGEB las cuales se usarán para realizar el análisis.
2. Software Acrylic WiFi Profesional, el cual es un analizador que identifica los puntos de acceso y canales WiFi, identifica y resuelve incidencias en redes WiFi 802 en tiempo real.
3. Equipo de cómputo Ultrabook Lanix Neuron UX, Intel Core i3 3217u a 1.8 GHz Windows 8, disco duro de 500 Gb, memoria RAM 4 GB
4. Adaptador USB inalámbrico TP-LINK de alta ganancia de 150 Mbps y 4 dBi.

La AGEB como su nombre lo indica, es un área geográfica ocupada por un conjunto de manzanas perfectamente delimitadas por calles, avenidas, andadores o cualquier rasgo de fácil identificación en el terreno cuyo uso del suelo es principalmente habitacional, industrial, de servicios, comercial, etc. y solo son asignadas al interior de localidades urbanas [5].

3.2 Técnica del análisis

Para llevar a cabo la investigación se optó por realizar una técnica estadística llamada muestreo intencional o de conveniencia. Esta técnica de muestreo se caracteriza por un esfuerzo deliberado de obtener muestras "representativas" mediante la inclusión en la muestra de grupos supuestamente típicos [6]. Así mismo, se seleccionó intencionalmente los AGEB 2300400010759 y 2300400010392, ya que al contar con la mayor cantidad de habitantes se espera poder encontrar suficientes APs de inalámbricos y hacer más confiables los resultados de análisis.

3.3 Software para el análisis de los puntos de acceso (APs)

Una vez determinado las AGEB con la mayor concentración de población en la ciudad y la técnica a emplear para obtener las muestras necesarias, se debe elegir la herramienta con la que se realizará el escaneo de los APs. La herramienta de software Acrylic WiFi profesional cuenta con una amplia base de datos sobre fabricantes, que es uno de los puntos fuertes del análisis. Acrylic WiFi profesional también brinda la facilidad de exportar los resultados obtenidos a diferentes formatos como HTML, JPG, XLS, entre otros.

3.4 Ejecución del análisis

Para el estudio se procedió a plantear un horario en el que se realizaría el recorrido por las AGEB seleccionadas, siendo el horario que se escogió definido entre las 11 y las 15 horas. Este rango de horario incrementó la posibilidad de que los usuarios de APs ya se encontraran en sus hogares y así aumente el tráfico en la red. Lo anterior facilita la captura de datos con la herramienta de software seleccionada.

3.4.1 Recorrido día 1

Para el primero día se recorrió la AGEB 2300400010759. Esta primera AGEB se dividió en tres partes para facilitar el recorrido, la primera parte abarca de manera horizontal desde la Av. Insurgentes hasta la Av. Erick Paolo Martínez y de manera vertical de la calle Faisán hasta la Av. Javier Rojo Gómez.



Figura 37. Recorrido día 1 primera parte.

La Figura 37, muestra una referencia gráfica de la AGEB elegida para la visualización del recorrido realizado. En el primer día se encontró un total de 629 puntos de acceso inalámbricos. A través de la Figura 38, se puede apreciar los resultados arrojados con el software Acrylic WiFi profesional.

SSID	Mac Address	Rssi	Snr	Chan	Wide	802.11	Max Rate	WEP	WPA	WPA2	WPS	Password	WPS PIN	Vendor
CablemasC9C5	68:94:23:5D:CA:BC	-100	0	11	20	b, g, n	144.4			PSK-(TKIP/COMP)				Hon Hai Precisi
HITRON-CF6D	78:8D:F7:90:CF:68	-100	0	1	20	b, g, n	300		PSK-COMP	PSK-COMP	1.0			Htron Technol
CablemasB3C7	F4:B7:E2:B1:53:69	-100	0	11	20	b, g, n	144.4			PSK-(TKIP/COMP)				Hon Hai Precisi
INFINITUMa958	40:CB:A8:32:79:6C	-97	48	6	20	b, g, n	130		PSK-(TKIP/COMP)	PSK-(TKIP/COMP)	1.0			Huawei Techn
HITRON-A9FD	78:8D:F7:9A:A9:F8	-95	52	11	20	b, g, n	300		PSK-COMP	PSK-COMP	1.0			Htron Technol
wCORONA	20:AA:4B:50:1A:49	-94	54	11	20	b, g, n	144.4		PSK-(TKIP/COMP)	PSK-(TKIP/COMP)				Cisco-Linksys I
TETE	F4:8C:88:F2:1F:D6	-100	0	1	20	b, g	54		PSK-(TKIP/COMP)	PSK-(TKIP/COMP)				TP-LINK TECH
wfi-seq	00:20:A6:8C:5A:10	-100	0	1	20	b, g	54		PSK-TKIP					Prom Wireless
w/visitantes	00:25:69:B9:26:1C	-98	46	1	20	b, g	54		PSK-TKIP	PSK-TKIP				Shenzhen Huar
wfi-seq	00:20:A6:88:98:48	-100	0	1	20	b, g	54		PSK-TKIP					Prom Wireless
INFINITUM525a	64:16:F0:D8:C3:34	-100	0	1	20	b, g	54	SharedKey						Shenzhen Huar
[Hidden]	00:A0:F8:6D:D1:EF	-100	0	9	20	b	11			PSK-COMP				Zebra Technol
[Hidden]	00:A0:F8:6D:D1:EE	-100	0	9	20	b	11		PSK-TKIP	PSK-TKIP				Zebra Technol
[Hidden]	00:A0:F8:6D:5A:B6	-100	0	11	20	b	11		PSK-TKIP	PSK-TKIP				Zebra Technol
[Hidden]	00:A0:F8:6D:5A:B4	-100	0	11	20	b	11		PSK-TKIP	PSK-TKIP				Zebra Technol

Figura 38. Muestras del día 1.

3.4.2 Recorrido día 2

En el segundo día se recorrió la segunda parte que abarca de manera horizontal desde la Av. Insurgentes hasta la Av. Erick Paolo Martínez y de forma vertical desde la Av. Javier Rojo Gómez

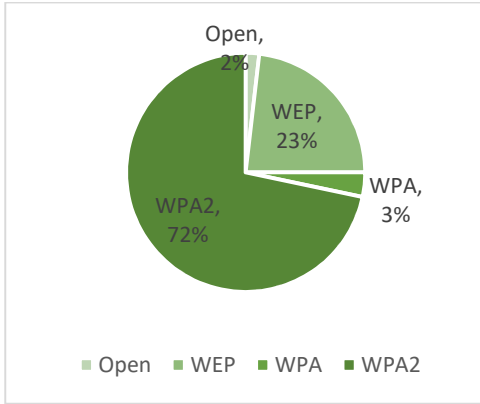


Figura 43. Porcentaje de cifrados.

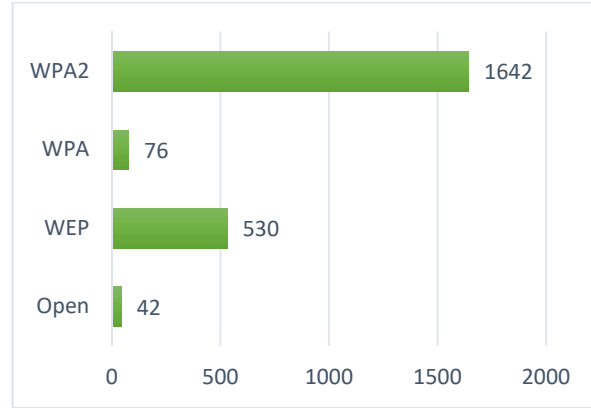


Figura 44. Gráfica de total de cifrados.

4.2 Fabricantes más populares

El fabricante más utilizado en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, es Huawei Technologies que alcanza un total de 488 APs, y con muy poca diferencia le sigue Hon Hai Precision con 439, después en tercer lugar está el fabricante Technicolor con 322 APs, ver Figura 45.

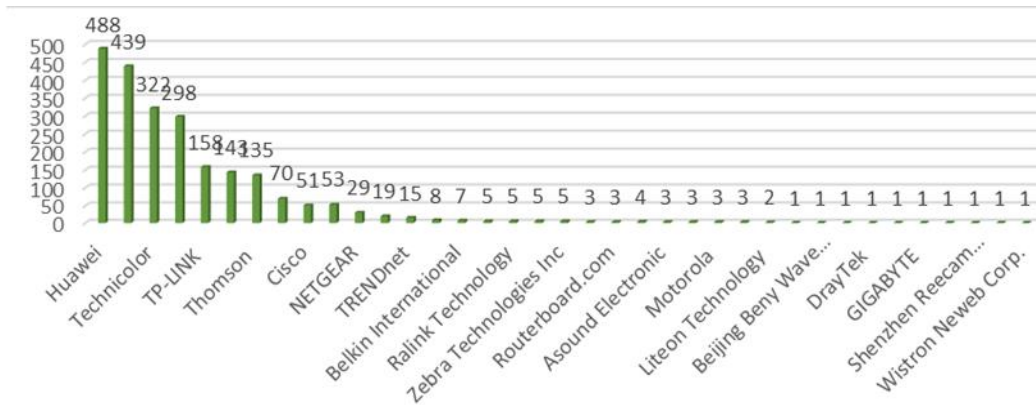


Figura 45. Fabricantes de APs más populares.

4.3 Uso de canales en la banda 2.4 GHz

Los canales más populares en la banda 2.4 GHz resultaron ser 3, los cuales son el canal 11 con un 30%, el canal 1 con un 21% y el canal 6 con un 18%, los otros 10 canales no tienen una gran presencia ya que estos están entre un próximo a 0% y el 6% de uso (Figura 46).

Al ser estos tres canales los más comúnmente utilizados en la zona, se representa un problema más *de funcionalidad* que de seguridad, ya que al tener tantos APs en un mismo canal saturan el espectro de radiofrecuencia llevando a la problemática conocida como *Solapamiento de Canales*.

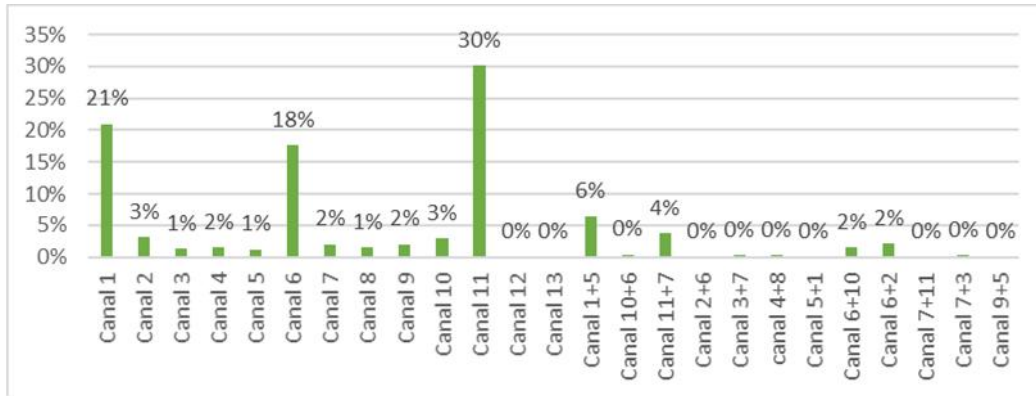


Figura 46. Canales más populares.

4.4 Análisis de fabricante Huawei Technologies

Huawei Technologies es el fabricante de dispositivos APs más popular e instalados en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, por lo que el estado en que se encuentran actualmente es algo preocupante por varios factores. De los 488 APs Huawei, 431 aún conservan su SSID por defecto el cual es INFINITUMXXXX. El dejar el SSID por defecto facilita a hackers, ciberpiratas y cualquier intruso potencial acceder a la red inalámbrica WiFi ya que existen páginas WEB donde se pueden encontrar las claves por defecto de estos APs. Otro factor preocupante fue que el 38% de los APs Huawei hacen uso del cifrado WEP lo que es aún más alarmante dado que WEP es un cifrado obsoleto y nada seguro. Mantener un SSID por defecto pone a la red WiFi potencialmente en peligro, usar un cifrado obsoleto ya es alarmante, ya que esta “seguridad” puede ser violada en menos de 5 minutos incluso con dispositivos inteligentes como lo son los celulares de hoy en día.

4.5 Análisis del fabricante Hon Hai Precision

El estado del segundo fabricante más popular en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo ya no es tan preocupante como el del primero, pero eso no quiere decir que no se encuentre expuesto. Con un total de 439 APs Hon Hai Precision, el 59% de estos APs mantienen su SSID por defecto, que corresponde a los proveedores del servicio CABLEMASXXXX y UBEE. Como se mencionó con anterioridad, el conservar un SSID por defecto pone a la red inalámbrica WiFi potencialmente en peligro ya que las claves para acceder al APs se encuentran documentadas en Internet. Por otro lado, el cifrado que es usado por estos APs es el más confiable hasta el momento, el cual es WPA2 con un uso del 99%, pero si el 59% mantienen el SSID por defecto es muy probable que de igual forma la contraseña sea la que el APs trae por defecto, dejando aún más vulnerable la confiabilidad del punto de acceso.

4.6 Análisis del fabricante Technicolor

El estado de este fabricante en cuanto a mantener un SSID por defecto es muy similar al primero dado que ambos son del mismo proveedor de Internet, TELMEX, con un total de 275 APs de 322, es decir el 85% conserva su SSID por defecto y como se ha venido mencionando en los dos casos anteriores el no cambiar el SSID pone en peligro a la red inalámbrica de ser atacada por personas mal intencionadas. Por otro lado, el cifrado que predomina es WPA2, un cifrado seguro y confiable con un 88%, pero el cifrado WEP aún está presente con un 11%.

4.7 Análisis del estudio y recomendaciones

De acuerdo a los datos obtenidos del análisis de confiabilidad de los APs en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo se proponen las siguientes recomendaciones:

- 1) Uno de los factores más sobresalientes en el tema de confiabilidad de los APs es el SSID, ya que los usuarios domésticos no suelen tomar ninguna medida de seguridad al elegirlo; un porcentaje considerable le asignan nombres propios, de la familia o datos que indican de donde proviene la señal o incluso algo peor: mantienen el SSID por defecto. La manera de evitar errores de confiabilidad en los SSID es que éste no incluya datos que asocien al propietario con el AP, lo ideal sería que el SSID se componga de letras y números sin ningún significado especial. Es una tarea no muy complicada y mejora la confiabilidad del APs.
- 2) Desactivar el broadcast del SSID. El SSID es importante y necesario que éste sea conocido por los usuarios que se quieran conectar a la red, pero no se tiene ninguna ventaja que sea conocido por todos en el vecindario, si se evita que el SSID sea público los usuarios aun podrán conectarse al AP ya que sus equipos están configurados con ese SSID
- 3) Otro factor que pone en riesgo la confiabilidad de los APs son los equipos visitantes, ya que estos pueden contener virus informáticos, spyware, keyloggers, virus troyanos o cualquier otro software malicioso. Por lo tanto, se tiene que evitar que dispositivos terceros se conecten al APs mediante un filtrado MAC y si no es posible, limitar su utilización y asegurarse de que estén bajo control generando redes inalámbricas alternas para que estos dispositivos se conecten.
- 4) Otro punto importante para mantener una buena confiabilidad es el cifrado, aunque durante la recolección de APs se confirmó que WPA2 el cifrado más confiable hasta el momento en el mercado; sin embargo WEP siendo un cifrado inseguro y obsoleto, aún tiene una presencia muy significativa. Para mantener una buena confiabilidad hay que hacer uso del cifrado WPA2.
- 5) Lo que se observó con relación a los canales es que al ser el 1, 6, 11 los más utilizados, generan un problema muy común en las redes WiFi el cual es el solapamiento de canales. La mejor manera de evitar el solapamiento de canales es que una red esté separada de la otra por una diferencia de 5 canales, y en dado caso, de que esa separación no sea posible, utilizar el canal más alejado de la señal más débil.

De acuerdo al estudio realizado mediante el muestreo intencional o de conveniencia, se obtuvieron datos que respaldan ampliamente la idea de que la gran mayoría de estos APs inalámbricos usan el cifrado más seguro hasta el momento, el cual es WPA2 con un porcentaje de 72% equivalente a 1642 APs de 2290 existentes; sin embargo, a pesar de este resultado, en general el estado es preocupante ya que el segundo cifrado más popular es WEP con un porcentaje de 23% equivalente a 530 APs de 2290 el cual se considera obsoleto e inseguro; por lo que denota que a pesar de existir una gran diferencia de uso con respecto a WPA2, una gran población se encuentra en un estado vulnerable y expuesta a ser atacada por hackers, piratas cibernéticos o cualquier otra persona malintencionada.

Por otra parte, los resultados relacionados a los fabricantes de APs, deja claro que el fabricante que predomina en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo es Huawei Technologies y entre los tres fabricantes más populares ocupa el 39% con un total de 488 puntos de acceso. Es decir, existe el 39% de equipos que tienen sus contraseñas documentadas en Internet lo que vulnera y aumenta el riesgo de consulta de información sensible de los usuarios. Utilizando un APs distinto, los usuarios caseros pueden mejorar la confiabilidad considerablemente de sus redes inalámbricas.

De manera adicional, una estrategia de seguridad sería segmentar la red con la finalidad de tener una mejor administración de los dispositivos conectados al AP. Con la creación de redes alternas se podrán separar a dispositivos que se encuentra en el hogar de los dispositivos invitados, impidiendo

riesgos innecesarios tanto para el AP como para los dispositivos del hogar. Así mismo, evitaremos que información privada, o cualquier otro tipo de información, sea visible a terceras personas.

Otro punto importante que se observó durante la investigación, fue que se mantiene la configuración de fábrica de los APs que son entregados el proveedor de Internet, pues al analizar los SSID, se mantiene el SSID por defecto, teniendo 88% de los APs Huawei, 51% de Hon Hai y 85% de los Technicolor.

Con respecto a los canales más utilizados en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo en las AGEB seleccionadas, éstos son el 1, 6 y 11. El problema reside en que, con el enorme crecimiento de los APs, ruteadores, portátiles y teléfonos inteligentes el espectro de radiofrecuencia empieza a estar realmente saturado; en consecuencia, se perjudica seriamente el rendimiento de las redes inalámbricas, puesto que con la gran demanda de las tecnologías WiFi se puede caer en el solapamiento de canales, es decir, que los canales se superponen.

5 CONCLUSIONES

El presente trabajo ha presentado un análisis de los dispositivos APs para un determinado AGEB. El estudio ha permitido conocer la problemática de vulnerabilidad en las redes internas de usuarios domésticos en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo. A través de este análisis se generaron observaciones y recomendaciones que sirven de base para tomar medidas precautorias de seguridad informática. Con los resultados obtenidos se ha elaborado una guía de información para redes inalámbrica en el hogar, que provee con pasos sencillos la configuración de una red, sin necesidad de tener conocimientos avanzados de informática. Lo anterior, con la finalidad de mitigar la problemática de seguridad en redes domésticas de los usuarios.

REFERENCIAS

- [1] C. A. Peña Millahual, «Redes Wifi en entornos de Windows,» *USERS*, p. 192, 2012.
- [2] D. Salvetti, «Redes Wireless,» *Users*, p. 320, 2011.
- [3] SAT, «Medidas de seguridad básicas (III): Seguridad en redes Wifi,» [En línea]. Available: <http://www.fundacionctic.org/sat/articulo-medidas-de-seguridad-basicas-iii-seguridad-en-redes-wifi>. [Último acceso: 2016 enero 12].
- [4] J. G. López, Guía de campo WiFi, México: Alfaomega, 2008, p. 214.
- [5] Acrylic Wifi, «Acrylic Wifi,» 14 diciembre 2014. [En línea]. Available: <https://www.acrylicwifi.com/blog/que-es-wpa-psk-tkip-ccmp/>.
- [6] N. Reid, Manual de redes inalámbricas, México: McGraw-Hill, 2004, p. 384.
- [7] Á. Vieites Gómez, Redes de ordenadores e Internet: Funcionamiento, servicios ofrecidos y alternativas de conexión, México: Alfaomega, 2003.
- [8] J. A. Carballar Falcón, WiFi: Cómo construir una red inalámbrica, México: Alfaomega, 2005.

- [9] A. A. Vladimirov, K. V. Gavrilenko y A. A. Mikhailovsky, Hacking wireless: seguridad de redes inalámbricas, Madrid: Anaya Multimedia, 2005, p. 638.
- [10] OWISAM, «Open Wlreless Security Assessment Methodology,» 27 marzo 2013. [En línea]. Available: <https://www.owisam.org/es/Metodologia>. [Último acceso: 2016 enero 10].
- [11] INEGI, «INEGI,» 7 04 2015. [En línea]. Available: <http://www.inegi.org.mx/>.
- [12] INEGI, «INEGI,» 2010. [En línea]. Available: http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/ageb_urb2010.aspx?c=28111.
- [13] J. Á. R. Villarce, «Tecnicas No-Probabilisticas,» [En línea]. Available: <https://tecnicas-no-probabilisticas.wikispaces.com/Jos%C3%A9+%C3%81ngel+Rojas+Villarce>.