



REVISTA
TECNOLOGÍA
DIGITAL

“Semillero de Investigadores”

ISSN: 2007-9400

“Tecnología para la sociedad”

Índice LatIndex: Folio 23658

www.revistatecnologiadigital.com

Desde 2011

Volumen Número

5 1

Año 2015

CONSEJO EDITORIAL.

Presidente. Dr. Héctor Guerra Crespo.

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
hgcrespo@hotmail.com

Secretario. M.C. Walter Torres Robledo.

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
waltertorres@elgrupo.mx

Editor de forma. M.C. Octario Ariosto Rios Tercero.

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
oarios_oarios@yahoo.com.mx

Editor de forma. M.C. Imelda Valles López.

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
imevalles@yahoo.com.mx

Editor traductor. Dr. Daniel Samayoa Penagos.

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
samadaniel@hotmail.com

Editor traductor. Dra. Magdalena Guerra Crespo.

Instituto de Biotecnología de la UNAM, Cuernavaca Morelos.
magdagmx@hotmail.com

Editor traductor. Dra. María Candelaria Gutiérrez Gómez.

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
magutz_03@hotmail.com

Vocales:

Universidad Gral. Pablo Guardado Chávez. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

M.C. Galdino Belisario Nango Solís. gbnango@hotmail.com

Dr. German Ríos Toledo. german_rios@hotmail.com

Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Dra. Rebeca Garzón Clemente. rebecca_garzon@hotmail.com

Revista Tecnología Digital.

Índice LatIndex: 23658.

ISSN: 2007-9400.

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Carretera Panamericana Km. 1080.

C.P. 29000, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Departamento de Sistemas y Computación.

01-961-6150461 Ext. 319

www.revistatecnologiadigital.com

Editor Responsable.

Editorial Tecnología Didáctica®.

Dr. Héctor Guerra Crespo.

Registro del padrón de editores: 970-94054 de fecha 22-junio-2004.

Palenque 139 Col. ISSSTE, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

C.P. 29060, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

www.tecnologiadidactica.com

COMITÉ DE ARBITRAJE.

Dr. Francisco José Abad Cerdá.

Universidad Politécnica de Valencia, España.

Doctor en Informática, Universidad Politécnica de Valencia.

Dr. Emilio Camahort.

Universidad Politécnica de Valencia, España.

Doctor of Philosophy (PhD), The University of Texas at Austin, Austin, TX, USADr.

Dr. Jorge Luis Camas Anzueto.

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Dr. en Ciencias con especialidad en Óptica, INAOE, Puebla, México.

Dr. Luis Enrique Colmenares Guillen.

Universidad Autónoma de Puebla.

Dr. en Ciencias con especialidad en Sistemas Distribuidos por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Barcelona España.

Dr. Iván Antonio García Pacheco.

Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajuapán de León, Oaxaca.

Doctor en Lenguajes y Sistemas Informáticos e Ingeniería de Software, Facultad de Informática de la Universidad Politécnica de Madrid.

Dr. Enrique Guzmán Ramírez.

Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajuapán de León, Oaxaca.

Doctor en Ciencias de la Computación, Centro de Investigación en Computación, Instituto Politécnico Nacional. México, D.F.

Dr. Alejandro Medina Santiago.

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas,

Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica, Cinvestav-IPN, Unidad México.

Dr. Antonio Orantes Molina.

Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajuapán de León, Oaxaca.

Doctor en Sistemas Automáticos, Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas (INSA), Toulouse, Francia

M.C. Gustavo Alberto Rovelo Ruiz.

Universidad Politécnica de Valencia.

Máster en Inteligencia Artificial. Universidad Politécnica de Valencia, España.

M.C. Eva Valdez Alemán.

Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Estado de México, México.

Maestra en Ciencias de la Educación, Universidad del Valle de México. Campus Lomas Verdes.

Revista Tecnología Digital. Año 5, Volumen 5, Número 1 de 22 de diciembre de 2015 es una publicación anual on-line www.revistatecnologiadigital.com editada por Héctor Guerra Crespo oficinas en Palenque 139 Col. ISSSTE Tuxtla Gutiérrez Chiapas, México C.P. 29060. Teléfono 01-961-1214311, correo-e hgcrespo@hotmail.com Editor responsable: Héctor Guerra Crespo. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2014-022811040300-203 otorgado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. ISSN 2007-9400. Responsable de la última actualización de este número Dr. Héctor Guerra Crespo, Presidente del consejo editorial, Palenque 139 Colonia ISSSTE Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, C.P. 29060, fecha de la última modificación, 22 de diciembre de 2015.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del editor responsable. Índice LatIndex: 23658.

Índice.

	Página.
Aplicación web interactiva para monitoreo, análisis y control de procesos con Arduino y Raspberry.	..... 1
Aproximación de aplicación nutricional deportiva para dispositivos móviles.	..... 21
CaToKi Interfaz gráfica de identificación de sistemas en lazo abierto SISO aplicado a procesos de laboratorio.	..... 31
Control de velocidad difuso aplicado a una mezcladora de pinturas.	..... 45
Fuente de corriente estabilizada para láseres semiconductores con monitoreo de potencia óptica salida.	..... 57
Interfaz inalámbrica de apoyo a personas con debilidad auditiva, mediante SMS.	..... 69
Mapa turístico geo-referenciado de la región Zoque-tsotsil, Estado de Chiapas, México. Producción fotográfica y generación de contenido como estrategia de difusión de sitios turísticos locales.	..... 83
Método gráfico para la validación de identidad humana en usuarios de la web.	..... 93
Metodología para determinar la topología, patrones de parámetros eléctricos y entrenamiento de una Red Neuronal Artificial para un control inteligente.	..... 103
Modelo Neuro-difuso para el control de temperatura ambiental y humedad del suelo para cultivar el insecto NIIJ (Llaveia Axin).	..... 115
Prototipo optomecatrónico para medir índice de refracción utilizando ley de Snell.	..... 129



Aplicación web interactiva para monitoreo, análisis y control de procesos con Arduino y Raspberry.

Web application for monitoring, analysis and control of processes with Arduino and Raspberry.

Rubén Herrera Galicia (1).
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
h_galicia24@hotmail.com.

Raúl Moreno Rincón (2), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, rmoreno@ittg.edu.mx

Manuel de Jesús Hernández Gutiérrez (3), egresado I.T. de Tuxtla Gutiérrez, memeghz92@outlook.com

Miriam Roxana Vázquez Flores (4), estudiante Instituto Politécnico Nacional, miriamroxana26@gmail.com

Tania Berenice Palacios Molina (5), estudiante Instituto Politécnico Nacional, pamtani_28@hotmail.com

Artículo recibido en junio 23, 2015; aceptado en octubre 14, 2015.

Resumen.

El trabajo aquí presentado está enfocado a describir los avances en el desarrollo de una aplicación web interactiva que permite monitorear, analizar y controlar, con placas de desarrollo Arduino, Raspberry y un dispositivo móvil, a un sistema automatizado. El problema se aborda de manera genérica para que la solución defina las bases para ser aplicada a distintos procesos de monitoreo, análisis, y control. Derivado de ello se describe un sistema genérico que para la demostración de su utilidad se aplicó al monitoreo del voltaje y la corriente, y el control de las cargas activadas en una casa residencial con fines de ahorro energético.

Palabras clave: Arduino, Control de Procesos, Aplicación web interactiva, Raspberry.

Abstract.

The paper presented here focuses on describing the advances in the development of an interactive web application for analyzing monitoring and controlling based on Arduino, Raspberry Boards and a mobile device. The problem is approached in general form for defining a basic solution to be applied to different monitoring analyzing and controlling processes. Resulting therefrom it was developed a general system that to demonstrate his utility was applied to monitoring voltage and current, and active load control for energy saving in homes.

Keywords: Arduino, Processes Control, Interactive web application, Raspberry.

1. Introducción.

Redes Ethernet.- Hay un alto potencial para las aplicaciones enfocadas a mejorar la operatividad y la sustentabilidad. Y existe un creciente interés por aplicaciones que integren sensores y actuadores con las técnicas de redes. Las aplicaciones básicas son de automatización y detección de fallas. Los trabajos innovadores son de; monitoreo, análisis de la calidad de la energía, regulación de la respuesta a la demanda eléctrica, integración de fuentes renovables, y ahorro de energía.

Mihaela Albu *et al.* (Albu et al., 2010) desarrollaron un sistema de monitoreo de una micro red de corriente directa para transferencia de energía, incluyendo mediciones y comunicación, realizando una aplicación segura y de control intuitivo que no requiere software instalado en la computadora del cliente, excepto por un explorador web. Se combinó el uso de bases de datos de código abierto y la versatilidad del código PHP. La micro red está comunicada con el controlador a través de Ethernet y el protocolo de comunicación es TCP/IP. El ingreso de comandos por un usuario remoto es de forma indirecta a través de una página web alojada en el servidor.

Ilche Georgievski *et al.* (Georgievski et al., 2012) implementaron un sistema de control y monitoreo del consumo de energía eléctrica basado en redes inteligentes para edificios. El sistema realiza una esquematización de la activación de dispositivos, con el objeto de que la menor cantidad de dispositivos sean activados al mismo tiempo. Además toma en cuenta el momento en el cual el costo de la energía eléctrica es menor para realizar dicha activación, traduciéndose esto en optimización de costos. El sistema ha sido puesto a prueba solamente mediante prototipos.

Kelly Sean Dieter Tebje *et al.* (Tebje et al., 2013) desarrollaron un sistema para monitorear y controlar el consumo de energía en una casa. Las operaciones principales son el manejo remoto y control de cargas, de una lámpara eléctrica o un calentador de agua. El sistema proporciona inteligencia ambiental para reducir el consumo de energía a través de la tecnología del Internet de las cosas. El servidor del sistema recopila la información enviada por los sensores y la almacena en una base de datos. Una vez que el usuario lo solicita, la información es procesada y mostrada vía Website. La información es presentada en periodos de días, semanas y meses y también puede ser observada gráficamente.

He Dawei *et al.* (Dawei et al., 2013) crearon un sistema de monitoreo no intrusivo, el cual es un sistema que divide diferentes tipos de dispositivos en dos categorías. El grupo uno está formado por dispositivos que demandan una alta carga para funcionar (bombas de agua, aire acondicionado), mientras que el grupo dos está formado por dispositivos que demandan una carga menor (TV, cafeteras, impresoras). Lo que hace este sistema es monitorear y controlar la activación y desactivación de los dispositivos dependiendo del grupo al que pertenecen, dando prioridad a los dispositivos del grupo dos para no ser desactivados. La prioridad se basa en que la desactivación de dispositivos del grupo dos tiene mayor probabilidad de causar inconformidad al usuario. Se han hecho investigaciones del uso del sistema, pero aún se tienen retos por superar.

Han Jinsoo *et al.* (Jinsoo et al., 2014) diseñaron un sistema inteligente para el manejo de energía en el hogar considerando el consumo de energía y la generación. Para esto usaron un medidor inteligente que mide el consumo de energía de los aparatos eléctricos de la casa. La información de la medición es enviada hacia un servidor web, para ser visualizada en la red. El protocolo de comunicación es zigbee. La generación de la energía que requieren los aparatos eléctricos se controla con un PLC. Para la generación de energía eléctrica, se usa la energía solar y la energía del viento.

Ricardo Torquato *et al.* (Torquato et al., 2014) propusieron una plataforma de simulación Monte Carlo para estudiar redes residenciales de baja tensión. El sistema se basa en dos componentes. El primero es un modelo de red de múltiples fases con flujo de potencia armónica. El segundo es un modelo que establece las características de operación de una carga a través del comportamiento de varias curvas. Lo que hace la plataforma es un monitoreo de distintos dispositivos durante 24 horas y posteriormente hace un análisis de las curvas de consumo energético usando la técnica de simulación Monte Carlo.

Michael Lorek *et al.* (Lorek et al., 2014) diseñaron un sensor para mediciones de potencia eléctrica en edificios. En este sistema una placa de desarrollo Raspberry Pi funciona como una estación base para recolectar la información de los dispositivos instalados en el panel. Las mediciones son cercanas a los valores ideales y el sistema mejora drásticamente las estimaciones reales de potencia.

Jianli Pan *et al.* (Pan et al., 2014) presentan un estudio de la investigación y el estado de la técnica en edificios y microrredes inteligentes. El estudio es una perspectiva acerca del Internet móvil y la eficiencia energética. Se analizan los métodos de tratamiento de edificios y microrredes aplicando tecnologías de red y de control que permiten reducir el uso innecesario de energía. Se hace énfasis en que la medición inteligente, en interacción con las redes

inteligentes, es útil para calcular la respuesta a la demanda. Tal interacción ofrece información de precios en tiempo real y ayuda a los administradores a ejecutar acciones para reducir el uso de energía durante las horas pico.

Suryadevara Nagender Kumar *et al.* (Kumar et al., 2015) desarrollaron un sistema inteligente de control y monitoreo en tiempo real para calcular el consumo de energía eléctrica en una casa. El sistema monitorea el voltaje y la corriente para calcular la energía consumida. El protocolo de comunicaciones es zigbee. La información recibida es almacenada en una base de datos. Se visualizan los valores de voltaje, corriente y energía en una página web. El objetivo es determinar los niveles de uso de electricidad en las horas pico para bajar el consumo de energía y mejorar su utilización.

Vivekananthan Cynthujah *et al.* (Cynthujah et al., 2015) propusieron un algoritmo para un administrador de energía en el hogar que en los cálculos usa precios en tiempo real. El objetivo del administrador es reducir el pago por concepto del consumo de energía. La primera fase del algoritmo es el monitoreo en tiempo real de los estados de los dispositivos controlables. En la segunda fase de programación se usan procesos de decisión de Markov para reducir el uso de electrodomésticos basado en el comportamiento estocástico del costo del consumo. La fase de control en tiempo real incorpora las incertidumbres de los precios y el perfil del consumo del dispositivo para ayudar a la optimización del costo del consumo eléctrico.

Objetivo general.- Diseñar e implementar una aplicación para una red inteligente comunicada vía Ethernet que permita monitorear, analizar y controlar, con placas de desarrollo Arduino, Raspberry y un dispositivo móvil, a un sistema automatizado. Para la demostración de la utilidad del sistema desarrollado se aplica este al monitoreo del voltaje y la corriente, y el control de las cargas activadas en una casa residencial con fines de ahorro energético.

2. Métodos.

Lo que en el presente trabajo se hace es combinar *Raspberry Pi* con *Arduino Ethernet* asignando el control del hardware a *Arduino* y utilizando a *Raspberry Pi* como un servidor para alojar a la aplicación web principal que incluye los enlaces a las páginas web de control alojadas en las placas *Arduino Ethernet*. La forma física de comunicación entre ambos dispositivos es a través de *Ethernet*. Para el diseño de las páginas web se usa HTML, CSS y PHP.

HTML define la forma y el contenido de la página web. CSS define la presentación y el estilo. PHP es un lenguaje de código abierto adecuado para el desarrollo de páginas web. Las paginas HTML con PHP incrustado ocupan menos código que las páginas HTML.

Con PHP no hay manera de que los usuarios conozcan el código ejecutado. PHP es *Javascript*, por tanto es ejecutado en el servidor generando HTML. El servidor web se configura para procesar los archivos HTML con PHP y el código generado es enviado al cliente. El cliente recibe el resultado de ejecutar el *script*, pero desconoce el código subyacente.

JavaScript.- Es el lenguaje de programación de los buscadores de páginas web, define los aspectos dinámicos y de comportamiento de una página web, altera el contenido de un documento, responde a las interacciones del usuario, y recibe y presenta información de manera remota. Para introducir aspectos dinámicos a una página web se usan las bibliotecas *Jquery*, *Ajax* y *Highcharts*.

JQuery.- Es una librería de componentes y funciones *JavaScript* desarrollada por John Resig. *JQuery* accede a los elementos de una página web, altera el contenido, modifica la apariencia, responde a interacciones del usuario, anima cambios, simplifica las tareas de *JavaScript*, y actualiza una página con valores de un servidor a través de intercambio asíncrono de información con XMLHttpRequest del conjunto de tecnologías *Ajax*.

Highcharts.- Es una biblioteca en lenguaje JavaScript. Esta biblioteca se usa para agregar gráficas interactivas a una página web. Las gráficas que soporta son de tipo líneal, áreas, y columnas. Highcharts modifica los ejes en tiempo

real y en combinación con *jQuery* y *Ajax* presenta gráficas en constante actualización con los valores del servidor, y los datos suministrados por el usuario. [http:// www.highcharts.com /products /highcharts](http://www.highcharts.com/products/highcharts).

Highcharts funciona sin clientes secundarios y requiere solo dos archivos: el núcleo *highcharts.js* y *jQuery* o *Ajax*. El ajuste de las opciones de configuración se hace a través de una estructura de notación de objetos JavaScript.

Manejo de bases de datos.- SQL se usa para el control de bases de datos, MySQL se usa para acceder a la base de datos desde un buscador, PHPMyAdmin se usa para la administración de bases de datos a través de Ethernet.

SQL.- Es el lenguaje estándar ANSI/ISO de control de bases de datos relacionales. SQL es un lenguaje capaz de acceder a cualquier sistema relacional comercial. Por ser un lenguaje declarativo, es suficiente indicar qué se quiere hacer. En cambio, en los lenguajes procedimentales es necesario especificar cómo se debe hacer la acción.

Las operaciones de SQL reciben el nombre de sentencias y están formadas por partes denominadas cláusulas. Trabajar con un lenguaje de programación anfitrión para dar soporte a SQL como si fuese un huésped se conoce con el nombre de SQL hospedado. Para esto se requiere un compilador que separe las sentencias del lenguaje de programación de las sentencias SQL.

MYSQL.- Es una herramienta básica para diseñar y programar bases de datos de tipo relacional. Cuenta con múltiples aplicaciones y aparece en la literatura como una de las más utilizadas por usuarios del medio. MySQL se usa como servidor al cual pueden conectarse múltiples usuarios y utilizarlo al mismo tiempo.

MySQL permite recurrir a bases de datos multiusuario a través de un buscador web y en diferentes lenguajes de programación que se adaptan a diferentes necesidades y requerimientos. MySQL es conocida por desarrollar alta velocidad en la búsqueda de datos e información.

PhpMyadmin.- Es una herramienta de software libre escrito en PHP que permite administrar MySQL a través de Internet. PhpMyAdmin es utilizado en operaciones de gestión de bases de datos. PhpMyAdmin se puede incorporar a través de una interfaz de usuario manteniendo la capacidad de ejecutar cualquier sentencia SQL. [http:// www.phpmyadmin.net/home_page/index.php](http://www.phpmyadmin.net/home_page/index.php).

Placas.- Raspberry Pi es una PC en miniatura. La PC ha sido desarrollada por la Fundación Raspberry Pi de Reino Unido con el objetivo de estimular la enseñanza de la informática básica en las escuelas. La tarjeta de desarrollo Raspberry Pi trabaja a una frecuencia de reloj 40 veces más rápida que Arduino uno. Además, Raspberry Pi tiene 128,000 veces más memoria RAM.

Raspberry Pi es una computadora que ejecuta un sistema operativo basado en Linux, soporta trabajo multitarea, incluye dos puertos USB y soporta conexión a Internet. Raspberry Pi es una computadora suficientemente potente, pero no lo suficiente para competir con una PC normal. Su principal desventaja es la lentitud en el manejo de imágenes. Pero es comprensible, pues carece de recursos significativos para el procesamiento de imágenes.

Arduino uno y Raspberry Pi son parecidas y es posible que se asuma que estas plataformas compiten por resolver problemas similares. Raspberry Pi es una computadora, que corre múltiples programas e incluso se programa con ella. Mientras que Arduino uno es un microcontrolador que corre solamente un programa, el que tenga cargado en su memoria.

Arduino uno es programado con aplicaciones basadas en C, pero no ejecuta un sistema operativo y no puede ser el sustituto de una computadora. Raspberry Pi es una plataforma apta para el desarrollo de aplicaciones domóticas y de control. Sin embargo, tiene un número limitado de entradas y salidas disponibles.

Raspberry Pi es superior a Arduino uno, pero solamente para cierto tipo de aplicaciones de software. La simplicidad de Arduino uno hace que éste sea una mejor opción para proyectos de hardware con tareas repetitivas de control. Arduino uno y Raspberry Pi son productos que se pueden combinar, y juntos pueden colaborar y ampliar el rango de posibilidades de una placa sola.

Metodología.- En la figura 1 se muestra un diagrama a bloques del sistema. Los sensores están conectados a una placa de desarrollo Arduino Ethernet, ver Fig. 2. El Arduino Ethernet número uno se encarga de adquirir las mediciones y enviarlas al Raspberry Pi vía Ethernet. La placa de Arduino Ethernet hace las mediciones, agrupa a los datos y los envía por paquetes al Raspberry Pi.

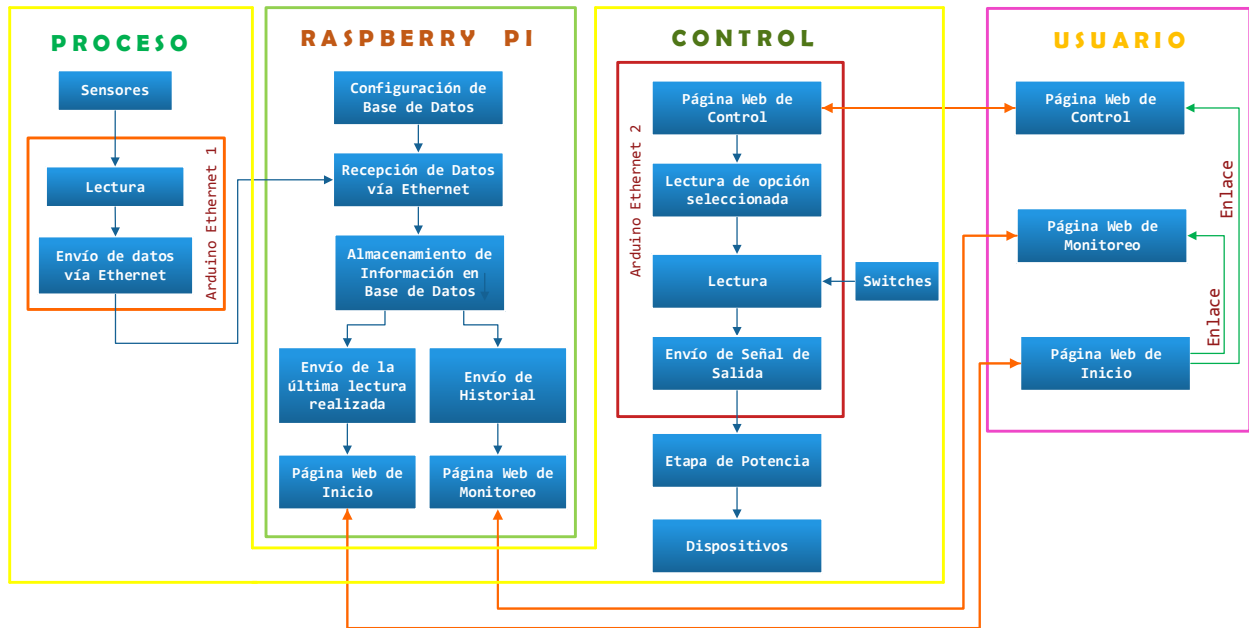


Figura 1. Diagrama a bloques; sistema de monitoreo y control.

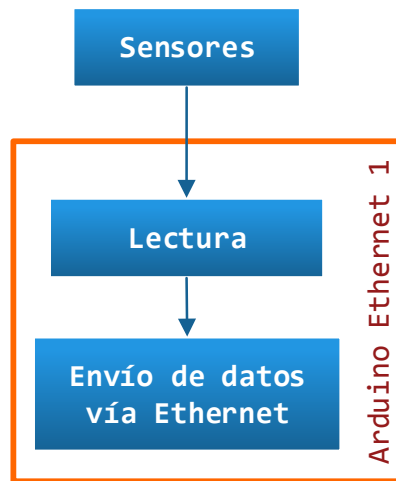


Figura 2. Diagrama a bloques; etapa de medición.

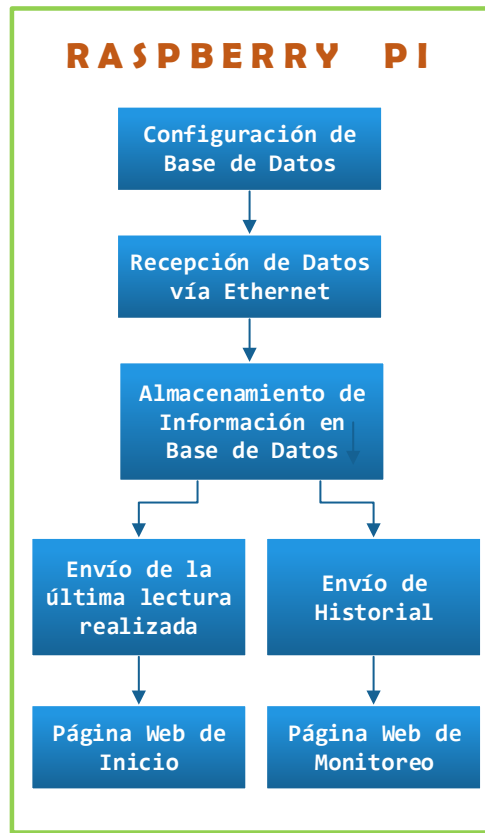


Figura 3. Diagrama a bloques; funciones del Raspberry Pi.

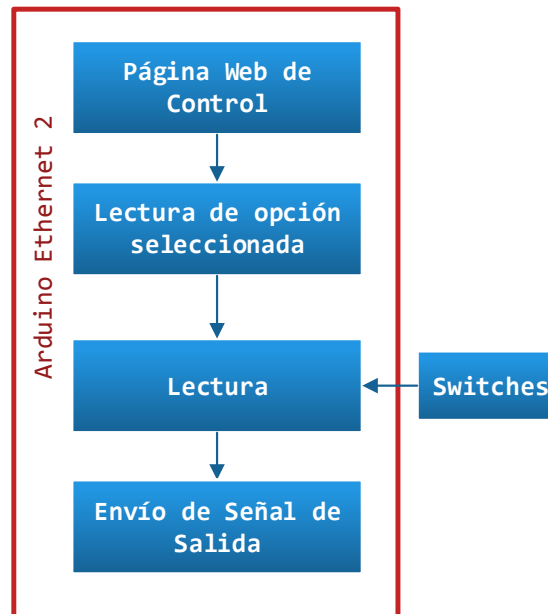


Figura 4. Diagrama a bloques; funciones del Arduino Ethernet dos.

El Raspberry Pi desempeña múltiples funciones, ver figuras 1 y 3; recibe los datos enviados por el Arduino Ethernet número uno correspondientes a las mediciones hechas con los sensores, desempeña la función de servidor web que muestra en la página web de inicio el valor de las últimas mediciones recibidas, mantiene actualizada a la base de datos, muestra el enlace para acceder a la página web de control, y aloja a la página web que permite al usuario observar el historial de los datos.

El Arduino Ethernet número dos se encarga de las tareas de control, ver figuras 1 y 4. Para ello aloja en su memoria una página web de control que permite al usuario seleccionar y transferir vía Ethernet los valores de referencia para el control. El usuario accede a la página web de control desde un enlace incluido en la página web de inicio, alojada en el Raspberry Pi. Además, el Arduino Ethernet dos se encarga de activar a los actuadores, cuando así se requiera.

El usuario intercambia información a través de las páginas web alojadas en el Raspberry Pi y en el Arduino Ethernet dos. Raspberry Pi actúa como cliente cuando recibe la última lectura de los sensores y actúa como servidor cuando muestra al usuario la última lectura de los sensores, o el historial de datos. El Arduino Ethernet dos actúa como cliente cuando recibe del usuario los valores de referencia y actúa como servidor cuando le muestra el estado de las variables de control.

3. Desarrollo.

Se implementaron los programas para las tareas presentadas en la figura 1. El código del programa cargado en Arduino Ethernet número uno se llama *Casa Inteligente Monitoreo*. El programa realiza la función de tomar las lecturas de los sensores y enviar dichos valores vía Ethernet mediante el método GET, ver código 1. El Raspberry Pi se encarga de recibir los datos de las mediciones con el programa *tabla.php*.

Código 1; Casa Inteligente Monitoreo. Envío de mediciones al servidor por el método GET.

```

Serial.println("connecting...");
if (client.connect(server,80)>0) {
    //Envío de los valores de los sensores al archivo tabla.php
    client.print("GET /Casa_Inteligente/tabla.php?temperatura="); client.print(tc);
    client.print("&rpm="); client.print(rpm);
    client.print("&voltaje="); client.print(supplyVoltage);
    client.print("&corriente="); client.print(Irms);
    client.println(" HTTP/1.0"); client.println("User-Agent: Arduino 1.0");
    client.println(); Serial.println("Conectado"); }
else Serial.print("fallo de conexion... ");
if (!client.connected()) Serial.println("desconectado!");
client.stop(); //Detener comunicacion
client.flush();

```

Tabla.php.- Este programa adquiere los valores de los sensores que son enviados por el Arduino Ethernet uno mediante el método GET y los inserta a la base de datos, llamada Tabla uno. Para acceder a la base de datos es necesario dar los permisos necesarios, importando el archivo de configuración *config.php* al programa *tabla.php*, ver código 2.

Config.php.- Este código se encarga de realizar la configuración de la base de datos, para lo cual es necesario declarar cuál es el usuario y contraseña de ingreso desde phpMyAdmin, así como el nombre de la base de datos, ver código 3.

Index.php.- Mediante este código se crea la página web de inicio y se incluye la programación para la adquisición de los valores medidos con los sensores. Así como la presentación de la fecha y la hora correspondientes. También en

este código se incluye la programación necesaria para la creación de los dos enlaces que permiten al usuario acceder a la página web de control y a la ventana de la presentación gráfica del historial, ver código 4.

Link.html.- Este código se encarga de implementar el enlace necesario para acceder a la página web de control, ver código 5. **Grafica.php.-** Se encarga de obtener las lecturas almacenadas en la base de datos y hacer una presentación gráfica del historial, ver código 6.

Casa_Inteligente_Control.- Este programa es el código cargado en Arduino Ethernet dos; se encarga de mostrar en un buscador la página web de control al recibir la petición HTTP, realiza la lectura de la opción seleccionada por el usuario, realiza la lectura de los interruptores activados, y finalmente realiza las comparaciones de los distintos casos para determinar la acción a realizar con los dispositivos, ver código 7.

Código 2; tabla.php. Leer los valores que llegan por GET.

```
<?php
    require("config.php");
    $temperatura = mysqli_real_escape_string($con,$_GET['temperatura']);
    $rpm = mysqli_real_escape_string($con,$_GET['rpm']);
    $voltaje = mysqli_real_escape_string($con,$_GET['voltaje']);
    $corriente = mysqli_real_escape_string($con,$_GET['corriente']);
    //Incertar los valores en Tabla1
    $query="INSERT INTO Tabla1(temperatura,RPM,voltaje,corriente)
    VALUES('".$temperatura."','".$rpm."','".$voltaje."','".$corriente."");
    mysqli_query($con,$query); //se ejecuta la instrucción
    mysqli_close($con);    ?>
```

Código 3; config.php. Configuración de la base de datos.

```
<?php
$dbhost = "localhost";
$dbuser = "root";
$dbpass = "hidrocentral";
$dbname = "Mecatronica";
$con = mysqli_connect($dbhost,$dbuser,$dbpass,$dbname);    ?>
```

Código 4; index.php. Aplicación web interactiva.

```
<HTML><head>
<META HTTP-EQUIV = "REFRESH" CONTENT="60;URL= ../Casa_Inteligente/index.php">
<!--[if lt IE 9]>
    <script src="http://html5shim.googlecode.com/svn/trunk/html5.js"></script>
<![endif]-->
    <link rel="stylesheet" href="monitoreo/estilos.css">
    <link rel="stylesheet" href="monitoreo/jquery.ui.all.css">
    <script src="monitoreo/jquery-1.7.2.js"></script>
    <script src="monitoreo/jquery-ui.min.js"></script>
    <script src="monitoreo/jquery.ui.touch-punch.min.js"></script>
</head><body><title>Sistema de Monitoreo de una Casa Inteligente</title>
<div class="container"><?php
function conectarBD(){
    $server = "localhost";
    $usuario = "root";
```

```

$pass = "hidrocentral";
$BDB = "Mecatronica";
//variable que guarda la conexión de la base de datos
$conexion = mysqli_connect($server, $usuario, $pass, $BDB);
//Comprobación que la conexión ha tenido éxito
if(!$conexion){
    echo 'Ha sucedido un error inesperado en la conexión de la base de datos<br>'; }
//devolvemos el objeto de conexión para usarlo en las consultas
return $conexion; }
/*Desconectar la conexión a la base de datos*/
function desconectarBD($conexion){
//Cierra la conexión y guarda el estado de la operación en una variable
$close = mysqli_close($conexion);
//Comprobación que se ha cerrado la conexión correctamente
if(!$close){
    echo 'Ha sucedido un error inesperado en la desconexión de la base de datos<br>'; }
//devuelve el estado del cierre de conexión
return $close; }
//Devuelve un array multidimensional con el resultado de la consulta
function getArraySQL($sql){
//Creamos la conexión
$conexion = conectarBD();
//generamos la consulta
if(!$result = mysqli_query($conexion, $sql)) die();
$rawdata = array();
//guarda en un array multidimensional todos los datos de la consulta
$i=0;
while($row = mysqli_fetch_array($result)) {
//guarda en rawdata todos los vectores/filas que devuelve la consulta
    $rawdata[$i] = $row;
    $i++; } //Cerramos la base de datos
desconectarBD($conexion); //devolvemos rawdata
return $rawdata; } //Sentencia SQL
$sql = "SELECT temperatura,RPM,voltaje,corriente,tiempo from Tabla1 ORDER BY id DESC Limit 1;";
//Array Multidimensional
$rawdata = getArraySQL($sql); ?>
<div class="demo">
<h1 id="container">
<h1 align="right">  BIENVENIDO <align="center"></h1>
<p align="center" class="ui-state-default ui-corner-all ui-helper-clearfix" style="padding:10px;">
    <b><font size=5> SISTEMA DE MONITOREO DE UNA CASA INTELIGENTE</font></b>
</p><body bgcolor="#BDBDBD" text="#0101DF">
<table align="center" cellspacing="10" cellpadding="10" >
<tr><br><br><br><table align="left" cellspacing="20" cellpadding="10"><tr>
<td align="center"><b><font size=5>Temperatura Actual:</font></b> <h3><font color=orange> <?php for($i = 0
;$i<count($rawdata);$i++){ ?> <?php echo $rawdata[$i]["temperatura"];?> <?php } ?> </font></h3> </td>
<td align="center"><b><font size=5> Revoluciones por minuto:</font></b> <h3><font color=orange> <?php for($i = 0
;$i<count($rawdata);$i++){ ?> <?php echo $rawdata[$i]["RPM"];?> <?php } ?> </font></h3></td>
</tr><IMG SRC="Casa.png" width=380 height=280 align="left">
<tr>
<td align="center"><b><font size=5> Voltaje (V):</font></b> <h3><font color=orange><?php for($i = 0 ;$i<count($rawdata);$i++){ ?>
<?php echo $rawdata[$i]["voltaje"];?> <?php } ?> </font></h3></td>
<td align="center"><b><font size=5> Corriente(A):</font></b> <h3><font color=orange><?php for($i = 0 ;$i<count($rawdata);$i++){
?> <?php echo $rawdata[$i]["corriente"];?> <?php } ?> </font></h3></td>
</tr></table>
<font size=4 color='blue' > <form method="get" name="prf"
action="http://192.168.0.105"
target="_blank"
<input type="hidde" name="proxy"
value="random" /><br><br><br><br><br><br> <tr>
<div align="center"><b><input type="submit" style="width:8cm" value="Modificar Número de Dispositivos
Disponibles"></b></div></form>
<br><br><br><br><br><br>
<h3 align="right"><font size=4 color=green> Hora de lectura: <?php for($i = 0 ;$i<count($rawdata);$i++){ ?> <?php echo
$rawdata[$i]["tiempo"];?> <?php } ?> </h3></div>
<a href="..Casa_Inteligente/grafica.php" onclick="window.open(this.href);return false;">Ver Historial</a>

```

```
</html>
```

Código 5; link.php. Enlace a la página web de control.

```
<HTML><A href="Led_On_Off.php" >
<BR><P><FONT SIZE=3.5 FACE=ARIAL BLACK COLOR=RED><B>
MODIFICAR OPCIONES DE CONTROL<BR></B></FONT></A></HTML>
```

Código 6; grafica.php. Presentación grafica del historial.

```
<?php
function conectarBD(){
    $server = "localhost";
    $usuario = "root";
    $pass = "hidrocentral";
    $BD = "Mecatronica";
        //variable que guarda la conexión de la base de datos
    $conexion = mysqli_connect($server, $usuario, $pass, $BD);
    //Comprobación que la conexión ha tenido éxito
    if(!$conexion){
        echo 'Ha sucedido un error inesperado en la conexión de la base de datos<br>'; }
        //devolvemos el objeto de conexión para usarlo en las consultas
    return $conexion; }
        /*Desconectar la conexión a la base de datos*/
function desconectarBD($conexion){
    //Cierra la conexión y guarda el estado de la operación en una variable
    $close = mysqli_close($conexion);
    //Comprobación que se ha cerrado la conexión correctamente
    if(!$close){
        echo 'Ha sucedido un error inesperado en la desconexión de la base de datos<br>'; }
        //devuelve el estado del cierre de conexión
    return $close; }
        //Devuelve un array multidimensional con el resultado de la consulta
function getArraySQL($sql){
    //Implementar la conexión
    $conexion = conectarBD(); //generar la consulta
    if(!$result = mysqli_query($conexion, $sql)) die();
    $rawdata = array();
        //guardar en un array multidimensional los datos de la consulta
    $i=0;
    while($row = mysqli_fetch_array($result)) {
        //guarda en rawdata los vectores/filas que devuelve la consulta
        $rawdata[$i] = $row;
        $i++; } //Cierra la base de datos
    desconectarBD($conexion); //devuelve rawdata
    return $rawdata; } //Sentencia SQL
$sql = "SELECT temperatura,RPM,corriente,tiempo from Tabla1.";
        //Array Multidimensional
    $rawdata = getArraySQL($sql); //Adaptar el tiempo
for($i=0;$i<count($rawdata);$i++){
    $time = $rawdata[$i]["tiempo"];
    $date = new DateTime($time);
    $rawdata[$i]["tiempo"]=$date->getTimestamp()*1000; } ?>
<HTML><head><meta charset="utf-8">
<title>Grafica de Monitoreo</title>
<!-- Latest compiled and minified JavaScript -->
<script src="https://code.jquery.com/jquery.js"></script>
<!-- Importo el archivo Javascript de Highcharts directamente desde su servidor -->
<script src="http://code.highcharts.com/stock/highstock.js"></script>
<script src="http://code.highcharts.com/modules/exporting.js"></script>
```

```

<script type='text/javascript'>
$(function () {
  $(document).ready(function() {
    Highcharts.setOptions({
      global: {
        useUTC: false
      }
    });
    $('#container').highcharts('StockChart', {
      chart: {
        type: 'spline',
        animation: Highcharts.svg, // don't animate in old IE
        marginRight: 10,
        events: {
        },
        scrollbar: {
          barBackgroundColor: 'white',
          barBorderRadius: 7,
          barBorderWidth: 0,
          buttonBackgroundColor: 'gray',
          buttonBorderWidth: 0,
          buttonArrowColor: 'white',
          buttonBorderRadius: 7,
          rifleColor: 'gray',
          trackBackgroundColor: 'gray',
          trackBorderWidth: 1,
          trackArrowColor: 'black',
          trackBorderRadius: 7
        },
        navigator: {
          maskInside: false,
        },
        handles: {
          backgroundColor: 'gray',
          borderColor: 'white'
        },
        plotOptions: {
          series: {
            allowPointSelect: true
          }
        },
        rangeSelector: {
          selected: 1
        },
        title: {
          text: 'Grafica de Monitoreo'
        },
        xAxis: {
          type: 'datetime',
          tickPixelInterval: 150
        },
        legend: {
          enabled: true
        },
        exporting: {
          enabled: true
        },
        series: [{
          name: 'Temperatura (oC)',
          data: (function() {
            var data = [];
            <?php for($i = 0;$i<count($rawdata);$i++){
              data.push([<?php echo $rawdata[$i]["tiempo"];?>,<?php echo $rawdata[$i]["temperatura"];?>]);
            <?php }?> return data;
          })()
        },{
          name: 'Velocidad (RPM)',
          data: (function() {
            var data = [];
            <?php for($i = 0;$i<count($rawdata);$i++){
              data.push([<?php echo $rawdata[$i]["tiempo"];?>,<?php echo $rawdata[$i]["RPM"];?>]);
            <?php }?> return data;
          })()
        },{
          name: 'Voltaje (V)',
          data: (function() {
            var data = [];
            <?php for($i = 0;$i<count($rawdata);$i++){
              data.push([<?php echo $rawdata[$i]["tiempo"];?>,<?php echo $rawdata[$i]["voltaje"];?>]);
            <?php }?> return data;
          })()
        },{
          name: 'Corriente (A)',
          data: (function() {
            var data = [];
            <?php for($i = 0;$i<count($rawdata);$i++){
              data.push([<?php echo $rawdata[$i]["tiempo"];?>,<?php echo $rawdata[$i]["corriente"];?>]);
            <?php }?> return data;
          })()
        }
      ]
    });
  });
}
</script> </head>
<BODY><BR><BR><BR><BR><BR><div id="container"></div></html>

```

Código 7; Casa_Inteligente_Control. Página web de control en Arduino Ethernet dos.

```

#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
#include "EmonLib.h"

```

```

byte mac[]={0xDE,0xAD,0xBE,0xEF,0xFF,0xEE};
IPAddress ip(192,168,0,105);
EthernetServer servidor(80);
int out1=3; int out2=5; int out3=6; int out4=7;
String readString=String(30);
String switches,sw1,sw2,sw3,sw4,buffer;
int B; //Bandera
void setup() { Serial.begin(9600);
  Ethernet.begin(mac, ip); servidor.begin();
  pinMode(out1,OUTPUT); pinMode(out2,OUTPUT);
  pinMode(out3,OUTPUT); pinMode(out4,OUTPUT); }
void loop() { //Lectura de los estados de los interruptores
while(Serial.available()) {
  if(Serial.available()) {
    char d=Serial.read();
    switches += d;
    if (d==' ') {
      Serial.println(switches);
      if(switches.length() //Separación de la cadena obtenida
      { sw1=switches.substring(2,3); //Switch 1
        sw2=switches.substring(3,4); //Switch 2
        sw3=switches.substring(4,5); //Switch 3
        sw4=switches.substring(5,6); //Bomba }
      switches=""; } } }
//Conversion de String a Entero
char buf[sw1.length()];
sw1.toCharArray(buf,sw1.length()+1);
int sw1I=atoi(buf);
char buf2[sw2.length()];
sw2.toCharArray(buf2,sw2.length()+1);
int sw2I=atoi(buf2);
char buf3[sw3.length()];
sw3.toCharArray(buf3,sw3.length()+1);
int sw3I=atoi(buf3);
char buf4[sw4.length()];
sw4.toCharArray(buf4,sw4.length()+1);
int sw4I=atoi(buf4);
//Declaración del cliente
EthernetClient cliente= servidor.available();
if(cliente) {
  boolean lineaenblanco=true;
//Cliente conectado
//Leer petición HTTP carácter a carácter
//Almacenar los caracteres en la variable readString
while(cliente.connected()) { //Verifica que el cliente se encuentre conectado
  if(cliente.available()) { //Verifica que el cliente se encuentre disponible
    char c=cliente.read();
    if(readString.length()<30) {
      readString.concat(c); //Cliente conectado
//Lectura de la petición HTTP carácter a carácter
} //Almacena los caracteres en la variable readString
if(c=='\n' && lineaenblanco) { //Si la petición HTTP ha finalizado
  int LED = readString.indexOf("LED=");
//Cabecera HTTP estándar; Creación página web
  cliente.println("HTTP/1.1 200 OK");
  cliente.println("Content-Type: text/html");
  cliente.println(); //Página Web en HTML
  cliente.println("<html>"); cliente.println("<head>");

```

```

cliente.println("<title> Dispositivos Disponibles </title>");
cliente.println("</head>");
cliente.println("<body bgcolor=#F5F5F5>");
cliente.println("<body width=100% height=100%>");
cliente.println("<center>");
cliente.println("<h1><center><P ><font size='+4' color='blue'>
    Dispositivos Disponibles </font></p></center></h1>");
cliente.println("<hr align='center' width='70%' size='5' noshade>");
cliente.println("<br>");
cliente.println("<form method=get>");
cliente.println(" <b><center><font size='+3'>0 de 3 </font></p></center></b>");
cliente.println("<input type=radio name=LED value=0>");
cliente.println(" <br><br><br><b><center><font size='+3'>1 de 3 </font></p></center></b>");
cliente.println("<input type=radio name=LED value=1>");
cliente.println(" <br><br><br><b><center><font size='+3'>2 de 3 </font></p></center></b>");
cliente.println("<input type=radio name=LED value=2 >");
cliente.println(" <br><br><br><b><center><font size='+3'>3 de 3 </font></p></center></b>");
cliente.println("<input type=radio name=LED value=3 >");
cliente.println("<br><br>");
cliente.println("<input type='submit' value='ENVIAR'></form>");
    //Muestra el mensaje de acuerdo a la opción seleccionada y
    //activa la bandera correspondiente al caso
if (readString.substring(LED,LED+5)=="LED=0") {
cliente.println("<font size='+4' color='red'>0 de 3</font>");    B=0;    }
else if (readString.substring(LED,LED+5)=="LED=1") {
cliente.println("<font size='+4' color='red'>1 de 3</font>");    B=1;    }
else if (readString.substring(LED,LED+5)=="LED=2") {
cliente.println("<font size='+4' color='red'>2 de 3</font>");    B=2;    }
else if (readString.substring(LED,LED+5)=="LED=3") {
cliente.println("<font size='+4' color='red'>3 de 3</font>");    B=3;    }
cliente.println("</body>");
cliente.println("</html>");    //Cierra la conexión con el cliente
cliente.stop();    readString=""; } } }
    //Activación o desactivación de la bomba
    //No existe condición para su funcionamiento
if(sw4I==1) digitalWrite(out4,HIGH);
else digitalWrite(out4,LOW);
    //Dispositivos (3 Switches)
if(B==0){ //Bandera0 activa, 0 de 3, ningún dispositivo puede ser encendido
digitalWrite(out1,LOW);
digitalWrite(out2,LOW);
digitalWrite(out3,LOW);    }
else if(B==1){ //Bandera1 activa, 1 de 3 dispositivos puede ser encendido
if(sw1I==1) { //Switch1 activo
digitalWrite(out1,HIGH);    digitalWrite(out2,LOW);
digitalWrite(out3,LOW);    }
else if(sw2I==1){ //Switch2 activo
digitalWrite(out1,LOW);    digitalWrite(out2,HIGH);
digitalWrite(out3,LOW);    }
else if(sw3I==1) { //Switch3 activo
digitalWrite(out1,LOW);    digitalWrite(out2,LOW);
digitalWrite(out3,HIGH);    }
else { //Ningun switch activo
digitalWrite(out1,LOW);    digitalWrite(out2,LOW);
digitalWrite(out3,LOW);    } } }
else if(B==2){ //Bandera2 activa, 2 de 3 dispositivos pueden ser encendidos
if(sw1I==1){ //Switch1 activo, Prioridad 1
digitalWrite(out1,HIGH);

```

```

if(sw2I==1){ //Si el switch2 está activo
digitalWrite(out2,HIGH);      digitalWrite(out3,LOW);      }
else if (sw3I==1) { //Switch3 activo
digitalWrite(out2,LOW);      digitalWrite(out3,HIGH);      }
else { //Ni el switch 2 ni el 3 se encuentra activo
digitalWrite(out2,LOW);      digitalWrite(out3,LOW); } }
else if(sw2I==1) { //Switch 2 activo, Prioridad 2
digitalWrite(out1,LOW);      digitalWrite(out2,HIGH);
if(sw3I==1) digitalWrite(out3,HIGH); }
else digitalWrite(out3,LOW);
}
else if(sw3I==1) { //Switch 3 activo, Prioridad 3
digitalWrite(out1,LOW);
digitalWrite(out2,LOW);      digitalWrite(out3,HIGH); }
else { digitalWrite(out1,LOW);
digitalWrite(out2,LOW);      digitalWrite(out3,LOW); } }
else if(B==3) { //Bandera3 activa, 3 de 3, Cualquiera puede ser encendido
if(sw1I==1) digitalWrite(out1,HIGH);
else digitalWrite(out1,LOW);
if(sw2I==1) digitalWrite(out2,HIGH);
else digitalWrite(out2,LOW);
if(sw3I==1) digitalWrite(out3,HIGH);
else digitalWrite(out3,LOW); } }

```

Resultados.- En las figuras 5 y 6 se muestra la página web de inicio. La página muestra los últimos valores leídos de los sensores, la hora de la lectura, y dos enlaces. Un enlace para ir a la página de control y otro para ir a ver el historial de lecturas. En la figura 7 se muestran los valores almacenados en la Tabla uno de la base de datos. Las mediciones son actualizadas cada setenta milisegundos. En las figuras 8 y 9 se observa el historial de los datos leídos por los sensores. El registro de la Tabla uno del servidor Raspberry Pi se muestra en la página de monitoreo de forma gráfica usando *Highcharts*. El historial grafico se presenta haciendo uso del programa *grafica.php*.

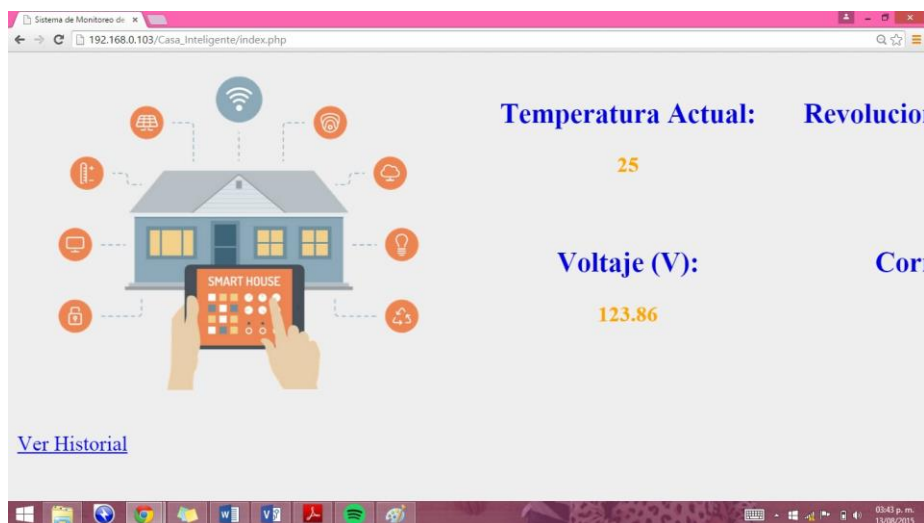


Figura 5. Página web de inicio; sistema de monitoreo y control.

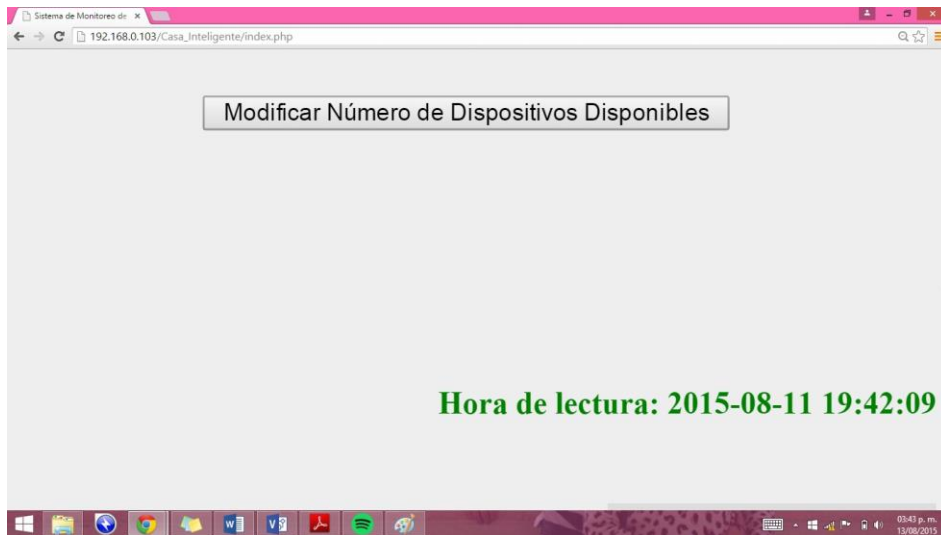


Figura 6. Página web de inicio; sistema de monitoreo y control.

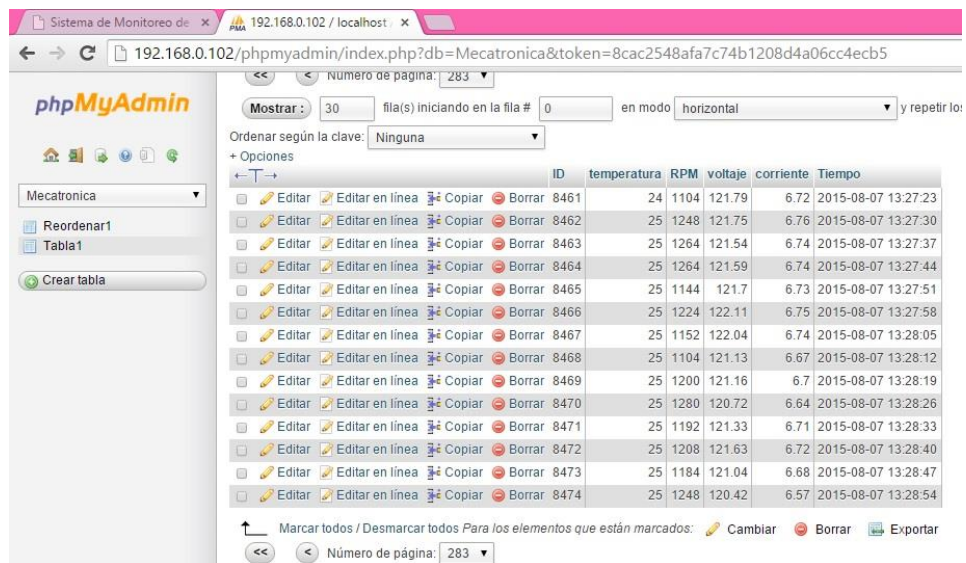


Figura 7. Gestión de la Tabla 1 con phpMyAdmin.

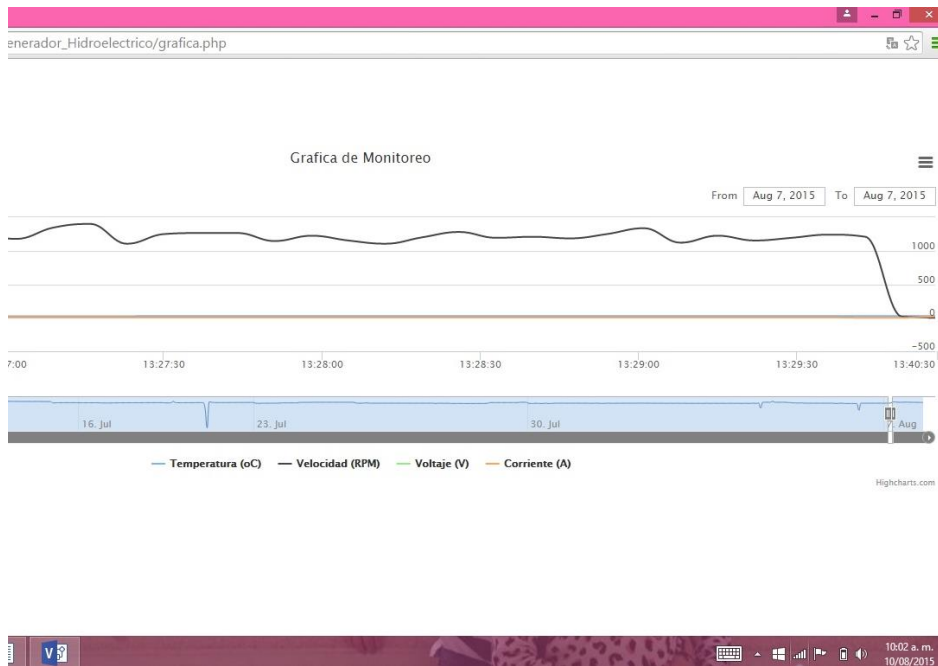


Figura 8. Gestión del historial de lecturas con el programa grafica.php.

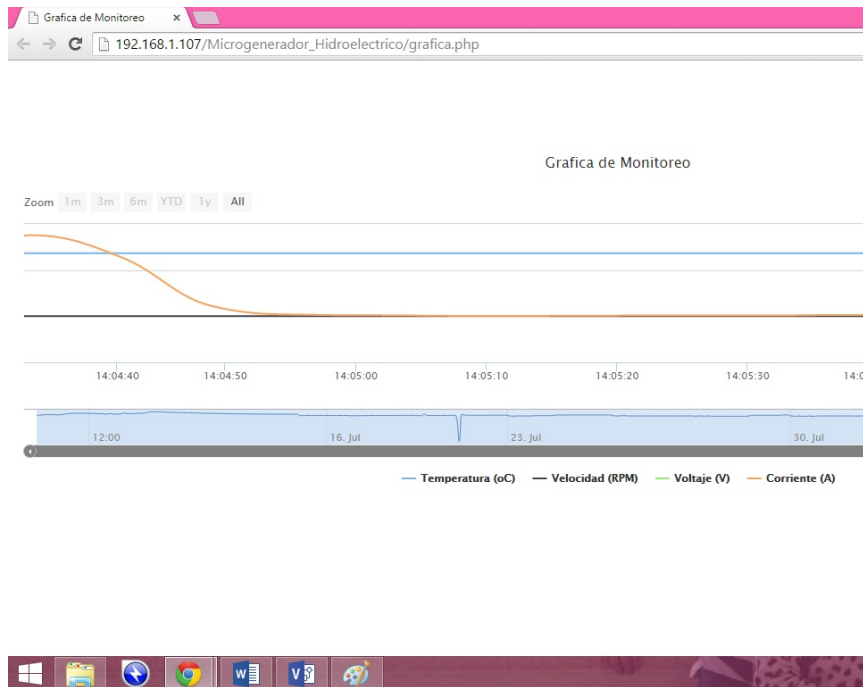


Figura 9. Gestión del historial de lecturas con el programa grafica.php.

En la figura 10 se muestra la página web de control. El código de programación se carga en Arduino Ethernet dos. En la página se puede seleccionar el número máximo de dispositivos que pueden ser activados al mismo tiempo. También en la página se puede seleccionar el modo de operación; manual o remoto. En modo manual los dispositivos se activan y desactivan de manera local. En modo remoto los dispositivos se activan y desactivan de manera remota presionando los botones incorporados a la página Web.

Durante el desarrollo del proyecto se solucionaron problemas derivados del uso de Linux, aplicaciones de software y lenguajes de programación. Se desarrolló una aplicación con *PhpMyadmin*, para la configuración del servidor en Raspberry Pi. Se subieron los datos del Arduino Ethernet número uno al servidor. Esta tarea se hizo con los lenguajes PHP y SQL. Se mandan cuatro datos de los sensores a una misma tabla.

Se diseñó un algoritmo para mandar los datos usando cadenas de caracteres. En Arduino Ethernet uno se forma la cadena de caracteres y se transmite. En Raspberry Pi se recibe la cadena de caracteres y se decodifica. El comportamiento y el historial de la base de datos se muestran usando la herramienta de software libre *Highcharts*. Con programación en PHP se adaptó la aplicación *Highcharts* para garantizar el acceso a los datos contenidos en la base de datos y mostrar el historial en forma de línea.

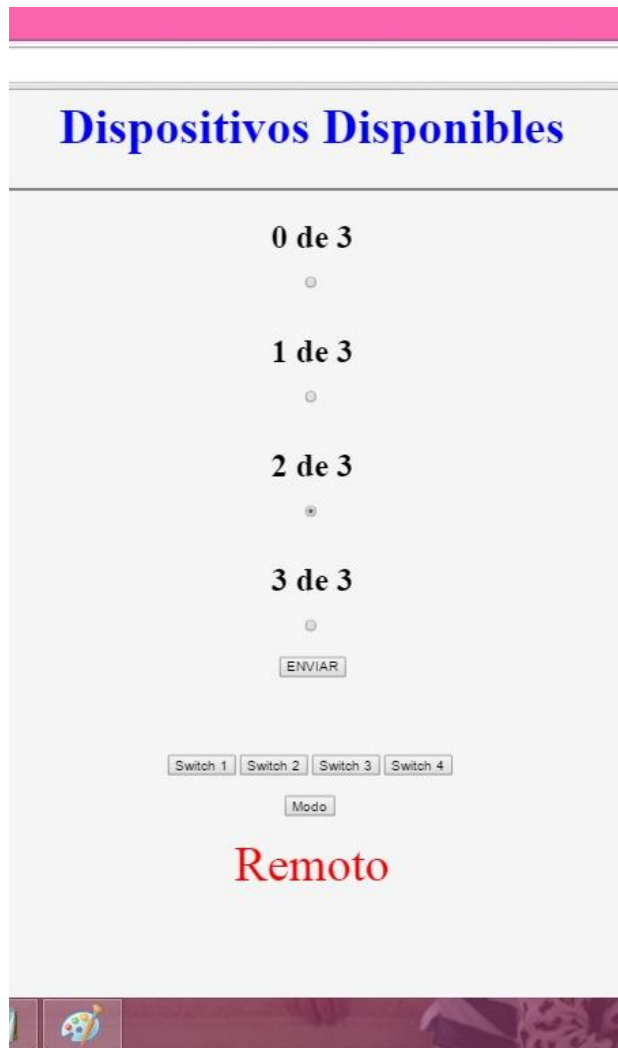


Figura 10. Vista del buscador mostrando la página Web de control.

Problemas que se resuelven. El presente proyecto resuelve el problema de disponer de una herramienta genérica que permita desarrollar aplicaciones enfocadas al monitoreo, análisis y control de procesos. Esta herramienta permite solucionar una gama amplia de problemas de aplicaciones específicas, por ejemplo; soluciona problemas de pequeñas industrias emergentes que busquen mejorar la calidad de los productos con un sistema que ayude a monitorear y controlar la línea de producción.

Conclusiones.

El presente proyecto es importante porque con uso de hardware libre y software de código abierto se desarrolla un sistema de monitoreo y control que proporciona soluciones eficientes. El sistema es de fácil operación y está enfocado a satisfacer los requerimientos propios de los procesos industriales, mejorando la seguridad en ellos y la calidad de sus productos. Además el empleo del sistema desarrollado favorece a los usuarios en el logro de servicios eficientes.

El sistema presentado mejora el uso de los sistemas de control, teniendo una solución eficiente y a la medida que permite con el tiempo ser expandida. Esto significa que el sistema permite que un proceso industrial inicie pequeño y con el tiempo vaya creciendo y mejorando agregando sensores y actuadores. El sistema es genérico y tiene la peculiaridad específica de adaptarse a cualquier proceso de control.

Créditos.

Se reconoce a Miriam Roxana Vázquez Flores, Tania Berenice Palacios Molina, y Manuel de Jesús Hernández Gutiérrez el compromiso, desempeño y dedicación mostrados durante el desarrollo del presente proyecto.

Agradecimientos.

Se agradece a la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez todo el apoyo brindado en el desarrollo del presente proyecto a través del sistema de investigación interna de ese instituto.

Referencias Bibliográficas.

- Albu, M., Kyriakides, E., Chicco, G., Popa, M., Nechifor, A. (2010).** Online Monitoring of the Power Transfer in a DC Test Grid. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 59, n° 5, May, 1104-1118.
- Cynthujah, V., Yateendra, M., Fangxing, L. (2015).** Real-Time Price Based Home Energy Management Scheduler. *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 30, n° 4, July, 2149-2159.
- Dawei, H., Weixuan, L., Nan, L., Ronald, G., Harley, T., Habetler, G. (2013).** Incorporating Non-Intrusive Load Monitoring Into Building Level Demand Response. *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 4, n° 4, December, 1870-1877.
- Georgievski, I., Viktoriya, D., Andrea, G., Nguyen, T., Lazovik, A., Aiello, M. (2012).** Optimizing Energy Costs for Offices Connected to the Smart Grid. *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, n° 4, December, 2273-2285.
- Jinsoo, H., Chang-Sic, C., Wan-Ki, P., Ilwoo, L., Sang-Ha, K. (2014).** Smart Home Energy Management System Including Renewable Energy Based on ZigBee and PLC. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 60, n° 2, May 2014, pp. 198-202.

Kumar, S. N., Chandra, M. S., Sean, D., Tebje, K., Pal, S. G. S. (2015). WSN-Based Smart Sensors and Actuator for Power Management in Intelligent Buildings. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 20, n° 2, April, 564-571.

Lorek, M., Chraim, F., Pister, K. S. J., Lanzisera, S. (2014). COTS-Based Stick-On Electricity Meters for Building Submetering. *IEEE Sensors Journal*, vol. 14, n° 10, October, 3482-3489.

Pan, J., Jain, R., Subharthi, P. (2104). A Survey of Energy Efficiency in Buildings and Microgrids using Networking Technologies. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, n° 3, 1709-1731.

Tebje, K. S. D., Suryadevara, N. K., Mukhopadhyay, S. C. (2013). Towards the Implementation of IoT for Environmental Condition Monitoring in Homes. *IEEE Sensors Journal*, vol. 13, n° 10, October, 3846-3853.

Torquato, R., Shi, Q., Xu, W., Freitas, W. (2014). A Monte Carlo Simulation Platform for Studying Low Voltage Residential Networks. *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, n° 6, November, 2766-2776.

Información de los autores



Dr. Rubén Herrera Galicia obtuvo el título de Doctor en Ciencias Técnicas con especialidad en electrónica por la *Technical University of Warsaw*, Polonia. Es profesor de tiempo completo adscrito al departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y Jefe de Proyectos de Investigación de Ingeniería Eléctrica. Es investigador desde 1985 y líder de la línea de investigación Control de Procesos del programa de Ingeniería Electrónica.



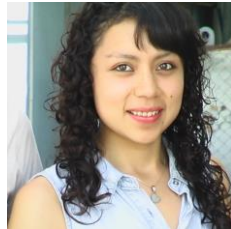
Raúl Moreno Rincón es Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica egresado del Instituto Tecnológico de Toluca, Maestro en Educación Superior por la Universidad Autónoma de Chiapas e Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica por la ESIME-IPN, en la ciudad de México, D.F. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y Jefe de Proyectos de Docencia de Ingeniería Electrónica. Es investigador desde 1999 y Colabora en la línea de investigación de “Robótica” de Ingeniería electrónica, en donde ha realizado proyectos como; sistema de alarma para personas con deficiencia auditiva basado en XBEE, robot de cafetería, araña hexápoda.



Manuel de Jesús Hernández Gutiérrez es egresado de la carrera de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. en el año 2014, participante en el evento nacional de innovación tecnológica del Tecnológico Nacional de México llegando hasta la etapa regional con el proyecto “Control de procesos basado RaspBerry y Arduino vía Ethernet”.



Miriam Roxana Vázquez Flores es alumna del noveno semestre de la carrera de Ingeniería Mecatrónica en la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Tecnologías Avanzadas del Instituto Politécnico Nacional, promedio actual de 9.84, estudió el octavo semestre en Polonia.



Tania Berenice Palacios Molina es alumna del noveno semestre de la carrera de Ingeniería Mecatrónica en la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Tecnologías Avanzadas del Instituto Politécnico Nacional, promedio actual de 9.73, estudió el octavo semestre en Polonia.

Aproximación de aplicación nutricional deportiva para dispositivos móviles.

Sports nutritional mobile application, an approximation.

Josué Flores García (1).
Estudiante, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
jfloresg1@yahoo.com.mx.

Luis Enrique Colmenares Guillén (2). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. lecolme@gmail.com.

Artículo recibido en octubre 10, 2015; aceptado en noviembre 06, 2015.

Resumen.

Hoy en día, se han desarrollado muchas aplicaciones médicas pervasivas para dispositivos móviles y son ampliamente usadas por diferentes personas en este mundo globalizado. El uso de teléfonos móviles se ha ido integrando en el cuidado de la salud día a día, por ser una forma fácil y cómoda de utilizar. Muchas aplicaciones hacen de los teléfonos móviles herramientas útiles para monitorear la salud de las personas. Sin embargo, es muy común que la mayoría de personas posean malos hábitos alimenticios y una vida sedentaria que provoca sobrepeso y obesidad. En este artículo, se describe una aplicación que contiene, un seguimiento a la alimentación con dietas y rutinas de ejercicios, con la finalidad de mejorar el control del peso corporal, y así, tener una alternativa de solución, ante el sobrepeso y obesidad. Esta aplicación, se utiliza para recomendar al usuario de tener una alimentación balanceada y generar nuevos hábitos de ejercicio físico. Por lo tanto, es una aplicación móvil pervasiva que se utiliza para el cuidado de la salud es decir, una aplicación de tipo M-Health. Una recomendación final, a los usuarios, que utilizan esta aplicación y padezcan estas enfermedades genéticas o cardiovasculares, es necesaria la ayuda de profesionales o especialistas médicos, para poder monitorear estas enfermedades, relacionadas con la nutrición.

Palabras clave: Aplicación Móvil, Computo pervasivo, M-Health.

Abstract.

Nowadays, many pervasive medical applications for mobile devices have been developed. They are widely used by different people in this globalized world. The use of mobile phones has been integrated into the health care, being easy and convenient to use. Mobile applications allow mobile phones to become useful tools to monitor people's health. However, most people possess poor eating habits and a sedentary lifestyle that causes overweight and obesity. In this article, an application that contains tracked feeding diets and workout to improve the control of body weight is described. This application is used to recommend a balanced diet and to promote new exercise habits. Therefore, it is a pervasive mobile application used for health care, that is, an M-Health application type. A final recommendation to people who use this application and have a genetic or cardiovascular disease, help from professionals or medical specialists is necessary to monitor these diseases related to nutrition.

Keywords: Mobile Application, Pervasive Computing, M-Health.

1. Introducción.

Hoy en día, el tema de la salud se ha vuelto un tema muy importante. El problema de la obesidad y el sobrepeso, representa unos de los problemas más graves que actualmente atacan al país, 30% de la población padecen estos problemas, de la cual 4 millones son niños. La obesidad y el sobrepeso afectan en mayor cantidad a las mujeres que a los hombres, debido a causas emocionales, metabólicas y endocrinas hormonales. Y en total se cobra 2,8 millones de vidas al año en todo el planeta, según la Organización Mundial de la Salud (OMS). De hecho, es la quinta causa de muerte en el mundo (World Health Organization, 2013).

En México, las cifras son alarmantes. Aunque se estabilizó el crecimiento del sobrepeso y la obesidad en niñas de 5 a 11 años; en mujeres adolescentes y adultos, se presentó una tendencia de crecimiento más pronunciado que en los hombres. Además, el riesgo de padecer sobrepeso, aumento en niñas menores de 5 años (Instituto Nacional de Salud Pública, 2013).

En los resultados de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2013, la prevalencia de sobrepeso y obesidad en mujeres adolescentes aumento de 33.4% a 35.8%. Y en el caso de las mujeres de más de 20 años este porcentaje pasó de 71 % en 2006 a 73% en 2012. Para ambos grupos de edad, la porción de mujeres con peso inadecuado fue mayor que la de los hombres. En el caso de los hombres adolescentes el aumento fue menor. La prevalencia creció un punto en los últimos seis años, pasando de 33% a 34.1% y en los adultos el aumento fue de 2.7%, actualmente el 69.4% de los hombres tienen sobrepeso u obesidad (Instituto Nacional de Salud Pública, 2013).

Las personas presentan sobrepeso u obesidad principalmente por tener una vida sedentaria y tener una alimentación no balanceada. Una persona presenta sobrepeso cuando se encuentra 10% por encima del ideal para su edad, estatura y complexión, pero de llegar a 20% (o más) se hablara de obesidad. Por ejemplo: si un hombre mayor de 18 años, mide 1.70 metros y su complexión es delgada, su peso ideal se debería de encontrar entre 57.9 y 62 kg, pero si la báscula dice que en realidad pesa 83 kg, tendrá un exceso de 21 kg, lo que equivaldría a casi 30% arriba del ideal, en otras palabras, se trata de una persona obesa. También se puede diagnosticar la obesidad teniendo en cuenta el uso corporal y la talla elevada al cuadrado. Con estas dos variables, mediante una simple operación matemática, se obtiene el llamado Índice de Masa Corporal. Según este índice si usted obtiene un valor entre 20 o 25 su peso corporal es normal, entre 25 y 29.9 tiene sobrepeso y si pasa de los 30, es obeso.

2. Métodos.

2.1 La obesidad como un problema de salud.

La obesidad se ha convertido en un problema de salud en la mayoría de los países industrializados por su alta prevalencia. Relación casual con enfermedades médicas graves y el impacto económico. En los Estados Unidos, se estima que 300 000 muertes al año son causadas por obesidad (World Health Organization, 2013).

Cada año, enormes cantidades de dinero son utilizados en el esfuerzo de generar la pérdida de peso y la complicación médica asociado con la obesidad, aunque los resultados a largo plazo de la mayoría de estos esfuerzos de control de peso han sido decepcionantes.

2.2 Definición de obesidad.

La obesidad es formalmente definida como un significativo incremento de peso corporal sobre el peso ideal. El peso ideal se define como aquella que maximiza la esperanza de vida (Instituto Nacional de Salud Pública, 2013). Actualmente existen tablas que indican que la esperanza de vida se reduce, cuando aumenta el índice de masa corporal, un indicador de adiposidad o gordura, que se incrementa significativamente del nivel ideal.

El excesivo contenido de grasa corporal está asociado con un mayor riesgo de enfermedades médicas. La identificación de los pacientes con mayor riesgo de complicaciones médicas relacionadas con la adiposidad es

compleja. La evaluación precisa de la grasa corporal es difícil el uso de tecnologías sofisticadas. Los datos obtenidos de los estudios epidemiológicos a gran escala que se correlacionaron el índice de masa corporal (IMC) con el resultado clínico han generado directrices para la identificación de pacientes en riesgo de complicaciones médicas relacionadas con la adiposidad y la mortalidad prematura (World Health Organization, 2013). El IMC es aceptado como unidad para la definición de sobrepeso (IMC normal 18.5-24.9 kg/m²; sobrepeso 25-29.9 kg/m² y obesidad >30 kg/m²; detalles en el Cuadro 1) (World Health Organization, 2013).

Tabla 1. Peso corporal asociado con riesgo de enfermedad.

Tipo de obesidad	IMC (Kg/m ²)	Riesgo
Bajo de peso	< 18.5	Ligeramente
Normal	18.5 – 24.5	Normal
Sobrepeso	25.0 – 29.9	Ligeramente
Obesidad I	30.0 – 34.9	Alta
Obesidad II	35.0 – 39.0	Muy alta
Obesidad III	>40	Extremadamente alta

2.3 Determinación de gasto energético.

El comité de expertos de la FAO/OMS/UNU, en el año 2004, estableció nuevas ecuaciones para calcular el Consumo de Calorías Diarias (CCD). Estas ecuaciones al igual que el método Harris-Benedict, utiliza el peso total para realizar el cálculo, además de tener una ecuación para cada grupo de edad y sexo (Instituto Nacional de Salud Pública, 2013).

El requerimiento diario de energía se estima al sumar los siguientes componentes:

- **Metabolismo basal:** el metabolismo basal representa la mínima cantidad de energía que se requiere para mantener el organismo despierto y en reposo. En el estado de reposo, la energía se gasta en las actividades mecánicas necesarias para conservar los procesos de vida, como la respiración y circulación, bombeo de iones a través de membranas, conservación de la temperatura corporal (Instituto Nacional de Salud Pública, 2013).
- **Efecto térmico de los alimentos:** representa la cantidad de energía que utiliza el organismo durante la digestión, absorción, metabolismo y almacenamiento de nutrientes que proporcionan energía (Instituto Nacional de Salud Pública).
- **Actividad física:** representa la energía gastada por el ejercicio voluntario y el ejercicio debido a la actividad involuntario como escalofríos, movimientos y control postural (Instituto Nacional de Salud Pública, 2013).

Los factores 1 y 2, nos dan el gasto energético en reposo.

El comité de expertos de la FAO, OMS, UNU, propuso las siguientes ecuaciones para calcular el gasto energético en reposo.

Tabla 2. Ecuaciones para estimar el GER de sujetos sanos.

Hombres		Mujeres	
Edad (años)	Kcal/día	Edad (años)	Kcal/día
0 – 3	60.9 x (peso) - 54	0 – 3	61.0 x (peso) - 51
3 – 10	22.7 x (peso) + 495	3 – 10	22.5 x (peso) + 499
10 – 18	17.5 x (peso) + 651	10 – 18	12.2 x (peso) + 746
18 – 30	15.3 x (peso) + 679	18 – 30	14.7 x (peso) + 496
30 – 60	11.6 x (peso) + 879	30 – 60	14.7 x (peso) + 746
> 60	13.5 x (peso) + 487	> 60	20.5 x (peso) + 596

Estas ecuaciones nos permiten calcular el gasto en reposo de una persona, a partir de su edad y sexo, utilizando su peso adecuado (ver Tabla 2).

Para calcular ahora el gasto total, debemos tomar en cuenta el nivel de la actividad física del individuo, utilizando para ello los factores de actividad.

Estos datos de las tablas fueron integrados en el sistema original, para tener la seguridad de la información sea válida y confiable.

Tabla 3. Factores para estimar las necesidades energéticas diarias totales.

Nivel general de actividad	Factor de actividad (x GER)	
	Hombre	Mujer
Muy leve	1.3	1.3
Leve	1.6	1.5
Moderado	1.7	1.6
Intenso	2.1	2.1
Muy intenso	2.4	1.2

3. Desarrollo.

Al hacer un estudio de las metodologías tradicionales e investigar acerca de las metodologías ágiles, se analizaron algunos problemas cuando se realizan los proyectos:

- Existen costosas fases previas de especificación de requisitos, análisis y diseño. La corrección durante el desarrollo de errores introducidos en estas fases igual será de costosa, por lo tanto, se pierde flexibilidad ante los cambios.
- El proceso de desarrollo está ligado fuertemente por documentos firmados.
- El desarrollo es más lento. Es difícil para los desarrolladores entender un sistema complejo en su globalidad.

En cambio, en las metodologías ágiles de desarrollo están especialmente indicadas en proyectos con requisitos poco definidos o cambiantes (Pressman, Roger S., 2007). Estas metodologías se aplican bien en equipos pequeños que resuelven problemas concretos, y también permite su aplicación en el desarrollo de grandes sistemas, ya que una correcta modularización de los mismos, es fundamental para su exitosa implantación (Sommerville, 2005). Dividir el trabajo en módulos adaptables, minimiza los fallos y el coste. Las metodologías ágiles presentan diversas ventajas, entre las que podemos destacar:

- Capacidad de respuesta a cambios de requisitos a lo largo del desarrollo.
- Entrega continua y en plazos breves de software funcional.
- Trabajo conjunto entre el cliente y el equipo de desarrollo.
- Importancia de la simplicidad, eliminado el trabajo innecesario.
- Atención continua a la excelencia técnica y al buen diseño.
- Mejora continua de los procesos y el equipo de desarrollo.

El trabajo se realizó utilizando la metodología agile XP.

3.1 Salud móvil.

En los últimos años, M-Health se ha convertido en un importante segmento dentro del campo de E-Health, este se define como el uso de tecnologías de información y la comunicación, tales como, computadoras, teléfonos móviles y comunicadores satelitales al servicio de la salud. (Saigí Rubió, Francesc, 2014)

Se ha establecido una definición estándar de M-Health, y se podría explicar como el uso de la tecnología inalámbrica para el cuidado de la salud, esto incluye entre otros: Smartphones, dispositivos de monitorización, lectores e-book o dispositivos mp3 con conectividad como el iPod. (Saigí Rubió, Francesc, 2014)

M-Health incluye la utilización del servicio de mensajes de voz y de mensajes cortos, así como también de otras funciones y aplicaciones más complejas que incluyen el servicio general de paquetes vía radio (GPRS), telecomunicaciones móviles 3° y 4° generación (3G y 4G), el sistema de posicionamiento global (GPS), y la tecnología Bluetooth. (Saigí Rubió, Francesc, 2014).

3.2 Computo Pervasivo.

La Computación Ubicua, también denominada Computación Pervasiva, fue descrita por primera vez por Mark Weiser [Mattern, 2001] en 1991. La esencia de su visión era la creación de entornos repletos de computación y capacidad de comunicación, integrados de forma inapreciable con las personas. En la fecha en que Weiser describió su idea no existía la tecnología necesaria para llevarla a cabo, por lo que no era posible desarrollarla, pero después de una década de progreso, estas ideas son productos comercialmente viables, aun cuando fueron en sus orígenes criticadas [Mattern, 2001].

Uno de los objetivos más importantes de la Computación Ubicua es integrar los dispositivos computacionales lo más posible, para hacer que se mezclen en la vida cotidiana, y permitir a los usuarios que se centren en las tareas que deben hacer, no en las herramientas que deben usar, pudiendo suponer una revolución que cambie el modo de vida [Pitt, 2012].

4. Prueba de funcionalidad.

Cabe destacar que ProSalud pertenece a AppMovil y WebApp, ya que, por una parte, se desarrolló para dispositivos con SO Android (Rogers & Blake, 2011), y se puede descargar de Google Play e instalar en un dispositivo móvil, por tal motivo, ProSalud puede acceder a recursos del teléfono como la cámara, acelerómetro, WiFi, GPS entre otros.

El diagrama del prototipado final, que se visualiza en la figura 1, es la base del sistema que se propuso para la realización de la aplicación. En La figura 1, se muestra el escenario de integración de la aplicación el cual es la solución propuesta de esta investigación, con otros dispositivos externos.

La aplicación se conecta a un servicio web a través de una base de datos, la existencia de un servidor central que permita la comunicación con una o más estaciones de trabajo. Por lo tanto, la existencia de una conexión a Internet, un adaptador inalámbrico y la existencia de un navegador de Internet que permite la navegación son algunos de los requisitos que deben cumplir en términos de hardware y software para garantizar el correcto funcionamiento de la aplicación en el dispositivo móvil.

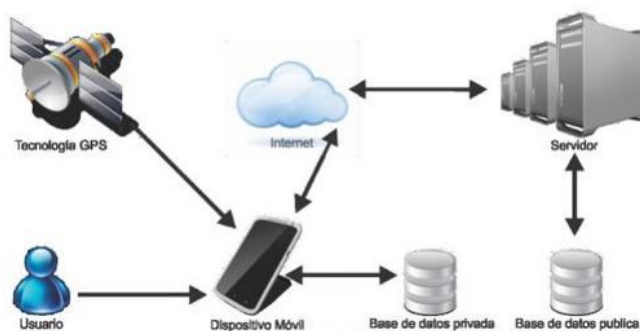


Figura 1. Prototipado de ProSalud.

Por otro lado, como una característica adicional, sin pertenecer al sistema original se integró, que al consultar cualquier usuario, un producto alimenticio, se puede detectar utilizando código de barras o código QR para tener la información nutrimental, y así se puede acceder a un sitio web a través de ProSalud.

La figura 2, se visualiza parte de la base de datos de los alimentos que tiene registrado ProSalud, cabe destacar que, ProSalud tiene los alimentos divididos en proteínas, carbohidratos simples, carbohidratos complejos, carbohidratos fibrosos y lípidos grasos, también cuenta el código de barra de algunos productos industrializados de México.

ID	NOMBRE	CATEGORIA	PORCION	ENERGIA (kcal)	PROTEINA (g)	CARBOHIDRATO (g)	FIBRA (g)	AZUCAR (g)	GRASA (g)
116	Calamar	proteina	100 grs	92	15.58	3.08	0	0	1.38
117	Cangrejo	proteina	100 grs	101	20.03	0	0	0	1.76
118	Trucha	proteina	100 grs	138	20.87	0	0	0	5.44
119	Ternera	proteina	100 grs	229	29.85	0	0	0	11.3
120	Polvo proteico	proteina	100 grs	401	31	49	5.1	0	9
121	Arroz hervido	complejo	100 grs	130	2.38	28.59	0.3		0.21
122	Avena cruda	complejo	100 grs	389	16.8	66.27	10.6		6.9
123	Frijoles	complejo	100 grs	382	14.02	54.12	13.9		13.03
124	Pan integral	complejo	100 grs	246	9.7	46.1	6.9	5.47	4.2
125	Papas	complejo	100 grs	83	1.71	20.01	2	0.85	0.1
126	Lentejas	complejo	100 grs	353	25.8	60.8	30.5	2.03	1.06
127	Garbanzo	complejo	100 grs	180	9.54	29.98	8.6	5.29	2.99
128	Tortilla de maíz	complejo	100 grs	218	5.7	44.64	6.3	0.88	2.85
129	Pasta	complejo	100 grs	157	5.76	30.68	1.8	0.56	0.92
130	Betabel	fibroso	100 grs	42	1.55	9.35	2.7	6.65	0.16
131	Brócoli	fibroso	100 grs	34	2.82	6.64	2.6	1.7	0.37
132	Calabacitas	fibroso	100 grs	21	2.71	3.11	1.1		0.4
133	cebolla	fibroso	100 grs	42	0.92	10.11	1.4	4.28	0.08
134	Champiñones	fibroso	100 grs	22	3.09	2.28	1	1.65	0.34
135	Chicharo	fibroso	100 grs	293	5	17	5	3	0
136	Espinaca	fibroso	100 grs	23	2.86	3.63	2.2	0.42	0.39
137	Lechuga	fibroso	100 grs	14	0.9	2.97	1.2	1.76	0.14
138	Nopales	fibroso	100 grs	16	1.32	3.33	2.2	1.15	0.09
139	Pepinos	fibroso	100 grs	12	0.59	2.16	0.7	1.38	0.16

Figura 2. Base de datos de alimentos.

Lo primero que nos visualiza ProSalud antes de instalarlo, son los permisos que requiere, mostrando una lista de todos los recursos e información que necesita acceder para funcionar correctamente. Enseguida, nos muestra la pantalla de bienvenida, y en la misma pantalla, ProSalud, realiza una recomendación, por el mal uso que se le dé a esta aplicación. Además recomienda la búsqueda de asesoría profesional antes de iniciar cualquier plan de ejercicio y/o dieta. En la figura 3(a), muestra la pantalla principal del contador de calorías. En la figura 3(b), muestra la dieta que debe de llevar el usuario para alcanzar sus objetivos. Y en la figura 3(c), está el registro de calorías eliminadas, junto con las rutinas de ejercicio. ProSalud le pide llenar un formulario, para calcular las calorías a consumir para que el usuario alcance sus objetivos, cabe destacar que ProSalud, detecta automáticamente si el usuario está caminando, corriendo o trotando.

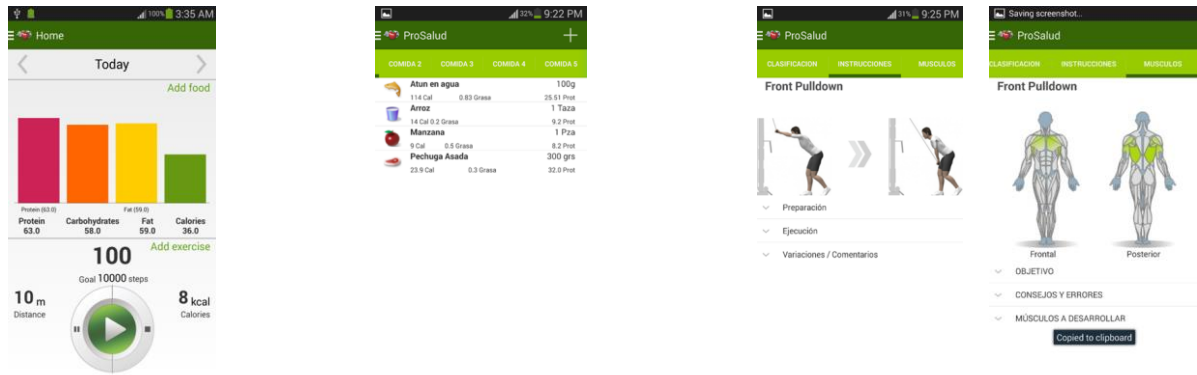


Figura. 3. Perfil de usuario (a) Registro de Dieta de usuario (b) Registro de contador de calorías quemadas (c).

Conclusiones.

Se desarrolló una aplicación Bio-médica (ProSalud) para dispositivos móviles con SO Android, basado en la metodología ágil XP y metodologías en sistemas de tiempo real, tales como análisis de Yourdon, diccionario de datos, casos de uso, diagrama entidad-relación, entre otros.

Además, como ProSalud proporciona a los usuarios herramientas para organizar y realizar un seguimiento de su información de salud, según las clasificaciones de la FDA (Food and Drug Administration), ProSalud se considera como MMA (Mobile Medical Applications) dentro de la clasificación de Mobile Medical Apps. Además, ProSalud pertenece a las aplicaciones M-Health, ya que, es una herramienta en la ampliación de los recursos de salud.

Cabe destacar que ProSalud pertenece a AppMovil y WebApp, ya que, por una parte, se desarrolló para dispositivos con SO Android, de este modo, se necesita descargar de Google Play e instalar en un dispositivo móvil, por tal motivo, ProSalud puede acceder a recursos del teléfono como la cámara, acelerómetro, WiFi, GPS entre otros. Por otro lado, el usuario puede realizar una consulta de un producto utilizando el código de barras o código QR, y accede a un sitio web a través de ProSalud.

ProSalud pertenece a los sistemas ubicuos en el dominio de la salud, lo que garantiza que se tenga en cuenta aspectos de normatividad del sector y el adecuado manejo de las variables fisiológicas médicas en los usuarios. Esta aplicación es un prototipo funcional con la finalidad de que se implemente en un escenario real y que este avalado por Cofepris. Ya se encuentra en la plataforma Google Play para su distribución. Y, por otro lado, la parte de la Base de datos, se ha migrado a un servidor dedicado.

En el trabajo a futuro, existen una serie de ampliaciones y posibilidades que se pueden integrar en la versión final de la aplicación se pueden realizar como las siguientes:

- Utilización de la API de Google Maps. Ya que esta tecnología nos permite crear y cargar rutas trazadas en tiempo real, además, nos da la oportunidad de convivir y competir con otros usuarios.
- Realidad aumentada aplicada a alimentos, esto quiere decir que al apuntar un producto con la cámara del teléfono. Se muestre sus diferentes variedades y valores nutricionales, con la opción de agregarlo a la dieta.
- Consultar perfil de usuario a través de prosaludoficial.com.
- Conexión con gadgets. Ya que hoy en día, la mayoría de las básculas WiFi tienen la capacidad de registrar peso, porcentaje de grasa y masa muscular. Estos datos se podrían enviar automáticamente a ProSalud y al portal web privado.

Agradecimientos.

Se agradece el apoyo proporcionada por la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado y del cuerpo académico de Sistemas de Información de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, para el desarrollo de este proyecto, además de las sugerencias profesionales de especialistas Médicos, Nutriólogos y entrenadores de acondicionamiento físico.

Referencias Bibliográficas.

Aplicaciones de Android en Google Play (2013): *Aplicaciones de Android en Google Play: "Diet Assistant"*, Consultado por internet el 21 de febrero de 2014, dirección <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.aportela.diets.view&hl=es>

Arciniegas, Fabio. (2011). *"Programación Avanzada con XML"*, Segunda edición.

Friedemann Mattern (2001): Visión y fundamentos técnicos de la "Computación Ubicua", *Novática núm.153*, sept.-oct. 2001.

Instituto Nacional de Salud Pública. (2013). *"Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2013. Resultados nacionales. México"*. ISBN 978-607-511-037-0.

Joyanes, Luis., Sahonero Martínez, Ignacio. (2011). *"Programación en java 6"*, Tercera edición.

Pitt, Jeremy. (2012). Design Contractualism for Pervasive/ Affective Computing, ISSN: 1932-4529, 2012, *IEEE TECHNOLOGY AND SOCIETY MAGAZINE*, winter 2012.

Pressman, Roger S. (2007). *"Metodologías Agiles: Un enfoque práctico"*, Sexta edición.

Rogers, Rick. Lombardo, John & Mike, Blake. (2011). *"Android Application Development"*, Segunda edición.

Sommerville, Ian. (2005). *"Ingeniería de Software: Metodologías Agiles y Procesos de Calidad"*, Sexta edición.

Saigí Rubió, Francesc. (2014). *"Salud móvil y Software libre"*, Segunda edición.

World Health Organization. (2013). *"World Health Organization: Body Mass Index – BMI"*, consultada por internet el 22 de septiembre de 2015, de <http://www.euro.who.int/en/what-we-do/healthtopics/disease-prevention/nutrition/a-healthy-lifestyle/body-mass-index-bmi>

Información de los autores.



Josué Flores García, tiene el título de Ingeniero en Ciencias de la Computación, cursó sus estudios en Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, ha publicado en revistas científicas, actualmente trabaja como desarrollador *senior* Java en TV AZTECA.



Luis Enrique Colmenares Guillén, tiene el Doctorado en Arquitectura en Computadores en la Universidad Politécnica de Cataluña España. Actualmente labora en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, en la Facultad de Ciencias de la Computación. Luis Enrique, realiza actividades de Investigación, aprendizaje, enseñanza, tutorías de estudiantes, creación de servicios sociales y prácticas profesionales, más de 30 tesis dirigidas de licenciatura y posgrado, más de 100 cursos impartidos a nivel licenciatura, ingeniería, diplomado y posgrado y publicaciones en revistas indexadas y arbitradas. Actualmente está trabajando en las áreas de cómputo distribuido, cómputo móvil, sistemas de tiempo real, redes descentralizadas y compresión de imágenes. Es encargado de un laboratorio de investigación en el área forense digital y app`s.

CaToKi Interfaz gráfica de identificación de sistemas en lazo abierto SISO aplicado a procesos de laboratorio.

CaToKi Graphic interface for Open-Loop System Identification SISO Applied to Laboratory Processes.

Francisco Ronay López Estrada (1)
Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
frlopez@ittg.edu.mx.

Álvaro Hernández Sol (2), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, ing_sol10@yahoo.com.mx

Joaquín Eduardo Domínguez Zenteno (3). I. T. de Tuxtla Gutiérrez, quinolalo@gmail.com

José Ángel Zepeda Hernández (4), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, jzepeda@ittg.edu.com.

Ildeberto De Los Santos (5), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, idlsantos@msn.com.

Raúl Moreno Rincón (6), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, rmoreno@ittg.edu.mx

Artículo recibido en junio 23, 2015; aceptado en septiembre 07, 2015.

Resumen.

En este trabajo se presenta el desarrollo de un prototipo tipo interfaz gráfica de usuario (GUI del inglés *Graphic User Interface*) para la identificación de sistemas tipo SISO (*single input- single output*). El GUI puede utilizarse como una alternativa a la interfaz *IDENT* de *MATLAB*. Con los algoritmos propuestos es posible identificar y estimar los parámetros de modelos matemáticos (tipo función de transferencia de orden “n”) de procesos reales tales como intercambiadores de calor, sistemas electrónicos, mecánicos, neumáticos, eléctricos, entre otros. La identificación se realiza tipo caja negra utilizando estructuras conocidas de identificación paramétrica tales como *ARX*, *ARMAX*, *Output Error* y *Box-Jenkins*. La validación de los modelos realiza mediante gráficas de respuesta temporal (respuesta al escalón, impulso y de comparación) y gráficas de tipo frecuencial (*Bode*, *LETFE* y residuos), además para verificar la estabilidad del sistema identificado se utilizan gráficas de polos y ceros. El *toolkit* se encuentra disponible de forma gratuita en los repositorios de intercambio de archivos de *mathworks.com*. Para validar la efectividad del trabajo propuesto, se analiza y desarrolla la identificación de un intercambiador de calor considerando datos reales tomados en el laboratorio de control de procesos de Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG).

Palabras clave: Estimación de Parámetros, Identificación de Sistemas, *ARX*, *ARMAX*, *Output Error*, *Box Jenkins*.

Abstract.

This work proposes a prototype of a graphical user interface (GUI) for system identification of SISO (Single input-Single output) systems. The GUI is proposed as an alternative to the graphical interface *IDENT* of *MATLAB*. With the proposed algorithms it is possible to estimate and identify parameters of mathematical models (transfer functions of order “n”) of real processes. These algorithms can be used to identify real processes as heat-exchangers, electronic systems, mechanic systems, pneumatic systems, electric systems, among others. The identification is made by considering the black-box approach with standard methods as *ARX*, *ARMAX*, *Output-Error*, and *Box-Jenkins*. The model validation is done by considering transient analysis, impulse and step responses, and compare plots.

Frequency analysis is also considered as Bode, residual and LETFE plots. The Toolkit is freely available on the Mathworks file-exchange web-page. To validate the effectiveness of the proposed work, we have considered the parameter identification of a heat-exchanger system located in *the Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG)*.

Keywords: Parameter estimation, system identification, ARX, ARMAX, output error, Box Jenkins.

1. Introducción.

Debido a que los sistemas dinámicos abundan en nuestro medio ambiente, las técnicas de identificación de sistemas han cobrado gran relevancia en diversas áreas del conocimiento (ingenierías, economía, biotecnología, entre otros.), donde se requiere de un modelo preciso para fines de análisis, predicción, simulación, diseño y control. En particular, las técnicas de control actuales requieren de modelos matemáticos cada vez más exactos para el análisis y el diseño (Kunusch, 2003). Siendo que en muchos casos, tales modelos no pueden ser obtenidos en forma sencilla y económica a partir de las leyes que rigen cada proceso. Juega un papel decisivo la Identificación de Sistemas Dinámicos. Esta herramienta es capaz de proporcionar los métodos necesarios para obtener de manera relativamente sencilla los modelos matemáticos buscados con un alto grado de exactitud (Åström and Eykhoff, 1971). Estimar los parámetros es contar con un modelo que se comporte como el sistema real, es de vital importancia en el mundo del diseño de controladores, sobre todo aquellos basados en modelos. La *GUI* de identificación se presenta en este contexto como una ventana alternativa al *IDENT* de *MATLAB* (Ljung,2015), con una interfaz más amigable y está diseñado específicamente para identificación en lazo abierto de sistemas *SISO*. Es una herramienta para obtener modelos matemáticos de procesos reales y para facilitar la comprensión de todos los conceptos matemáticos. *CaToKi* (*Calculation Tool-Kit*) permite obtener modelos matemáticos en forma de función de transferencia, el modelo obtenido puede utilizarse para diseñar controladores y aplicarlos a los procesos. Con *CaToKi* los polinomios de la función de transferencia pueden obtenerse eligiendo una de las siguientes estructuras: *ARX*, *ARMAX*, *Output Error* y *Box-Jenkins*.

2. Métodos.

Modelos Dinámicos.

El modelo matemático de un sistema consiste en una descripción conveniente de algunas de sus propiedades y de acuerdo a un propósito particular. El modelo no necesita ser una exacta descripción del sistema y el usuario debe saber esto para poder llevar a cabo su propósito. Los modelos que aquí se analizan se presentan como funciones de transferencia. Estas funciones de transferencia toman la forma de acuerdo a las siguientes estructuras de modelado:

A. *ARX*

Es la relación entrada-salida más simple que se puede obtener (Fig.1), el modelo *ARX*, no es el modelo más natural, ya que el ruido es sumado a la salida, luego de pasar a través del denominador del sistema dinámico.

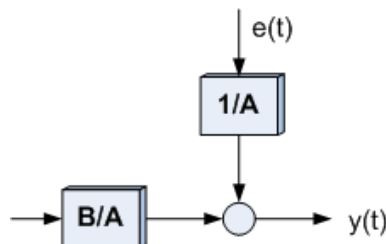


Figura 1. Estructura *ARX*.

$$y(t) + a_1 y(t-1) + \dots + a_n y(t-n_a) = b_1 u(t-1) + b_2 u(t-2) + \dots + b_{n_b} u(t-n_b) + e(t) \quad (2)$$

Debido a que el término de ruido blanco $e(t)$ entra como un error directo en la ecuación en diferencias, el modelo 2 es también conocido como modelo o estructura de ecuación de error. En este caso los parámetros a ajustar serán:

$$\theta = [a_1 \ a_2 \ a_3 \dots a_{n_a} \ b_1 \ b_2 \ b_3 \dots b_{n_b}]$$

Donde los polinomios son:

$$A(q) = 1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} + \dots + a_{n_a} q^{-n_a}$$

$$B(q) = b_1 q^{-1} + b_2 q^{-2} + \dots + b_{n_b} q^{-n_b}$$

Resultando:

$$y(t) = (B(q)/A(q)) + (1/A(q)) e(t) \quad (3)$$

A este modelo se lo conoce como estructura "ARX", donde "AR" hace referencia a la parte autorregresiva $A(q)$. $y(t)$ y "X" a la entrada extra (*extra input*) $B(q).u(t)$ también conocida como variable exógena. El flujo de señal de la Figura 1 nos indica que posiblemente éste no sea el modelo más natural desde un punto de vista físico, ya que el ruido blanco es sumado a la salida luego de pasar a través del denominador del sistema dinámico. Sin embargo, el conjunto de modelos de ecuación de error posee una propiedad importante que lo convierte en una primera elección en muchas aplicaciones y es que la forma del predictor define una regresión lineal.

B. Estructura ARMAX.

La principal desventaja del modelo 2 reside en la escasez o falta de libertad en la descripción del término de perturbación. Sin embargo, es posible incorporar mayor flexibilidad al modelado si es que agregamos un término conocido como media en movimiento (*moving average*) del ruido blanco.

$$y(t) + a_1 y(t-1) + \dots + a_n y(t-n_a) = b_1 u(t-1) + b_2 u(t-2) + \dots + b_{n_b} u(t-n_b) + e(t) + c_1 e(t-1) + \dots + c_{n_c} e(t-n_c) \quad (4)$$

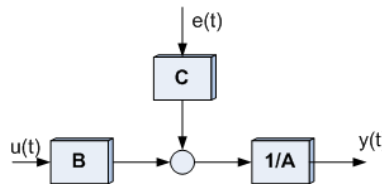


Figura 2. Estructura ARMAX.

Introduciendo un tercer polinomio.

$$C(q) = 1 + c_1 q^{-1} + c_2 q^{-2} + \dots + c_{n_c} q^{-n_c}$$

Las ecuaciones quedan:

$$y(t) = (B(q)/A(q)) + (C(q)/A(q)) e(t) \quad (5)$$

Y el vector de parámetros.

$$\theta = [a1 \ a2 \ a3 \ \dots \ ana \ b1 \ b2 \ b3 \ \dots \ bnb \ c1 \ c2 \ \dots \ cnc]$$

Debido al nuevo término de media en movimiento $C(q)e(t)$, el modelo será llamado *ARMAX* [6].

C. Estructura *Output Error*.

Las de modelado anteriores tienen al polinomio $A(q)$ como factor común en sus denominadores. Desde un punto de vista físico sería más natural parametrizar estas transferencias en forma independiente. Supongamos entonces por un momento que la relación entre la entrada y una salida no perturbada $w(t)$ puede ser representada como una ecuación en diferencias lineal, y que la perturbación consiste en ruido blanco.

$$W(t) + f_1 W(t - 1) + \dots + f_{n_f} W(t - n_f) = b_1 u(t - 1) + \dots + b_{n_b} u(t - n_b)$$

$$y(t) = W(t) + e(t) \tag{6}$$

$$F(q) = 1 + f_1 q^{-1} + f_2 q^{-2} + \dots + f_{n_f} q^{-n_f}$$

$$y(t) = (B(q) / F(q)) \cdot u(t) + e(t) \tag{7}$$

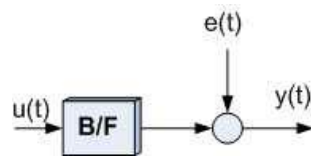


Figura 3. Estructura *Output Error*.

D. Estructura *Box-Jenkins*.

Este modelo fue presentado por Box y Jenkins (Box and Jenkins, 1970). El desarrollo del modelo de error de salida es para adicionar al modelo las propiedades del ruido en la salida. Pero si describimos esto mismo en el marco de un modelo *ARMA* llegamos al siguiente resultado:

$$y(t) = (B(q) / F(q)) u(t) + (C(q) / D(q)) e(t) \tag{8}$$

Esta es la parametrización de dimensiones finitas más natural si es que partimos del *ARX*, ya que Las funciones de transferencia G y H son parametrizadas en forma independiente como funciones racionales.

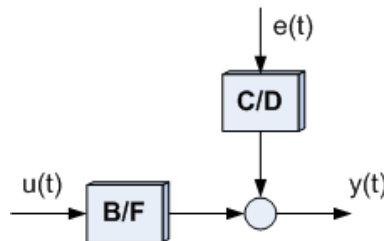


Figura 4. Estructura *Box-Jenkins*.

3. Desarrollo.

GUI de Identificación SISO.

El trabajo actual más importante en el campo de la identificación de sistemas es el de Ljung (Ljung, 2005), el cual sirve como teoría de base en la realización de este trabajo en conjunto con el *toolbox* (Ljung, 2015) de identificación de sistema de *MATLAB*. *CaToKi* es una interfaz gráfica la cual permite de manera interactiva encontrar, graficar y validar modelos matemáticos de procesos reales. Los modelos obtenidos por *CaToKi* son SISOs y lineales en forma de función de transferencia. La ventana principal se aprecia en la figura 5.

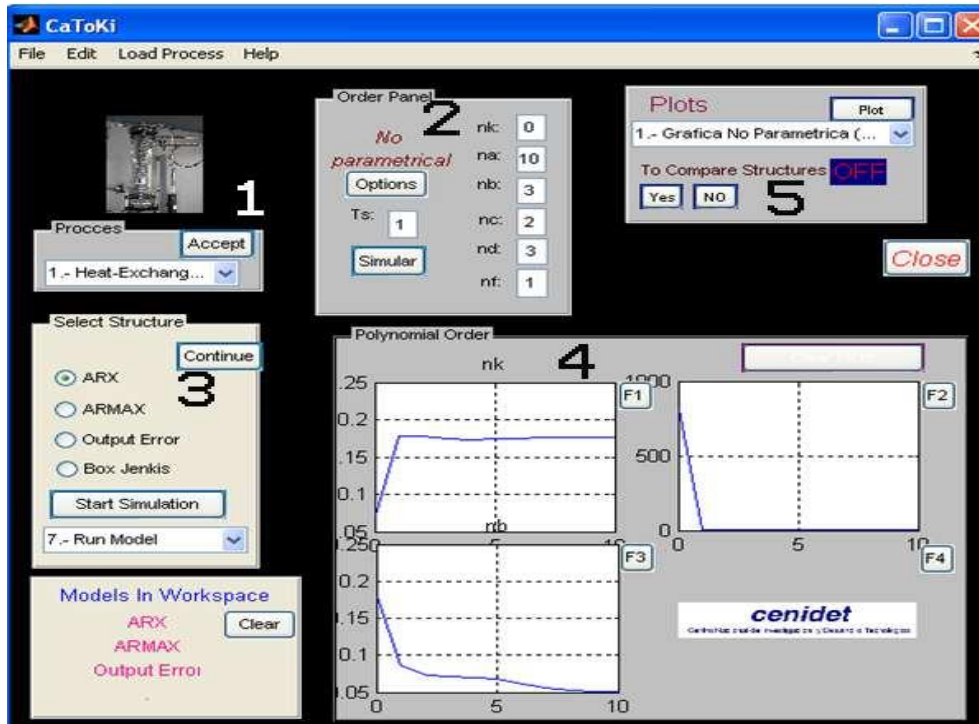


Figura 5. Panel principal.

El GUI está dividido en paneles. Estos paneles están ordenados de acuerdo a los pasos que se deben seguir para el proceso de identificación. De acuerdo a la figura 5 estos pasos son:

- 1.- Selecciona uno de los ejemplos precargados (datos tomados de Daisy data (Daisy, 2015)) o introduce los datos entrada-salida tomados del proceso por el usuario.
- 2.- El panel Orden tiene dos objetivos: a) Encontrar el modelo no paramétrico del sistema introduciendo el tiempo de muestreo con el cual se tomaron los datos. b) Introducir los órdenes de los polinomios “ na , nb , nc , nd , nk ” de acuerdo a la estructura seleccionada. Éstos se calculan mediante la *Loss Function* programada por Ljung.
- 3.- Selecciona la estructura a utilizar, la cual puede ser: *ARX*, *ARMAX*, *Output Error* o *Box Jenkins*.
- 4.- Mediante la *Loss Function* se determinan los órdenes correctos de los polinomios de cualquiera de las estructuras.

5.-Este panel permite validar el modelo encontrado mediante el uso de gráficas, tanto en respuesta temporal como frecuencial. El o los modelos obtenidos se imprimen en el *workspace* de *MATLAB*.

A. Identificación Paramétrica

Actualmente no existe ninguna herramienta que pueda seleccionar el grado apropiado de cada uno de los polinomios y es ahí en donde entra en juego el criterio ingenieril. Los conocimientos así como también la experiencia dentro del campo de estudio nos permitirá elegir los órdenes apropiados de los polinomios. Con el *GUI CaToKi* el problema de identificación se reduce a encontrar los órdenes de los polinomios del modelo. Cuenta con una instrucción que permite calcular la función de pérdida del polinomio. En otras palabras, permite seleccionar el orden de polinomio considerando el orden del sistema y la pérdida de información respecto a éste.

B. Resultados

Para ejemplificar el uso de *CaToKi*, se identifica un proceso real el cual se encuentra en el laboratorio de control automático de procesos del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico. El proceso es un módulo de control de nivel (RCN-100). Cuenta con un sensor ultrasónico, el cual arroja datos a la salida de 4-20 mA. El sistema trabaja dentro de una zona lineal de aproximadamente 0-18 cm, y a partir de ahí tiene un comportamiento no lineal, por lo que se trabajó dentro de esa zona. En esa zona, el convertidor de corriente a voltaje nos da 0.6 V para el nivel mínimo y 1.58V para el nivel máximo de 18cm. Los datos de salida son tomados con un tiempo de muestreo de 5 segundos. El conjunto de datos entrada-salida se guardan en un archivo txt (pueden ser también *.dat, *.mat), y se cargan a *CaToKi*, los datos de entrada salida se aprecian en la figura 6.

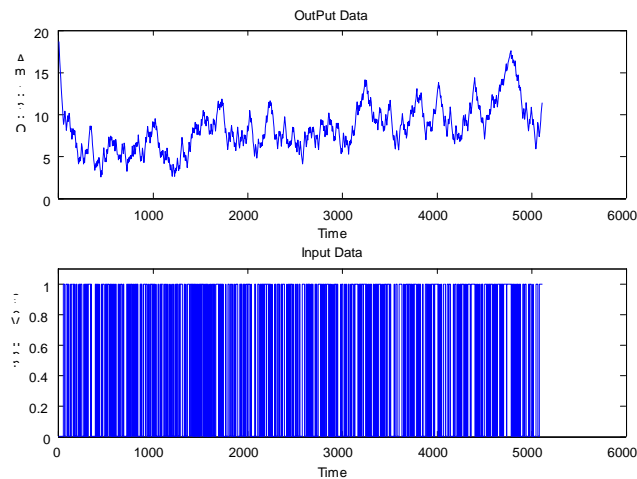


Figura 6. Datos de entrada-salida del módulo RCN-100.

Una vez que se tienen los datos de entrada salida, se prosigue a realizar el análisis espectral. El procedimiento a seguir es simple: solo con dar *click* en la opción *BODE Y SPA* del menú graficar, el cual arroja la gráfica de la figura 6. El criterio de evaluación se basa en qué tanto difiere la *SPA* de la *ETFE* (función de transferencia empírica). Un comportamiento semejante de ambas indica que los datos tomados del proceso son buenos para realizar una identificación y se puede proseguir con los pasos siguientes. De no ser semejantes esto se puede deber a diversos factores como son: tiempo de muestreo de los datos, mala planeación en la realización del experimento o integrados o derivadores debidos a la naturaleza del sistema (como lo es un péndulo invertido el cual tiene polos en el origen). Este último factor se analiza en la sección 3-D. La elección de una estructura apropiada (por ejemplo: *ARX*, *ARMAX*, etc.) es un paso crucial en el camino de la identificación de sistemas dinámicos. Dicha elección debe estar basada tanto en el entendimiento del proceso de identificación, como en un acabado conocimiento del sistema a identificar.

Con anterioridad se ha descrito una serie de estructuras típicas para ser usadas en identificación. Lo que se propone ahora es complementar dichas listas con una discusión detallada acerca de cómo arribar a un modelo, guiados tanto por el conocimiento del sistema como por el conjunto de datos recolectados.

C. Validación.

El modelo estimado puede llegar a ser el mejor disponible; sin embargo, más importante aún es saber a ciencia cierta si dicho modelo es suficientemente bueno para nuestros propósitos. El proceso de evaluación de un modelo para determinar si es el apropiado es conocido como validación del modelo. Para el ejemplo de control de nivel con estructura ARMAX los órdenes del modelo son: $[na, nb, nc, nk]=[4\ 2\ 3\ 0]$. El modelo obtenido es:

$$A(q) = 1 - 2.786q^{-1} + 3.128q^{-2} - 1.692q^{-3} + 0.3716q^{-4}$$

$$B(q) = -0.01682 + 0.0374q^{-1}$$

$$C(q) = 1 - 1.849q^{-1} + 1.198q^{-2} - 0.1909q^{-3}$$

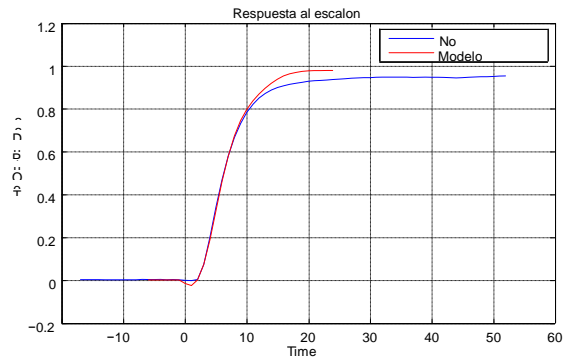
CaToKi realiza la validación del modelo en base a su respuesta temporal y de frecuencias. También se hace el cálculo de residuos del modelo y se comparan dato con dato los datos de salida del modelo aplicando la misma entrada que al proceso real. Las gráficas que se obtienen son las siguientes:

Gráficas de Respuesta Temporal.

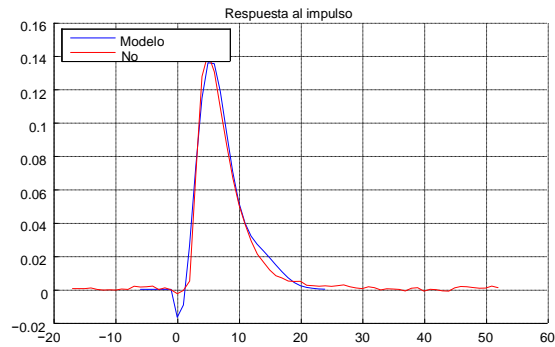
Aplicando a la entrada del modelo una señal de entrada impulso y escalón, tanto al modelo obtenido como al modelo no paramétrico, se grafican ambos y se observan si tienen un comportamiento semejante y, de ser necesario, se calcula el error. Para el ejemplo de control de nivel estas graficas se aprecian en las figura 7a y 7b.

Gráficas de Respuesta Frecuencial.

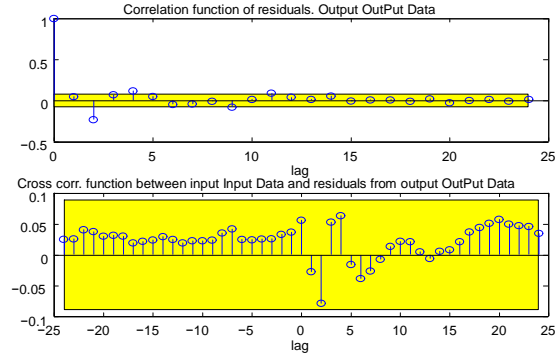
Esta es una de las pruebas principales: graficar la traza de bode del modelo y compararlo con el modelo no paramétrico para observar si tienen un comportamiento similar. Esta gráfica se puede obtener de manera fácil con CaToKi seleccionando en el menú graficar. En la figura 8a se observa que los dos trazos de bode son prácticamente idénticos, por lo que respalda la validez del modelo encontrado para el ejemplo de control de nivel.



(a)



(b)



(c)

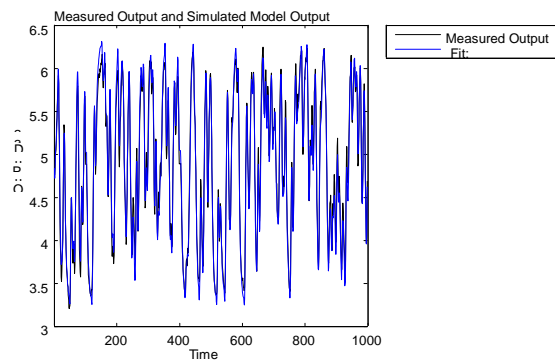


Figura 7. Gráficas de validación del modelo: a) Respuesta Escalón, b) Respuesta Impulso, c) Gráfica de Residuos, d) Gráfica de Comparación.

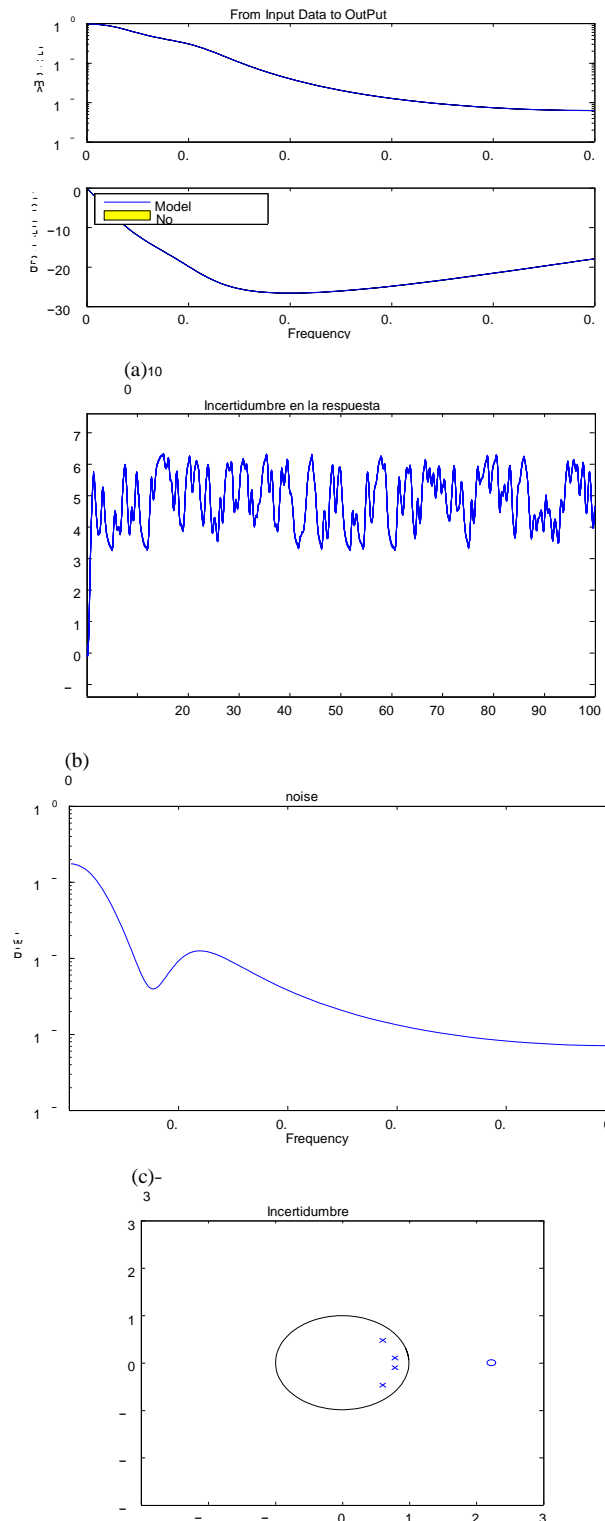


Figura 8. Gráficas de validación del modelo : a) Trazos de Bode, b) Incertidumbre en la Frecuencia, c) Espectro de Ruido, d) Polos y Ceros.

Gráficas de residuo.

Los residuos asociados con los datos y el modelo dado (diferencia entre la salida real del proceso y la salida estimada con el modelo) son independientes de la entrada y tienen, idealmente, características de ruido blanco. *CaToKi* determina el error del modelo encontrado. La gráfica de residuo para el ejemplo de control de nivel se aprecia en la figura 7c.

Mediante el uso del *toolbox* de identificación de sistemas, *CaToKi* calcula los residuos y lleva a cabo los análisis de independencia y blancura. Se presenta entonces en pantalla la función de autocorrelación de e y la función de intercorrelación entre u y e hasta el retardo número 25. También son exhibidos los intervalos de confianza de estas funciones, asumiendo que e es blanco e independiente de u .

El criterio de análisis de esta gráfica es simple: la banda amarilla indica el error permitido para el modelo, por lo que si todos los residuos se encuentran dentro de esta banda es indicativo de que el error está dentro del permitido. Para este caso es de 0.2 y por ende la estimación de los parámetros del modelo es correcta y válida.

Gráficas de Compare.

Permite saber si el modelo escogido es capaz de reproducir los datos que se observan, a partir de excitar al modelo con una cierta entrada $u(t)$. El *GUI* corre una simulación excitando el modelo a la entrada con los datos originales. La gráfica resultante se aprecia en la figura 7d. La gráfica en sí puede resultar un poco confusa, pero lo más importante de ésta es que nos arroja un dato numérico, el cual nos indica el ajuste entre el modelo obtenido y la función de transferencia no paramétrica.

Otros Gráficos.

Otros gráficos que se pueden determinar con *CaToKi* son:

- Incertidumbre en la respuesta frecuencial figura 8b.
- Espectro de ruido figura 8c.
- Polos y ceros figura 8d, útil si se desea diseñar un controlador.

D. Menú de Análisis Diferencial-Integral.

Existen ciertos sistemas que tienen un integrador o derivador a la entrada y/o salida. En otras palabras, existen sistemas que son de naturaleza inestable y pueden tener polos o ceros en el origen. A este tipo de sistemas se les tiene que hacer un tratamiento a los datos antes de continuar con el proceso de identificación. Este tratamiento se puede hacer fácilmente con el *GUI CaToKi*. Seleccionando en el botón opciones, aparece un submenú (ver figura 9), el cual permite darle el tratamiento adecuado a todo el conjunto de datos (integración o derivación del conjunto de datos).

$$d^n (\text{datos}) / d t^n \quad (8)$$

$$\int (\text{datos}) dt \quad (9)$$

Una vez que se le ha dado tratamiento a los datos, se realiza la estimación de los parámetros del sistema. Para el control de nivel no es necesario utilizar integradores, pero supongamos el siguiente ejemplo:



Figura 9. Menú de opciones.

Si se tiene un sistema con un doble integrador a la salida (por ejemplo un péndulo invertido), quiere decir que tiene dos polos en el origen. Esto indica que es marginalmente estable, por lo que para poder realizar una buena identificación antes de proceder, habría que derivar dos veces los datos de salida para poder realizar la identificación y de esta manera eliminar el efecto del doble integrador. Entonces, se puede calcular el modelo matemático. Una vez encontrado el modelo, antes de poder realizar las gráficas de validación, habría que integrar dos veces el modelo para que éste recupere el efecto del doble integrador y de esta manera el proceso de identificación sea válido.

El proceso es complicado ya que resulta más difícil integrar un conjunto de datos y comparar a estos con el modelo encontrado. Es aquí donde *CaToKi* demuestra nuevamente su utilidad, ya que para realizar este procedimiento basta con seleccionar a qué parte del conjunto de datos se desea afectar entrada, salida o el modelo. *CaToKi* realiza el procedimiento cuantas veces sea necesario de una manera sencilla, eficaz y confiable.

E. Análisis de Resultados.

Este experimento se basa en una estructura *ARMAX* por lo cual deben de estimarse los parámetros de tres polinomios más un retardo. Con *CaToKi*, la parte más importante del proceso es determinar los órdenes de cada uno de estos polinomios. Para el control de nivel, el resultado es un modelo de orden 4. Una vez obtenido el modelo matemático, se le aplicaron diferentes análisis. Estos análisis permiten validar el modelo calculando el error y la estabilidad. El error permite conocer (gráficas de residuos y de *compare*) qué tanto se puede reproducir la salida real con el modelo calculado aplicando la misma entrada. La gráfica de polos y ceros determina la estabilidad útil para el diseño de controladores en línea o fuera de línea. El ejemplo de control de nivel pasa cada una de las pruebas de validación, por lo cual se concluye que la identificación fue exitosa.

Comparación con el Ident de Matlab.

MATLAB cuenta con un *GUI* de identificación llamado *IDENT*, el cual nos permite al igual que *CaToKi* calcular los parámetros de un modelo *ARX*, *ARMAX*, *Output Error*, *Box Jenkins*. Por eso se enumeran a continuación las ventajas de utilizar el *GUI CaToKi* en comparación con el *IDENT*:

- Presenta una interfaz más amigable y está diseñado específicamente para identificación en lazo abierto de sistemas *SISOs*.
- Permite el tratamiento de los datos derivando o integrándolos según sea el caso, para aquellos que presenten polos o ceros en el origen.

- El código fuente está a disposición de la comunidad de investigadores y estudiantes (disponible en archivos compartidos en la página de MATLAB (López-Estrada, 2015)), cero costos.
- El diseño del *GUI* está basado en los primeros 14 capítulos del libro en (Ljung, 2005), por lo que es ideal para profesores y estudiantes de identificación de sistemas.

Conclusiones.

A esta altura resulta obvio que la limitación en el uso de las técnicas de identificación está estrechamente relacionada con la disponibilidad de un buen conjunto de datos y de eficientes estructuras de modelado. Ya que, sin un razonable registro de datos no se puede hacer mucho, una razón es que la entrada no debe estar abierta para manipulaciones, las manipulaciones en la entrada podrían empeorar la relación señal a ruido y no se podría garantizar la total identificabilidad del sistema. Un ejemplo cercano es el módulo de control de nivel el cual se identificó satisfactoriamente mediante el *GUI CaToKi*. Como se demostró *CaToKi* permite identificar sistemas *SISO*, de una manera más interactiva, y creativa. De igual manera, una vez que hemos obtenido el modelo del sistema, podemos jugar con él, cambiando los órdenes en las entradas sin la necesidad de cambiar el programa ó modificar los datos. La validación se realiza mediante gráficas de respuesta temporal y en la frecuencia para cualquiera de las estructuras que se seleccione, por lo que los modelos obtenidos son confiables y aplicables en el diseño de controladores.

Referencias Bibliográficas.

Åström, K. J., & Eykhoff, P. (1971). System identification—a survey. *Automatica*, 7(2), 123-162.

Base de datos de Daisy: www.esat.kuleuven.ac.be/tokka/daisydata.html.

Box, G.E.P and G.M. Jenkins (1970). *Time Series Analysis, forecasting and control*. Holden-Day. Oakland, California.

Ho, B.L. y R.E. Kalman (1965). *Effective construction of linear state-variable models from input-output functions*. *Regelungstechnik* 12, 545-548.

Kunusch C. (2003), *Identificación de sistemas dinámicos*, Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Ingeniería Electrónica.

Ljung L. (1999), (2005), *System Identification, Theory for the User*. Cap. 1-14. Edit, Springer.

Ljung L, (2015). *System Identification Toolbox (user guide)*. The Math Works. www.mathworks.com

López-Estrada, F. R. (2015), *System Identification Toolkit, CaToKi 1.0 y Catoki 2.1*, Matlab File-Exchange: www.mathworks.com

Información de los autores.



Francisco Ronay López Estrada, recibió su Doctorado en Ciencias en Control Automático por la universidad de Lorraine, France, en 2014, y su Doctorado en Ciencias en Ingeniería Electrónica por el Centro Nacional de Investigación (CENIDET) en 2015. Recibió el grado de maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica por el CENIDET en 2008. Ha sido profesor del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez desde 2008 adjunto al departamento de Ingeniería Electrónica. Sus intereses de investigación son: los sistemas lineales de parámetros variantes, sistemas de detección de fallas, sistemas descriptores, control de procesos y control de vehículos aéreos no tripulados.



Álvaro Hernández Sol, es Ingeniero en Electrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Es profesor de tiempo completo en el área de ingeniería electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y es investigador desde 1997. Siendo jefe de proyectos de investigación de ingeniería electrónica desde el 2001. Fundó y asesora el “club de robótica del ITTG”. Colabora en la línea de investigación de “robótica” de Ingeniería electrónica y dirige el área de trabajo en “sistemas aéreos autónomos”.



Joaquín Eduardo Domínguez Zenteno, es Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica egresado del Instituto Tecnológico de Toluca, Ingeniero en Electrónica con especialidad en Instrumentación y Control por el Instituto Tecnológico de Nuevo León, en Cd. De Guadalupe, Nuevo León. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y Jefe de Proyectos de Vinculación de Ingeniería Electrónica. Es investigador desde 2009 y colabora en la línea de investigación de “Instrumentación” de Ingeniería electrónica.



José Ángel Zepeda Hernández, es Ingeniero Industrial en Eléctrica y Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez e investigador desde 1999, Imparte cátedra en el área de Ingeniería Electrónica y la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica en el ITTG, donde imparte las asignaturas de diseño con transistores y electrónica básica respectivamente. Líder de la línea de investigación y generación del conocimiento “Instrumentación”.



Ildberto de los Santos Ruiz, es Ingeniero en Electrónica y Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Es profesor a tiempo completo en el Departamento de Ciencias Básicas del ITTG desde 1995, donde investiga sobre modelado, simulación y control de sistemas dinámicos.



Raúl Moreno Rincón, es Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica egresado del Instituto Tecnológico de Toluca, Maestro en Educación Superior por la Universidad Autónoma de Chiapas e Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica por la ESIME-IPN, en la ciudad de México, D.F. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y Jefe de Proyectos de Docencia de Ingeniería Electrónica. Es investigador desde 1999 y colabora en la línea de investigación de “Robótica” de Ingeniería electrónica, en donde ha realizado proyectos como: Sistema de alarma para personas con deficiencia auditiva basado en XBEE, Robot de cafetería, araña hexápoda, entre otros.

Control de velocidad difuso aplicado a una mezcladora de pinturas.

Speed fuzzy control applied to a paint-mixer machine.

Álvaro Hernández Sol (1).
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
ing_sol10@yahoo.com.mx

José Ángel Zepeda Hernández (2). I.T. Tuxtla Gutiérrez. jzpedah@ittg.edu.mx.

Raúl Moreno Rincón (3). I.T. Tuxtla Gutiérrez. rmoreno@ittg.edu.mx.

Francisco Ronay López Estrada (4). I.T. Tuxtla Gutiérrez. frlopez@ittg.edu.mx.

Karla del Carmen Chimeca Rossier (5). CONALEP plantel 244. krossier69@hotmail.com.

Artículo recibido en junio 23, 2015; aceptado en octubre 12, 2015.

Resumen.

El presente artículo describe la aplicación de técnicas de control de lógica difusa aplicado en el motor de una mezcladora de pinturas, para controlar la velocidad de mezclado. Se implementó un prototipo de mezcladora que consta de un motor de 24 volts a 7.5 amperes. Se propuso la utilización de cinco conjuntos difusos tanto de entrada como de salida para obtener un sistema de control estable y con un porcentaje de error menor al 1%. Se realizaron las pruebas en el prototipo obteniendo una optimización en los tiempos de mezclado, así como una reducción de costos en el consumo de energía.

Palabras clave: Control, mezcladora de pintura, lógica difusa, conjuntos difusos.

Abstract.

This paper describes the application of control techniques fuzzy logic that applies on motors of paint mixer that mixes for the control in the speed. A prototype mixer comprising a motor between 24 volts to 7.5 amperes. The use of five fuzzy sets both input and output looking for stable control system and a lower error ratio 1%. The tests were conducted on the prototype to obtain an optimization of mixing times and a cost reduction in power consumption.

Keywords: Control, paint mixer, fuzzy logic, fuzzy sets.

1. Introducción.

La igualación del color es una tarea compleja para el pintor, por diversos motivos. Por un lado, los efectos de color son cada vez más difíciles de reproducir; por otro lado, la pintura utilizada en primeros equipos es de diferente naturaleza y se aplica con sistemas distintos a los del taller de reparación. Por añadidura, puede ocurrir que el pintado se realice sobre trabajos anteriores que no se hubiesen igualado apropiadamente.

La máquina mezcladora; es usada para mezclar mecánicamente. Equipada para tener todas las pinturas a utilizar en las mezclas. El usuario acciona un reloj sincronizado que remueve a cada pintura en ciclos de 15 a 20 minutos. Se utilizan para que la pintura no se concentre en el fondo de cada recipiente.

Los sistemas con que se cuentan en el mercado son sistemas electrónicos sofisticados y de costos elevados; éste proyecto pretende abaratar los costos de implementación, inversión y de mantenimiento, al sector industrial dedicados a éste ramo. Automatizando la rotación de una mezcladora en la igualación de colores reduciendo con esto: tiempos y mejora en la calidad del servicio. Cabe mencionar que en nuestra localidad las industrias (ya sean pequeñas o medianas) dedicadas a éste rubro no cuentan con este tipo de sistema.

2. Métodos.

2.1. Lógica difusa.

La lógica difusa define la realidad en diferentes grados de verdad. Sigue patrones de razonamiento similar a los del pensamiento humano. Es Flexible.

Ejemplo: según la lógica convencional, un recinto está solamente “oscuro” (0) o “claro” (1). Para la Lógica Difusa son posibles condiciones intermedias como “muy claro”, “algo oscuro”, “ligeramente claro”, etc.

La lógica Difusa nos permite ser relativamente “imprecisos” en la representación de un problema y aun así llegar a una muy buena solución. Maneja la incertidumbre y la imprecisión. Un ejemplo clásico es el de “aparcarse un coche”.

Este se puede aparcarse fácilmente cuando no se ha fijado una posición final exacta. Pero si se fija una posición final deseada en milímetros y segundos de arco, la solución de este problema tardaría mucho (cálculos complejos) y su costo sería elevado.

2.2.- Conjuntos difusos.

Es un conjunto que puede contener elementos con grados parciales de pertenencia, a diferencia de los conjuntos clásicos en los que los elementos pueden “pertener” ó “No Pertener” a dichos conjuntos.

Un conjunto no tiene límites claramente definidos o precisos. La transición de la pertenencia o no-pertenencia de un elemento, es gradual, y esta transición está caracterizada por funciones de membresía; como se muestra en la ecuación 1.

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad (1)$$

Dónde:

$\mu_A(x)$ se conoce como la función de membresía.
 X es llamado el universo de discurso.
 x son los elementos de ese universo.

El grado de pertenencia de un elemento a un conjunto viene determinado por una función de pertenencia, que puede tomar todos los valores reales comprendidos en el intervalo $[0,1]$.

2.3 Funciones de membresía.

Como menciona Ross Timothy J (2002) las funciones de membresía corresponden a una curva que determina el grado de pertenencia de los elementos de un conjunto. Se denota generalmente por μ_A y puede adoptar valores entre 0 y 1.

Es una representación asociada a intervalos del universo del discurso que mapean un valor entrada exacta o medible y le asignan un grado de pertenencia a los conjuntos difusos entre 0 y 1. La forma de las funciones de pertenencia puede ser diversa, entre las más comunes son las siguientes:

- Trapezoidales.
- Triangulares.
- Exponenciales.
- Polinómicas.

2.4 Sistemas de control difuso.

Se basa en reglas producto de la experiencia, la intuición y el sentido común del ser humano. Utiliza técnicas para manejar la imprecisión. Implementa estrategias de control en términos lingüísticos, por ende impreciso, propio de la lógica difusa.

Esta técnica soporta el razonamiento aproximado, en particular el razonamiento con sentido común y por ello escapa del alcance de la lógica clásica. La imprecisión que se modela con la lógica difusa no hace referencia a errores en las medidas (entradas), ni en las variables aleatorias (perturbaciones), ni a procesos estocásticos. Bajo cualquiera de estas circunstancias, un controlador difuso toma una decisión de actuación más acertada que uno convencional. Controladores difusos.

Trabajan diferente que los convencionales; el conocimiento experto se utiliza en vez de las ecuaciones diferenciales para describir un sistema. Con variables lingüísticas, descritas por los conjuntos difusos.

Propósito: influenciar el comportamiento cambiando una entrada de información según una regla o conjunto de las reglas que modelan cómo el sistema funciona.

La teoría de control clásica utiliza un modelo matemático. Típicamente infiere los consecuentes de un conjunto más o menos grande de reglas simples (base de conocimiento); tal proceso de razonamiento se puede realizar en paralelo, obteniéndose el resultado mediante una sencilla suma lógica. Esta capacidad de procesamiento en paralelo permite que incluso controladores relativamente complejos puedan realizar la inferencia difusa en un tiempo de cálculo mínimo.

Además, debido a las características de la lógica difusa, muchas veces es posible llegar a diseñar un regulador bien ajustado al proceso aprovechando la experiencia previa de un operador, eliminando de esta manera la necesidad de complejos y laboriosos estudios técnicos del problema de control.

Componentes de un sistema de control difuso.

Estos modelos se basan en un conjunto de reglas heurísticas donde las variables lingüísticas de las entradas y salidas se representan por conjuntos difusos. Entre los componentes de un controlado difuso se tienen:

- Escalado de entrada.
- *Fuzzificación* de entradas.
- Inferencia o reglas de activación.
- *Defuzzificación* de salidas.
- Desnormalización de salida.

La figura 1 muestra las principales componentes de un sistema de control difuso:

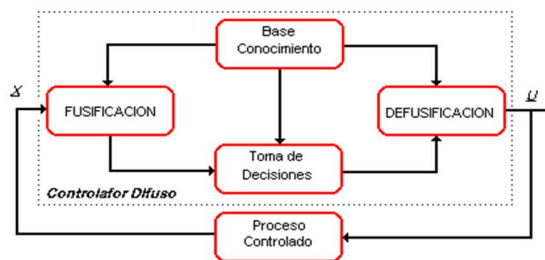


Figura 1. Componentes de un sistema difuso.

3. Desarrollo.

Este proyecto pretende tener un control sobre la velocidad de rotación de una mezcladora que se utilizará en la igualación de colores para pinturas; ya que en algunos negocios o microempresas dedicadas a éste rubro, por ejemplo: talleres mecánicos automotrices, de motocicletas, talleres de rotulación. Los procesos se hacen de manera manual con lo cual el proceso resulta lento.

El sistema va a constar de un motor de 24 volts de C.C. que tiene acoplado en un extremo del eje un *encoder* del tipo óptico (también llamado del tipo ventana, por su forma); del cual obtendremos una señal de frecuencia respecto a la velocidad del motor, ésta señal es procesada a través de un convertidor de frecuencia a voltaje y luego se amplifica. Esta señal obtenida del amplificador es encaminada a una terminal del puerto A del microcontrolador, la cual es configurada como entrada analógica y en la cual se hará el proceso de la velocidad que deseamos y la velocidad que estamos obteniendo del sensor.

Consta de un teclado y un *display*, en la cual se le introducirá la velocidad deseada y se desplegará dicho valor. El motor será montado de forma horizontal sobre una base metálica, en un extremo de su eje tiene un engrane que a su vez va acoplado a un engrane del tipo vertical, en el cual va colocada la varilla con las aspas que servirá para el mezclado de pinturas.

3.1 Diagrama a bloques del sistema.

Nuestro sistema al inicio solicita por medio de un *display* de cristal líquido seleccionar una de las cinco velocidades para la que está configurado el motor, ese valor es introducido a nuestro sistema mínimo (basado en un microcontrolador PIC16F877) el cual lo procesa y actúa conforme a la información recibida y transmite esta información a la etapa de acoplamiento de la señal en la cual habilita al motor para su funcionamiento. El motor cuenta con un *encoder* del tipo óptico, en la cual obtenemos una señal de salida y es introducida a nuestro sistema mínimo tomando los flancos de subida de la señal, para que compare la información que se está midiendo y la solicitada por el usuario. En la figura 2 se muestra el diagrama a bloques de nuestro sistema (Coughlin y Driscoll, 1998).

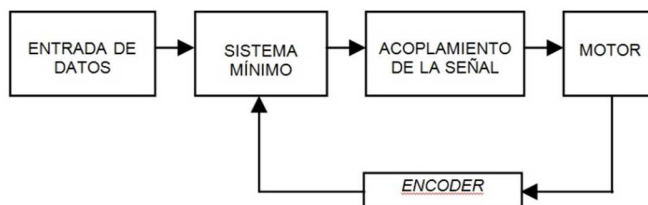
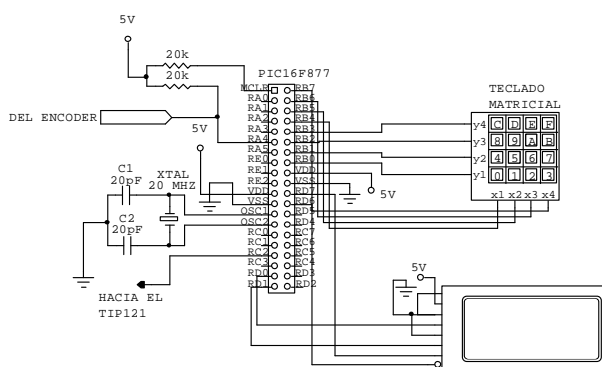


Figura 2. Diagrama a bloques del Sistema.

3.2 Sistema mínimo.

El microcontrolador es la parte más importante del sistema, dado que es quien toma las decisiones sobre las acciones ejecutadas. Las funciones que realiza el microcontrolador son las de verificar los datos que introduce el usuario y verificar los datos recibidos por el *encoder*; para comparar ambos y con esta información controlar la velocidad del motor. (González Vázquez José Adolfo, 2000).

El microcontrolador utilizado es el PIC16F877, con frecuencia de ejecución de 20 MHz. Una de las terminales del puerto A es utilizada para registrar los cambios de la señal del *encoder* y es configurado como entrada. Una terminal del puerto C es configurada para la salida de PWM, que habilita al motor de CD. En la figura 3 se muestra el esquema del sistema mínimo



$$F \equiv \frac{20 \times 10^6}{4 \times 1 \times PR2} \equiv 19.3 \text{ KHz.} \tag{2}$$

En donde: PR2= 255.

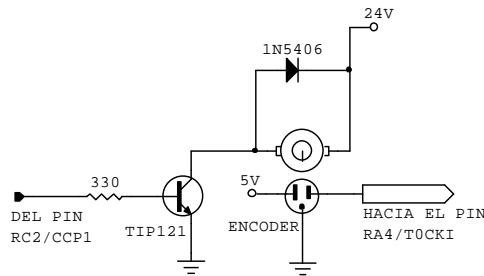


Figura 5. Diagrama de acoplamiento de la señal.

Para calcular la velocidad del motor se utilizó la ecuación 3.

$$S\omega \equiv \frac{f_c * 60}{n * r}. \tag{3}$$

En donde:

S_w es el valor de la velocidad en r.p.m.

f_c es la frecuencia de salida

n es el número de slots (ventanas) en el disco

r es la relación de vueltas.

3.4 Cálculo del control difuso.

En la figura 6 podemos observar que se utilizaron 5 conjuntos difusos de tipo trapezoidal para la variable de entrada, mientras que en la figura 7 se muestra los 5 reglas de INFERENCIA de salida. Se seleccionaron 5 rangos de valores de RPM que utilizaremos para determinar que tan alejado del valor de referencia está el sistema (tabla 1).

La variable de entrada es el error = $V_{DESEADA} - V_{MEDIDA}$

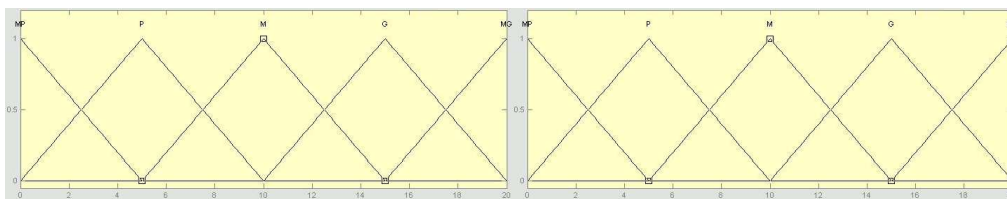


Figura 6. Conjuntos de entrada.

Tabla 1. Valores de los conjuntos de entrada.

Conjunto.	Valor en rpm.	Valor hexadecimal.
Muy Pequeño (MP)	0-5	0-5
Pequeño(P)	0-5-10	0-5-0A
Mediano (M)	5-10-15	5-0A-0F
Grande (G)	10-15-20	0A-0F-14

Muy Grande (MG)	15-20	0F-14
-----------------	-------	-------

Los conjuntos de salida están designados con los valores que se muestran en la tabla 2.

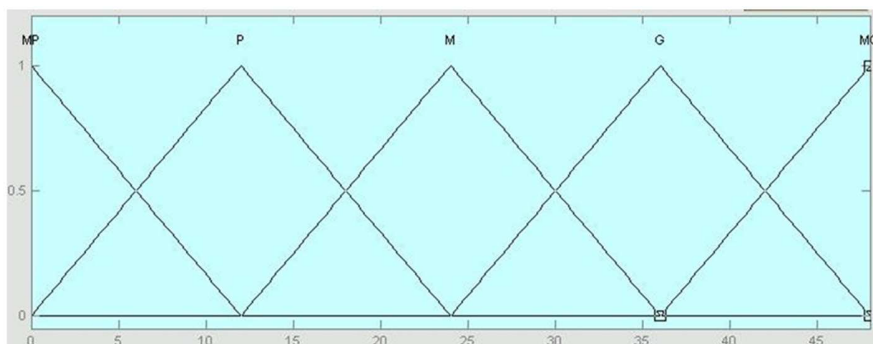


Figura 7. Conjuntos de Salida

Tabla 2. Valores de los conjuntos de salida.

Conjunto.	Valor hexadecimal.
Muy Pequeño (MP)	0-12
Pequeño(P)	0-12-24
Mediano (M)	12-24-36
Grande (G)	24-36-48
Grande (MG)	36-48

En la figura 8, se muestra un ejemplo para el cálculo de las pendientes m_1 y m_2 , de un conjunto difuso.

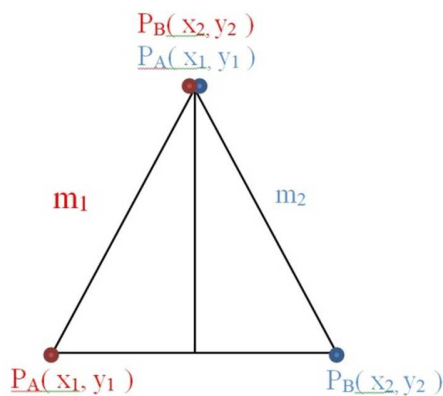


Figura 8. Cálculo de las pendientes en un conjunto difuso.

$$m_1 \equiv \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \tag{4}$$

$$m_2 \equiv \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \tag{5}$$

Los valores de las Pendientes para cada conjunto de la variable de entrada, se obtienen sustituyéndolos en las ecuaciones 4 y 5:

Tabla 3. Valores de pendientes a utilizar.

Rango.	Pendientes.	
Muy Pequeño (MP)	$m_1 \equiv 0$	$m_2 \equiv \frac{0-14}{5-0} \equiv -4$
Pequeño (P)	$m_1 \equiv \frac{14-0}{5-0} \equiv 4$	$m_2 \equiv \frac{0-14}{A-5} \equiv -4$
Medio (M).	$m_1 \equiv \frac{14-0}{A-0} \equiv 4$	$m_2 \equiv \frac{0-14}{F-A} \equiv -4$
Grande (G)	$m_1 \equiv \frac{14-0}{F-A} \equiv 4$	$m_2 \equiv \frac{0-14}{F-A} \equiv -4$
Muy Grande (MG)	$m_1 \equiv \frac{14-0}{14-F} \equiv 4$	$m_2 \equiv 0$

Determinación del offset para las diferentes combinaciones que puedan existir de los conjuntos activados.

Si se activa únicamente el conjunto Muy Pequeño (MP), $off = 0$.

Si se activa los conjuntos Muy Pequeño (MP) y Pequeño (P), $off = 0$.

Si se activa los conjuntos Pequeño (P) y Medio (M), $off = 5$.

Si se activa los conjuntos Medio (M) y Grande (G), $off = A$

Si se activa los conjuntos Grande (G) y Muy Grande (MG), $off = F$.

Si se activa únicamente el conjunto Muy Grande (MG), $off = F$.

En la ecuación 6, se calcula el valor de pertenencia del primer conjunto activado.

$$\mu_1 \equiv 14 - (Error \vee -off) * m_2 \vee \quad (6)$$

μ_1 = es el valor de la pertenencia del primer conjunto activado.

$Error$ = magnitud del error.

off = offset del origen del universo de trabajo al origen de la pendiente m_2 del primer conjunto activado.

En la ecuación 7, se calcula el valor de pertenencia del segundo conjunto activado.

$$\mu_2 \equiv (Error \vee -off) * m_1 \vee \quad (7)$$

μ_2 = valor de pertenencia en el segundo conjunto activado.

off = offset del origen del universo de trabajo al origen de la pendiente m_1 del segundo conjunto activado.

3.5 Diagrama de flujo del sistema.

El sistema despliega un menú de cinco velocidades al inicio, con el teclado matricial se selecciona la velocidad que deseamos. El microcontrolador realiza el proceso; mediante el cual se logra que el motor alcance dicha velocidad. En la figura 9 y 10 se muestran los diagramas de flujo del sistema.

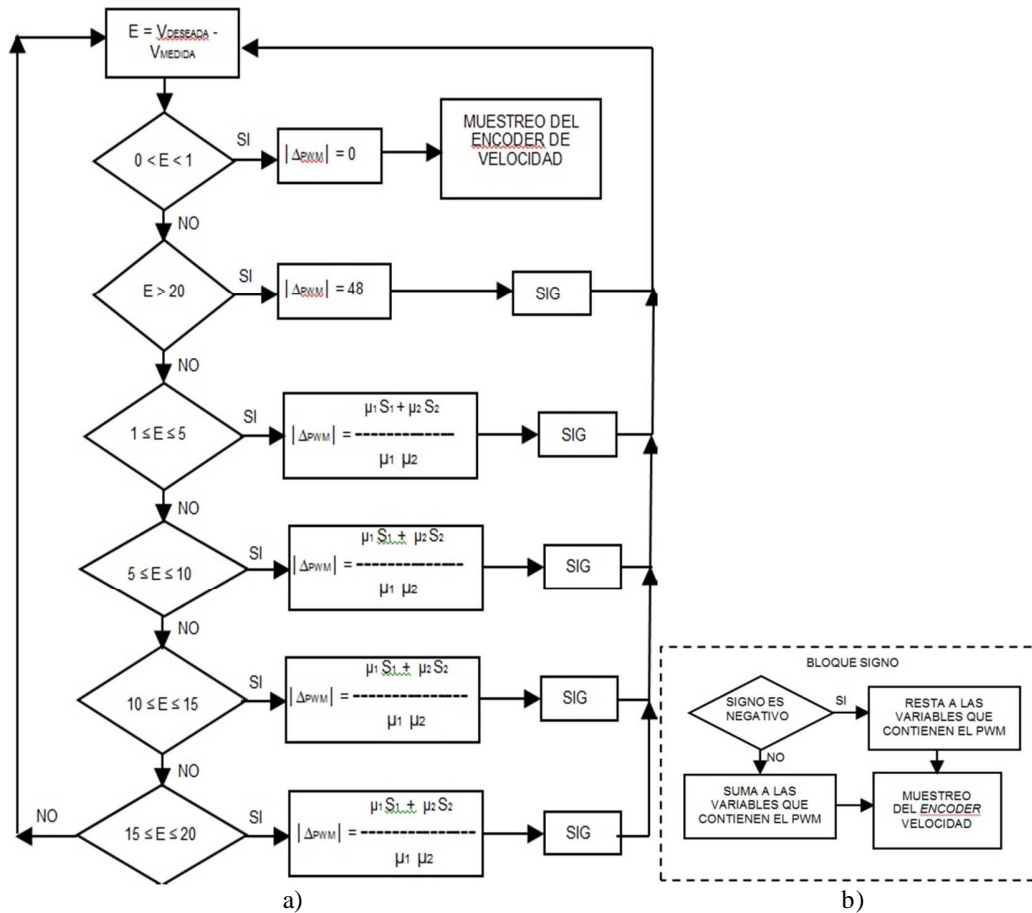


Figura 10. Diagrama de flujo del Proceso Difuso. a) Principal. b) Función signo.

Resultados.

Los valores de los conjuntos de salida se obtuvieron en base a pruebas de estabilidad y tiempo para alcanzar la velocidad deseada del motor. Con conjuntos de incremento muy pequeños (incrementos de 4 unidades), el tiempo para alcanzar dicha velocidad se hace demasiado lento. Si los conjuntos eran demasiado grandes (incrementos de 25 unidades) el sistema se hace demasiado inestable, con variaciones de 8 RPM -10 RPM en las velocidades medidas. Terminando los ajustes y correcciones, se implementó el algoritmo y se obtuvieron resultados finales:

Frecuencia máxima del PWM de 19.6 Khz., con la resolución de 10 bits. Las velocidades de control del motor que quedaron establecidas en el sistema debido a la estabilidad y a su funcionamiento, teniendo un margen de error de ± 1 RPM, son:

Revoluciones por minuto (RPM).	Tiempo para término de proceso.
80	240 seg.
120	210 seg.
160	180 seg.
200	150 seg.
240	120 seg.

Los resultados presentados en este artículo, fueron obtenidos sin tener en cuenta la viscosidad del líquido. Cuando se realizaron las pruebas en el recipiente de mezclado, se verificó una reducción del 1% en la velocidad que se quería obtener.

Conclusiones.

Realizadas las pruebas necesarias al sistema de control y haber obtenido resultados satisfactorios, se llega a la conclusión que presenta un buen desempeño. Los conjuntos difusos obtenidos fueron los óptimos para las velocidades que se deseaban, estas velocidades se mantienen constantes y la estabilidad del mismo es confiable. Además los cambios de velocidad son suaves.

El proyecto en el aspecto económico presenta la característica de ser viable, ya que los componentes utilizados son comerciales (motor, TIP121, Microcontrolador PIC16F877) y además de un bajo costo.

Referencias Bibliográficas.

Coughlin Robert F., Driscoll Frederick F., (1998). “*Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*”, Prentice Hall. México.

González Vázquez José Adolfo, (2000). “*Introducción a los microcontroladores. Hardware, software y aplicaciones*”. Mcgraw Hill. México.

Lilen Henri, (2001). “*Tiristores y triacs*”, Alfaomega-Marcombo. México.

Ross Timothy J., (2002). “*Fuzzy logic with engineering applications*”. Mc. Graw Hill. México.

Información de los autores.



Álvaro Hernández Sol es Ingeniero en electrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y es investigador desde 1997. Siendo Jefe de proyectos de investigación de ingeniería electrónica desde el 2001. Fundó y asesora el “Club de robótica del ITTG”. Colabora en la línea de investigación de “Robótica” de Ingeniería electrónica y dirige el área de trabajo en “sistemas aéreos autónomos”.



José Ángel Zepeda Hernández es Ingeniero Industrial en Eléctrica y Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez e investigador desde 1999. Imparte cátedra en el área de Ingeniería Electrónica y la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica en el ITTG, donde imparte las asignaturas de Diseño con Transistores y Electrónica Básica respectivamente. Líder de la línea de investigación y generación del conocimiento “Instrumentación”.



Raúl Moreno Rincón Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica, egresado de la ESIME-IPN, en la ciudad de México, D.F. Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica egresado del Instituto Tecnológico de Toluca. Maestro en Educación Superior por la Universidad Autónoma de Chiapas. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y Jefe de Proyectos de Docencia de Ingeniería Electrónica. Es investigador desde 1999 y Colabora en la línea de investigación “Robótica” de Ingeniería electrónica, en donde ha realizado proyectos como: Sistema de alarma para personas con deficiencia auditiva basado en XBEE, robot de cafetería, araña hexápoda, entre otros.



Francisco Ronay López Estrada recibió su Doctorado en Ciencias en Control Automático por la universidad de Lorraine, France, en 2014, y su doctorado en Ciencias en Ingeniería Electrónica por el Centro Nacional de Investigación (CENIDET) en 2015. Recibió el grado de maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica por el CENIDET en 2008. Ha sido profesor del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez desde 2008 adjunto al departamento de Ingeniería Electrónica. Sus intereses de investigación son: Los sistemas lineales de parámetros variantes, sistemas de detección de fallas, sistemas descriptores, control de procesos y control de vehículos aéreos no tripulados.



Karla del Carmen Chimeca Rossier es Licenciada en Electrónica, egresada de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, en Puebla, Puebla. Es profesor de tiempo parcial en el área de soporte y mantenimiento de equipo de cómputo del Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica CONALEP 312 de Tuxtla Gutiérrez desde 2005.

Fuente de corriente estabilizada para láseres semiconductores con monitoreo de potencia óptica salida.

Stabilized current source for semiconductors laser with optical output power sensing.

Jefferson Alberto Gómez Valdéz (1).
Estudiante, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
jealgv@gmail.com.

Jorge Luis Camas Anzueto (2), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, jcamas@ittg.edu.mx.

Madain Pérez Patricio (3), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, mperez@ittg.edu.mx.

Vicente León Orozco (4), I.T. de Tuxtla Gutiérrez, vleon@ittg.edu.mx.

Aldo Esteban Aguilar Castillejos (5). I.T. de Tuxtla Gutiérrez, aguilarc@ittg.edu.mx.

Martha Luz Paniagua Chávez (6), I.T. de Tuxtla Gutiérrez, mpaniagua@ittg.edu.mx.

Artículo recibido en julio 11, 2015; aceptado en agosto 07, 2015 .

Resumen.

Este artículo presenta el diseño y desarrollo de una fuente estabilizada en corriente con la finalidad de proveer una corriente de calidad a un diodo láser semiconductor con acople de fibra óptica. El diseño se centra en la implementación de un sistema de monitoreo y control de la corriente suministrada al diodo láser para operar de forma óptima dentro de su rango de potencia emitida máxima. Así como la incorporación de un sistema de control de acceso para la modificación de parámetros físicos que incluyen la etapa de protección del láser semiconductor. El sistema de control se encarga de procesar los datos provenientes del sensor de corriente que constantemente se encuentra monitoreando la corriente que fluye a través del láser semiconductor, y mediante el ajuste de la curva del sistema de transferencia del sistema y control PID se genera una cadena de bits que son interpretados por un convertidor digital analógico, estableciendo un voltaje directamente proporcional a la corriente deseada a través de una resistencia shunt.

Palabras clave: Corriente estabilizada, Diodo laser de fibra, sensor de monitoreo.

Abstract.

This paper presents the design and development of a stabilizes current source with the objective to provide a quality current to a pigtail semiconductor laser diode of fiber optic. The design focuses on the implementation of a system for monitoring and controlling the current supplied to the laser diode to operate optimally in the range of maximum output power, and the incorporation of an access control system for modifying physical parameters including the protecting stage of the semiconductor laser. The control system takes care of processing the data from current sensor that is constantly monitoring the current flowing through the semiconductor laser. By adjusting the curve of the transfer system and PID control system, a bit string is generated and is interpreted by an analog digital converter, establishing a voltage directly proportional to the desired current through a shunt resistor.

Keywords: Stabilized current, Fiber laser diode, monitoring sensor.

1. Introducción.

El desarrollo de sensores de fibra óptica es la actual área de investigación en óptica que está revolucionando los métodos y técnicas de medición de variables físicas como químicas en diferentes áreas de la ciencia aplicada. Esta nueva tecnología de sensores utilizan haces de luz láser, provenientes de láseres semiconductores (*LS*) de calidad. Cabe mencionar que los láseres de semiconductor operan en un estado estable y continuo durante el proceso de sensado, por lo que es importante que un *LS* no presente variaciones en la potencia óptica que sean provocados por variaciones de corriente cuando sea utilizado como fuente de luz en los sensores de fibra óptica (*SFO*), ya que cualquier perturbación en la corriente puede ocasionar variaciones en la potencia de emisión y comportamiento errático en el *SFO*, no obstante las variaciones de potencia son altamente críticas, ya que la potencia es la magnitud esencial durante la caracterización de un *SFO*. Esto ha llevado a que un laboratorio donde se encuentren desarrollando *SFO's*, contar con fuentes de calidad que se encuentren estabilizada en corriente. Una forma de estabilizar la emisión de la potencia de un *LS*, es mediante la colocación del láser en contacto térmico con un disipador y un enfriador controlado que estabiliza la temperatura de funcionamiento de manera de alcanzar una emisión estable en longitud de onda. Generalmente, un *LS* contiene un enfriador termo-eléctrico de estado sólido que funciona por efecto Peltier y también incorpora la electrónica de control para estabilizar la temperatura, ya que los *LS's* son dispositivos extremadamente sensibles al ruido eléctrico y se pueden dañar fácilmente (R.N. Hall, et al., 1962). Esto ha llevado a que se hayan realizado estudios de como la potencia óptica de un *LS* se ve afectado por variaciones térmicas (J. Švarný, 2008). Algunos autores han utilizado técnicas ópticas para estabilizar la longitud de onda (S. H. Lee, et al., 2010; Yu-Chia Hsu, et al., 2005). En este artículo se presenta un diseño de una fuente estabilizada en corriente simple, confiable y barato, para que se utilizado como fuente de alimentación eléctrica en láseres semiconductores. El circuito es básicamente una fuente de corriente *Howland* con un amplificador de corriente conectado a la salida de un amplificador operacional. La corriente que fluye hacia el láser semiconductor es sensada mediante la diferencia de mediciones de voltaje que se encuentra en las terminales de una resistencia *Shunt* conectada en serie con el láser semiconductor. Además, se utiliza un sensor de temperatura con la finalidad de proporcionar un valor de tensión en función de la temperatura en tiempo real. Resultados preliminares fueron publicados en TECNOLASER 2012 (J. Gómez V., et al., 2012).

2. Desarrollo del Diseño Propuesto.

En esta parte del artículo se describirá cada una de las etapas que conforma el diseño electrónico de la fuente estabilizada en corriente. Partiendo de la hoja de datos de los diodos láseres semiconductores *pigtails LPS-630-FC*, *LPS-805-FC* (figura 1) y algunos otros modelos, se obtuvo información de valores convencionales de operación de dicho dispositivos semiconductores. Estos valores de operación fueron tomados en cuenta para el diseño de la fuente de corriente estabilizada. El diseño electrónico se encuentra constituido por la adquisición de datos de temperatura, potencia de emisión del láser mediante la utilización de reflexión de luz, y monitoreo de corriente en el *LS*. Estos valores fueron visualizados en una pantalla de *LCD*, además de su visualización en una *PC* mediante la elaboración de un programa en *MATLAB*. La comparación de estabilización se caracterizó con un osciloscopio de alta resolución como lo es el *DPO7000* de la marca *TEKTRONIX* con un ancho de banda de 500 MHz. Esto corroboró la estabilidad de la corriente cuando se encuentra en funcionamiento la fuente. Finalmente, se hizo la prueba con los *pigtails* conectado al dispositivo monitoreando cada uno de los parámetros para evitar daño en el láser *pigtail*.



Figura 1. Fotografía de un láser semiconductor modelo LPS-830-FC de la compañía Thorlabs.

2.1. Etapa de estabilización.

En la figura 2 se presenta el diagrama electrónico de la etapa de estabilización de corriente, donde se encuentra conectado el *LS*. Esta etapa está constituida por una fuente de corriente *Howland* (T.M. Quist, et al.,1962). La corriente que fluye hacia el *LS* es sensada mediante la diferencia de mediciones de voltaje que se encuentra en las terminales de una resistencia *Shunt* conectada en serie con el láser semiconductor. Cabe notar que esta resistencia presenta un valor muy próxima a cero, evitando así una caída de voltaje significativa en ella por ello es casi despreciable el efecto que esta puede ejercer en el funcionamiento del dispositivo. En el circuito propuesto, para el control y estabilización de la corriente, procederemos a encontrar la función de transferencia que relaciona el voltaje de entrada de un convertidor digital-analógico (*digital to analog converter, DAC*) en una corriente proporcional a la misma, mediante análisis de nodos.

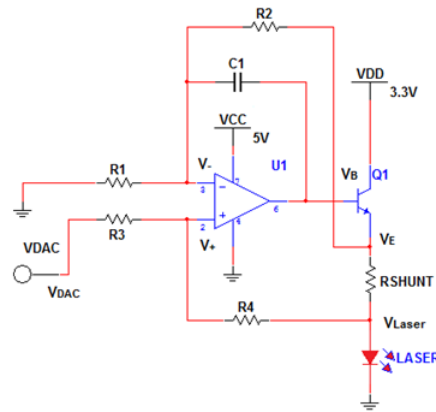


Figura 2. Circuito electrónico principal para el diseño de la fuente de corriente.

Utilizando la teoría de nodos y simplificación algebraica, se obtuvo la función de transferencia que se presenta en la ecuación (1):

$$\frac{V_{DAC}}{I_{LASER}} = \frac{R_{SHUNT} \cdot R_1}{R_4} \quad (1)$$

Donde V_{DAC} es el voltaje proveniente del convertidor digital-analógico, I_{LASER} es la corriente que circula por el *LS*, R_{SHUNT} es la resistencia *Shunt* que se encuentra en serie con el *LS* y debe tener un valor tan pequeño como sea posible, para que no influye drásticamente en el consumo de la corriente pero que si logre el objetivo de linealizar el flujo de la misma como también lograr la protección del dispositivo láser, disipando los excedentes de corriente en forma de calor, R_1 es la resistencia que se encuentra conectada en la entrada (-) del amplificador operacional (*operational amplifier, OP-AMP*) y R_4 es la resistencia que retroalimenta al *LS*. Proponiendo valores máximo de

corriente que circulará por el *LS* de 500 mA , voltaje de $V_{DAC} = 2.5$ V, una resistencia *Shunt* de 0.33Ω , se puede encontrar una razón $\frac{R_1}{R_4} = 15.15$. El OP-AMP debe de cumplir ciertos parámetros tales como un *Voffset* tan pequeño como sea posible, recomendando para éste diseño cercanamente a 1 mV, de alta respuesta de aproximadamente 500 MHz, y con una corriente de salida de 500 mA, Todos estos parámetros son indispensables para la estabilidad y demanda de la aplicación que esta desempeñara. El amplificador operacional *OPA350UA* de la compañía Texas Instruments fue el ideal en comparación con otros de diferentes compañías de uso comercial.

Con la finalidad de asegurar una corriente en el *LS* con un porcentaje de error de $\pm 1\mu A$, se acopló una etapa de monitoreo al circuito electrónico de la figura 1. Este monitoreo se obtuvo a partir de tomar la diferencia de voltaje que se obtiene de las terminales de la resistencia *Shunt*. El diseño electrónico de ésta etapa se presenta en la figura 3. Teóricamente se plantea que el voltaje en las terminales inversora y no inversora de un *OP-AMP* siempre tendrá el mismo potencial en ambas terminales, por lo que se considera que $V_+ = V_-$. El voltaje de salida del *OP-AMP* va directo a un convertidor analógico digital para que se realice la adquisición de señal y se encuentre retroalimentando constantemente. El voltaje se obtiene a partir de la ecuación (2):

$$V_{ADC} = \frac{-R_3[(I_{Laser} * R_{Shunt})]}{R_1} \quad (2)$$

Donde V_{ADC} es el voltaje de salida que va hacia el convertidor analógico-digital, R_1 es la resistencia que se encuentra conectada a la parte (-) del *OP-AMP* y R_3 proporciona una configuración de ganancia en el amplificador.

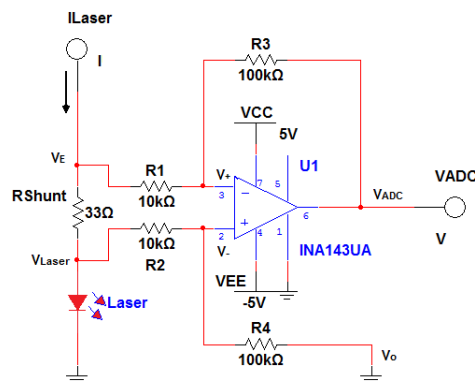


Figura 3. Circuito electrónico para el monitoreo de la corriente estabilizada que circula por el láser semiconductor.

Dado que algunos de los *LS*'s traen intrínsecamente un fotodetector con la finalidad de que sea utilizado para el monitoreo en tiempo real de la potencia óptica que el *LS* está emitiendo, es necesario diseñar un circuito electrónico para ésta etapa y así tener el controlado el monitoreo de las variaciones de la potencia óptica del *LS*. La señal de salida de un fotodiodo se puede medir en forma de tensión o de corriente, siendo esta última la que presenta mejores características de linealidad, *offset* y ancho de banda. La fotocorriente generada ha de ser convertida a tensión usando una configuración de amplificador de transimpedancia (N. Holonyak, et al., 1962). Como *OP-AMP* se utilizó el *OPA350*, que por sus características lo hacen bastante idóneo para este tipo de montajes, ya que esta compensado en frecuencia internamente para ganancia unitaria y posee bajo *offset* de entrada. En la figura 4 se presenta la configuración del amplificador de transimpedancia.

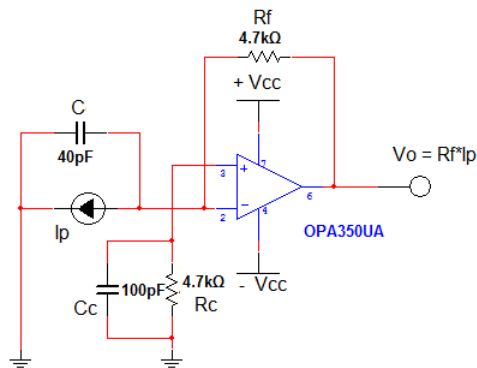


Figura 4. Circuito de acondicionamiento para el monitoreo de la potencia óptica de salida en el láser, utilizando el fotodiodo intrínseco del láser con la capacitancia C en paralelo.

Para calcular el valor de R_f , se utilizan las características del fotodiodo interno que trae el láser semiconductor (LPS-830-FC). La fotocorriente generada es de $579.8 \mu\text{A}$ y como la tensión máxima que se requiere a la salida del amplificador es de 2.5 V , el valor de R_f es de $4,311 \text{ K}\Omega$; por las limitaciones de valores comerciales se usará una de $4.7 \text{ K}\Omega$. Para corregir el error de continua debido a las corrientes de polarización se conecta una resistencia R_c en la entrada no inversora del *OP-AMP* del mismo valor que R_f . No obstante, esta resistencia produce un efecto pernicioso, ya que el ruido en la entrada no inversora del operacional resulta amplificado. Para evitarlo (limitando el ancho de banda del ruido) se conecta un condensador en paralelo C_c con la resistencia de compensación R_c de valor de 100 pF . Aunque puede parecer que el fotodiodo podría ser considerado como una fuente de corriente ideal, hay que tener en cuenta que tiene una capacidad parasita que, según el fabricante, es de 40 pF . Esta capacitancia introduce un polo en el circuito realimentado que tiende a disminuir la estabilidad relativa disminuyendo el margen de fase del circuito.

Finalmente, un factor muy importante a considerar en los *LS's* es la temperatura, ya que un electrón puede ser generado por variaciones de temperatura produciendo una variación en corriente y por consiguiente una variación en la potencia óptica del *LS*, afectando su estabilidad y desempeño. Por consiguiente es necesario, si se busca estabilidad y reducir al máximo el ruido que podría producirse internamente al encendido y apagado de los disipadores. Por ello la elección del diseño de un control *PID* para el monitoreo y encendido proporcional de los disipadores cuando estos sean necesarios (Steven, 1999). Para diseñar el monitoreo de temperatura, se utilizó el sensor *LM35* modelo *TO-92*, el cual es un sensor de temperatura con precisión en escala Celsius. Este dispositivo transforma la temperatura del ambiente en voltaje, del orden de mV . El *LM35* entrega a la salida una resolución de 10 mV por cada grado centígrado. Empleándolo solo sin ninguna configuración en especial, el dispositivo presenta un rango de medición de 2 a $150 \text{ }^\circ\text{C}$. Las especificaciones técnicas del sensor especifican que el comportamiento del sensor es lineal por lo que la función de transferencia puede definirse por medio de la ecuación (3):

$$V_t = T * \frac{dV}{dT} \quad (3)$$

Donde V_t es el voltaje de salida del sensor de temperatura *LN35*, T es la temperatura que se está sensando y $\frac{dV}{dT}$ es la razón de cambio proporcionado por el fabricante cuyo valor es de $10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$. El voltaje V_t va directamente hacia el convertidor analógico-digital del microcontrolador con una resolución de 10 bits, por lo que la ecuación característica para la conversión de voltaje a digital se da por medio de la ecuación (4):

$$T_D = (V_{ADC} * V_{DD} * E_{sc}) / \text{Resolución} \quad (4)$$

Donde T_D es la temperatura convertida en digital, V_{ADC} Voltaje leído, V_{DD} voltaje de alimentación y E_{sc} escala de temperatura en grados centígrados.

2.2. Etapa de adquisición de datos.

Se implementó la lógica de programación con el compilador *CCS* con la finalidad de configurar el dispositivo en modo *CDC (Communication Device Class)*, el cual es inicializado y enumerado por la computadora, para la toma de muestras de los diferentes sensores que conforman la unidad de control y procesamiento. Posteriormente mediante interrupciones de tipo *UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitte)* se inicia la transmisión de datos a través del puerto *USB* hacia la computadora, como se aprecia en el diagrama de flujo siguiente. Esto se ve resumido de forma general en el algoritmo que muestra en la figura 5a. Además, se diseñó el software en Visual C#, utilizando el *API (Application Programming Interface)* desarrollado por Microchip para utilizar el puerto *USB*, el cual gestiona el envío y recepción de datos (figura 5b). Los drivers para Windows son proporcionados por Microchip junto con la *API*. Esta última contiene funciones de inicialización, recepción y transmisión de datos incorporados en *mpusbapi.dll*.

El diseño del software proporcionó una interfaz gráfica de fácil acceso a la adquisición de datos provenientes del modulo de procesamiento que se encuentra en contacto con las variables de interés a medir. Al iniciar el monitoreo de la variable de interés además de crear un documento de tipo *.txt se puede visualizar los cambios que ocurren en función del tiempo de la variable de interés en tiempo real, como la visualización del numero de muestras que se han realizado desde el periodo de inicio hasta el instante que se mantenga en operación el monitoreo de la variable deseada. Para mayor comodidad para el usuario se ha incorporado un menú de herramientas el cual cuenta con las acciones de mayor importancia como:

1. Abrir: Abre documentos previamente guardados de tipo *.txt.
2. Salir: Cierra la aplicación de adquisición de datos.
3. Editar: Edición de la corriente de operación mediante password.
4. Operador: Controla la comunicación serial, mediante apertura o cierre de puertos COM.
5. Ayuda: Se definen tips de ayuda por si ocurriera una situación inesperada, como la dirección electrónica para la asistencia de técnica o reporte de *bugs* que pudieran presentarse en el software.

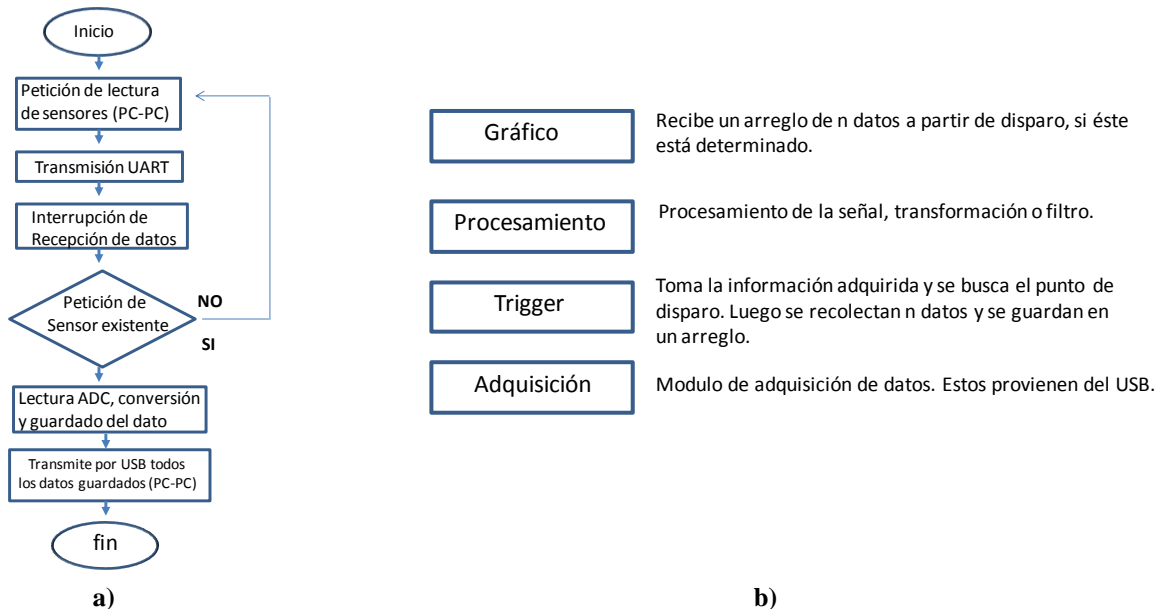


Figura 5. a) Diagrama de flujo para la conversión de datos y transmisión por USB, b) Modelo de capas para el software.

3. Caracterización.

El láser semiconductor *LPS-635-FC* se sometió a dos tipos de pruebas experimentales, la primera de ellas consistió en el nivel de estabilidad del voltaje y corriente cuando el dispositivo opera por debajo de la corriente de umbral, y la segunda cuando la corriente suministrada es la máxima ideal proporcionada por el fabricante. Las especificaciones técnicas de los dispositivos en el laboratorio de optomecatrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (véase tabla 1), varían ligeramente de las hojas de datos proporcionados por la compañía Thorlabs en su sitio web, por la naturaleza de tratarse de un semiconductor.

Tabla 1. Datos de los puntos de operación específica del LPS-635-FC empleado.

LPS-635-FC	
Potencia óptica de salida	2.91 mW
Corriente de operación	61.8 mA
Corriente de umbral	47.1 mA
Voltaje de operación	2.5 V
Longitud de onda de emisión	830 nm

Como primera prueba se posicionó como corriente de operación 9 mA, magnitud muy por debajo de la corriente de umbral para poder observar el desempeño de la estabilidad corriente-voltaje de la fuente diseñada. El voltaje de operación observado mediante el osciloscopio *DPO7054* fue de 4.48 V que se mantuvo estable durante todo el desarrollo experimental, mientras que las ligeras perturbaciones son creadas por el ruido electromagnético del entorno y no por la fuente misma. Información que fue corroborada mediante el sistema de adquisición de datos *LD001J*, con un mínimo de error de 1 mV por cada lectura almacenada con un tiempo de adquisición de 10 ms por muestra. Los datos de muestreo se almacenaron en un archivo *.txt, los cuales se graficaron posteriormente en el software. Las variaciones de la corriente con respecto al punto de operación preseleccionado fue de 0.486 mA, información que se puede observar en la figura 6. Se posicionó el fotodetector *PM320E* tan cercano cómo fue posible al láser semiconductor sin dañar la superficie sensible a la luz, cerca de 1 mm de separación entre los dispositivos. El fotodetector tiene un campo de visión de 300 nm a 1200 nm, prácticamente todo el espectro visible y cercano al infrarrojo, por lo que cualquier fuente de luz externa al láser podría causar alteraciones en la medición de la potencia así como cualquier tipo de vibración que se encuentre cercano al área de experimentación, y como dato final no se logró un acople ideal láser-fotodetector debido a la incompatibilidad de los conectores de los dispositivos. Debido al acople no ideal, una gran cantidad de potencia se disperso al entrar en contacto la luz con el aire debido a las impurezas que este contiene, absorbiendo parte de la luz emitida disminuyendo la potencia de emisión, sin embargo la poca potencia captada por el fotodetector es suficiente para demostrar que la estabilidad de la corriente es proporcional a la estabilidad de la potencia emitida, y ello puede observarse en la figura 7. Los resultados obtenidos hacen mención que la potencia captada por el fotodetector es de 0.2199 mW, si consideramos que la potencia ideal del *LPS-635-FC* es de 2.91 mW, tenemos una pérdida cercana de 2.69 mW por falta de un acoplador láser-fotodetector, debido a las impurezas que se encuentran en el ambiente donde se desarrolló la experimentación.

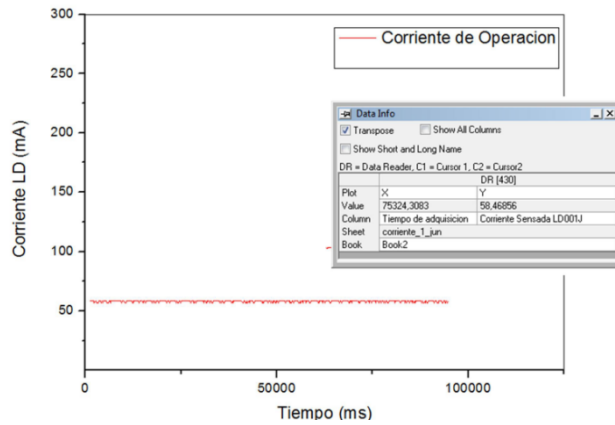


Figura 6. Comportamiento de la corriente que circula por el láser.

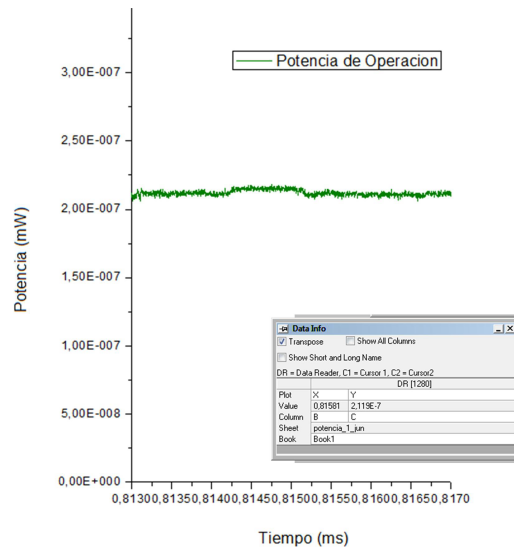


Figura 7. Monitoreo de la potencia emitida por el láser.

Conclusión.

El presente trabajo tiene la factibilidad de estabilizar la corriente de operación de diferentes láseres semiconductores, en corriente directa, ya que estos tipos de dispositivos forman parte de arreglos experimentales que se realizan en el laboratorio de optomecatrónica. Conociendo los puntos de operación de corriente ideal de los láseres semiconductores es posible controlar la magnitud de corriente inducida al dispositivo, para salvaguardar la integridad del mismo, como la obtención de la potencia máxima ideal estable, de cada uno de ellos. Obteniendo como resultado un dispositivo de instrumentación optoelectrónico el cual cumple con las expectativas específicas que se emplearon en su diseño. Además, teniendo como principal objetivo la estabilidad de la corriente suministrada, se logró la reducción de costos de hasta una quinta parte del valor de una fuente de corriente comercial mínima como el LD1100.

Créditos.

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez por el financiamiento de los proyectos con clave de registro TGZ-IMCT-2012-123 y 5469.14-P ante la dirección general de educación superior tecnológica del Tecnológico Nacional de México.

Referencias Bibliográficas.

- J. Gómez V., J. Camas A., L. García F., W. Torres, S. Mendoza, M. Pérez P., A. Medina S.** (2012). Fuente programable de corriente estabilizada para diodos láseres de fibra óptica, *VII Taller Internacional Tecnoláser y III Reunión de Óptica Vida y Patrimonio*, La Habana, Cuba 2012.
- J. Švarný.** (2008). Evaluation of optical power fluctuation of thermally stabilized laser source, *2008 International Biennial Baltic Electronics Conference (BEC2008)*, Tallinn, Estonia, 1-4.
- N. Holonyak Jr. and S.F. Bvacqua.** (1962). *Appl. Phys. Rev. 1*, 82.
- R.N. Hall, G.E. Fenner, J.D. Kingsley, T.J. Satys and R.O. Carlson.** (1962). *Phys. Rev. Lett.*, 9, 366.
- S. H. Lee, H. Y. Ryu, Y. P. Kim, H. S. Suh, and T. B. Eom.** (2010). CW visible standard source generated by second harmonic of injection locked DFB to optical frequency comb seeded with 13C2H2 stabilized laser, *Conference on Precision Electromagnetic Measurements*, Daejeon Convention Center, Daejeon, Korea, 13-18.
- Steven W. Smith.** (1999). *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. 2^o edition – California Technical Publishing – San Diego, California 1997-1999.*
- T.M. Quist, R.H. Rediker, R.J. Keyes, W.E. Krag, B. Lax, A.L. McWhorter and H.J. Zeiger.** (1962). *Appl. Phys. Rev. 1*, 1145.
- Yu-Chia Hsu, Huang-Cuang Lin, Shyh-Lin Tsao.** (2005). A Polarization-Stabilized Fiber-Optical Output Infrared Laser Source, *International Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 26, 6, 921-935.

Información de los autores.



Jefferson Alberto Gómez Valdéz es egresado de la carrera en Ingeniería en Electrónica desde noviembre de 2011 y egresado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica desde Noviembre de 2013 por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez Chiapas. Su área de interés es sistemas de control optomecatrónico y metrología optoelectrónica.



Jorge Luis Camas Anzueto es graduado como Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, graduado como Maestro en Ciencias y Doctor en Ciencias con la Especialidad en Óptica y subespecialidad Optoelectrónica por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE). Actualmente docente-investigador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica y de la carrera en Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Su área de interés es Sensores ópticos, sensores de fibra óptica, optoelectrónica y optomecatrónica.



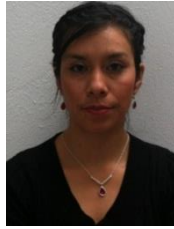
Madain Perez Patricio es graduado como Doctor en Ciencias en Automatización y computación industrial en 2005, por la Universidad de Ciencias y Tecnologías de Lille, Francia. Investigador- Docente desde 1997 en el Departamento de Posgrado y la Carrera en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Su área de interés incluye visión por computadora y computación reconfigurables.



Vicente León Orozco es graduado como Ingeniero Eléctrico Por el Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Diplomado en Telecomunicaciones por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, y Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica por el Instituto Tecnológico de Toluca. Actualmente presidente de la Academia de Electrónica y Docente de la carrera en Ingeniería Electrónica. Su área de interés es desarrollo de sistemas optoelectrónicos, sistemas de comunicaciones y fibras ópticas.



Aldo Esteban Aguilar Castillejos Aldo Esteban Aguilar Castillejos, obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ing. Mecatrónica en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG) en el 2011. Actualmente es parte del cuerpo académico del ITTG y universidades privadas, con desarrollos de proyectos financiados por CONACyT y empresas privadas. Con campos de interés en: dispositivos opto-mecatrónicos, manufactura, sensores de fibra óptica, instrumentación y control.



Martha Luz Paniagua Chávez es graduada como Ingeniero Eléctrico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en 2001 y tiene la formación en la Maestría en Ciencias en dispositivos y sistemas (SIDS). Opción: Componentes y Sistemas Eléctricos por la Universidad Claude Bernard Lyon 1, (Francia) en 2006. Ha sido docente en el departamento de Ciencias Básicas en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez desde 2010. Su área de interés es transferencia de calor, dispositivos de control y ciencias básicas.

Interfaz inalámbrica de apoyo a personas con debilidad auditiva, mediante SMS.

Wireless network for people with hearing health based on SMS.

Raúl Moreno Rincón (1).
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
rmoreno@ittg.edu.mx

Álvaro Hernández Sol (2). I. T. de Tuxtla Gutiérrez.ing_sol10@yahoo.com.mx.

Osbaldo Ysaac García Ramos (3). I. T. de Tuxtla Gutiérrez. oygramos@hotmail.com.

Luis Alberto Pérez Lozano (4). I. T. de Tuxtla Gutiérrez. eleyeca@ittg.edu.mx.

Joaquín Eduardo Domínguez Zenteno (5). I. T. de Tuxtla Gutiérrez. quinolalo@gmail.com.

Artículo recibido en junio 23, 2015; aceptado en septiembre 22, 2015.

Resumen.

El presente artículo describe el diseño y la aplicación de un sistema modular conformado por un maestro y un sin número de esclavos (el número de estos lo determinará el usuario de acuerdo a sus necesidades y a su capacidad económica con la posibilidad de crecimiento si el usuario así lo desea), donde cada uno de ellos es capaz de detectar un evento de riesgo y avisar al maestro para que este informe al usuario, se utilizó XBEE como base de la red inalámbrica entre los esclavos y el maestro, logrando de esta manera una fácil instalación del sistema y evitar daños en la estructura de las casas y el GSM para la transmisión de mensajes en red celular al usuario, con la intención de que este pueda monitorear dichos eventos. Previendo de esta manera posibles peligros a las personas con deficiencia auditiva con la intención de mejorar su calidad de vida y su seguridad.

Palabras clave: XBEE, GSM, redes inalámbricas, debilidad auditiva.

Abstract.

This paper describes the application and design a modular system with a master and without a defined slave setup configuration. The number of slaves can increase its complexity and applicability by the final user needs and economical resources. Each slave is able in detecting the event and then communicate this information to the master. However the master send this information to the user. To achieve the goals, setup is composed by a module XBEE, which is the base of the wireless network among the master and the slaves. By considering this configuration, the installation of the systems becomes easier and it is possible to avoid damage to the structures of buildings, resulting that set-up make possible that people with hearing health based on SMS can increase their quality of life and safety.

Keywords: XBEE, GSM, wireless, hearing health.

1. Introducción.

Debilidad auditiva es un término amplio que se utiliza para referirse a la falta o disminución en la capacidad para oír claramente debido a un problema en algún lugar del aparato auditivo, este puede fluctuar desde lo más superficial hasta lo más profundo, a lo que comúnmente llamamos sordera.

La realidad que viven diariamente las personas con problemas en el área auditiva es muy difícil de imaginar para quienes no han tenido contacto con personas sordas. En general, nos movemos en un contexto que no está pensado para ellas, donde los sonidos tienen una gran importancia, previniéndonos de situaciones, peligros, enriqueciendo nuestro desarrollo con estímulos e información, etc.

Uno de los aspectos que representa mayores limitantes para quienes cuentan con disminución auditiva es la recepción de los ruidos ambientales. Esta información da cuenta de aquella realidad que enmarca el diario vivir y que para los oyentes ofrece elementos que permiten controlar y seleccionar lo que les puede afectar, ya que implica la creación de un repertorio conductual que posibilita, por ejemplo, reaccionar ante situaciones de peligro o no deseadas.

2. Métodos.

Actualmente las tecnologías inalámbricas gobiernan el mercado, esto se debe a su facilidad de uso, poca interferencia, practicidad al poder enviar la señal a grandes distancias sin la necesidad de cables y el evitar los inconvenientes que estos provocan.

Las tecnologías de gran alcance más populares son: *GSM*, *iDEN* y servicios de transmisión de datos como *GPRS*, *EDGE* y *3G* (Huidobro, 2012).

2.1. GSM.

Las siglas *GSM* provienen de “*Grouped Special Mobile*”, o Sistema Global para las comunicaciones móviles. Este es un sistema estándar, completamente definido para la comunicación mediante teléfonos móviles que incorporan tecnología digital (Huidobro, 2012).

Por ser digital, cualquier cliente *GSM* puede conectarse a través de su teléfono con su computador y puede hacer y recibir mensajes por e-mail, fax y navegar por Internet.

La Asociación *GSM* (*GSMA* o *GSM Association*), es el estándar más extendido en el mundo, con un 82% de los terminales mundiales. *GSM* cuenta con más de 3,000 millones de usuarios en 212 países distintos.

2.2. Bandas de Frecuencia.

El interfaz de radio de *GSM* se ha implementado en diferentes bandas de frecuencia:

- *GSM* 850: Con 128 a 251 canales, es usada en gran manera en EE.UU., Sudamérica y Asia.
- *GSM* 900: Con 1-124 y 975-1023 canales, esta banda nació en Europa y es la más extendida y común.
- *GSM* 1800: Canales de 512 a 885, no es común.
- *GSM* 1900: 512-810 canales, usada en gran manera en Norteamérica.

2.3. GPRS.

Las siglas *GPRS* vienen de *General Packet Radio Service* o servicio general de paquetes vía radio, este servicio es una extensión del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (*GSM*) para la transmisión de datos no conmutados.

Este servicio está disponible para todos los usuarios de comunicaciones de 2G y 3G, brindando para los sistemas 2G una transferencia de datos de 56-114kbps.

GPRS extiende las capacidades de *GSM* brindando los siguientes servicios:

- Acceso a internet permanente.
- Servicio de mensajes multimedia (*MMS*).
- Comunicación instantánea (un servicio parecido al *iDEN* y al radio común).
- Mensajería instantánea.
- Aplicaciones inteligentes que hagan uso del servicio de internet.
- Además incrementa la tasa de envío de mensajes de texto *SMS* del *GSM*, de aproximadamente 10 por minuto hasta 30 en este mismo periodo de tiempo.

Lamentablemente existen algunos inconvenientes al usar esta tecnología como son:

- Dependencia de la disponibilidad de la red *GSM*.
- Velocidad de transferencia inferior a otros sistemas presentes en la actualidad.
- Costo elevado en servicio de prepago.

2.4. EDGE.

Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de *GSM*, es una tecnología de la telefónica móvil celular, que actúa como puente entre las redes 2G y 3G. *EDGE* se considera una evolución del *GPRS*. Esta tecnología funciona con redes *GSM*.

EDGE o *EGPRS*, puede ser usado en cualquier transferencia de datos basada en conmutación por paquetes, como lo es la conexión a internet. Los beneficios del *EDGE* sobre *GPRS* se pueden ver en las aplicaciones que requieren una velocidad de transferencia de datos, o ancho de banda alta, como video y otros servicios multimedia.

EDGE puede alcanzar una velocidad de transmisión de 384 Kbps en modo de paquetes, con lo cual cumple los requisitos de la *ITU* (Unión Internacional de Telecomunicaciones) para una red 3G, también ha sido aceptado por la *ITU* como parte de *IMT-2000*, de la familia de estándares 3G.

2.5. iDEN.

iDEN (*Integrated Digital Enhanced Network*), o Red Digital Integrada Mejorada es una tecnología de telecomunicación móvil desarrollada por Motorola en 1994, la cual provee los beneficios de un radio (*trunked* radio) y un teléfono celular.

Este sistema es capaz de colocar más usuarios en determinado espacio espectral que los celulares analógicos y los radios de dos vías; utilizando compresión y *TDMA* (*Time Division Multiple Access*) que permite dividir las señales en partes disminuyendo la carga individual de cada una de ellas, cada una de estas partes puede transportar voz o datos en la transmisión.

Operación:

- Rango de Frecuencia Tx: 806 – 821 MHz
- Rango de Frecuencia Rx: 851 – 866 MHz
- Banda de operación: 800MHz y 1500MHz, utilizando redes TDMA
- Número de canales: 30, de 3 a 6 usuarios por canal
- Espacio del canal: 25KHz, frecuencias individuales no contiguas
- Sistema de modulación digital: M16-QAM, VSELP

Servicios:

- Radio de dos vías: permite la comunicación inmediata entre usuarios
- Servicio de acceso telefónico: Permite mantener contacto telefónico con cualquier persona en cualquier lugar del mundo con conexión a cualquier red telefónica, incluyendo servicios como buzón de mensajes, transferencia de llamadas, llamada en espera y respuesta automática de llamadas.
- Servicio de mensajes cortos (SMS): Incorporan diferentes tipos de mensajería como voz y texto, cortos o largos, urgentes o no.
- Transmisión de datos: Proporcionan servicio de transmisión de datos que incluye acceso móvil a internet, la velocidad alcanzada por una unidad plus IDEN es de hasta 22Kbps.
- Soporte J2ME: Soportan aplicaciones desarrolladas en J2ME y MIDP (Mobile Information Device Profile).

2.6. 3G.

3G es la abreviación de “tercera generación”, refiriéndose a la transmisión de voz y datos a través de telefonía móvil. La definición técnicamente correcta es *UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service)* o Servicio Universal de Telecomunicaciones Móviles.

Los servicios asociados a la tercera generación proporcionan la posibilidad de transferir: Voz y datos (una llamada telefónica o video llamada), Datos no-voz (descarga de programas, intercambio de emails y mensajería instantánea).

A diferencia de *GSM*, *UMTS* se basa en servicios por capas:

- Capa de servicios: es la capa de la cima, provee un despliegue de servicios rápido y una localización centralizada.
- Capa de control: es la capa de en medio, ayuda a mejorar procedimientos y permite que la capacidad de la red sea dinámica.
- Capa de conectividad: es la capa baja, donde cualquier tecnología de transmisión puede usarse y el tráfico de voz podrá transmitirse mediante ATM/AAL2 o IP/RTP

Las redes 3G ofrecen mayor grado de seguridad que sus predecesoras 2G, al permitir a la autenticación de la red a la que está conectado, el usuario puede asegurarse de que la red es intencionada y no una imitación, además las redes 3G usan el cifrado de bloques KASUMI que ha demostrado ser mejor que el anterior cifrador de flujo A5/1.

Entre sus aplicaciones se encuentran: TV Móvil, video conferencia, transferencia de video, servicios como recibir las condiciones del clima, tráfico, ubicación de negocios o personas en cierta área directamente al teléfono celular.

2.7. Los comandos AT.

Los comandos *AT* son instrucciones usadas para controlar un modem. *AT* proviene de la abreviación de Atención (*ATtention* en inglés). Este tipo de comandos se distinguen por iniciar con “*AT*” o “*at*”, por ello los comandos usados en módems son llamados de esta manera. Varios comandos soportados por antiguos módems *dial-up* son también aceptados por modems *GSM/GPRS* y teléfonos móviles. Además de los comandos comunes usados para marcar números, contestar y colgar, en los módems *GSM/GPRS* y teléfonos celulares, existen comandos para enviar mensajes de textos, hacer llamadas a números del directorio interno, etc.

Cuando se usan comandos *AT*, hay que tomar en cuenta que en realidad el prefijo “*AT*” no forma parte del comando en sí, sino que funciona para preparar al dispositivo para recibir el comando.

Algunas de las tareas que se pueden realizar con comandos *AT* son:

- Obtener información básica sobre el modem o dispositivo *GSM/GPRS* que se está utilizando, elementos como el fabricante, modelo, *IMEI (International Mobile Equipment Identity)* y versión del software interno.
- Establecer una conexión de datos o voz con otro dispositivo remoto.
- Enviar y recibir Faxes.
- Enviar, recibir, escribir y borrar mensajes *SMS*.
- Leer, borrar o modificar entradas del directorio telefónico.
- Realizar tareas de seguridad en el sistema como cambio de contraseñas, bloqueo del dispositivo, etc.
- Controlar la presentación de los errores que se presenten.
- Ver y modificar la configuración del teléfono como la red a la cual se conectará, los servicios adicionales como radio, *SMS*, etc.

Hay que tener en cuenta que no todos los dispositivos cuentan con los mismos comandos *AT*, además de que el comportamiento puede variar de dispositivo a dispositivo de acuerdo a la versión del software y uso del mismo.

Existen dos tipos de comandos *AT*, los básicos y los extendidos. Los comandos básicos son aquellos que no incluyen un símbolo '+' antes de su ejecución, como los comandos básicos de llamadas, marcar (*ATD*), contestar (*ATA*) y colgar (*ATH*), entre otros. Los comandos extendidos son aquellos que incluyen un símbolo '+' al inicio, estos están presentes en los dispositivos *GSM/GPRS* y se utilizan para realizar tareas más complejas, como envío, recepción y manejo de mensajes de texto *SMS*.

3. Desarrollo.

Una persona que sufre de debilidad o privación del sentido del oído, puede exponerse a un sin número de riesgos al no ser consciente de las alarmas sonoras que existen en la actualidad.

Al no captar la información que el medio les proporciona, las personas con debilidades auditivas deben invertir gran cantidad de energía en tratar de observarlas e interpretarlas, esto provoca que en la mayoría de las ocasiones no puedan interactuar con el medio como lo haría una persona sin problemas. En el estado de Chiapas existen algunos centros que ayudan a estas personas a desarrollar habilidades que les permiten interactuar más fácilmente con el medio pero, desafortunadamente estos centros no son suficientes para cubrir la gran demanda que existe y en ocasiones las personas reciben ayuda dentro del centro pero al llegar a casa se encuentran solas otra vez.

Este proyecto busca hacer uso de las nuevas tecnologías disponibles para brindar a la persona discapacitada un dispositivo que pueda ayudarle a llevar una vida más segura, proveyendo información sobre los sucesos cotidianos que se dan en un hogar, alarmas, alertas, etc. Manteniendo al usuario consiente de los sucesos que se dan en su lugar de residencia incluso si este no se encuentra presente en esta. Presentándose como una alternativa para personas con *debilidades auditivas* que viven solas o simplemente quieren hacer su vida más sencilla. Justifica su existencia en la importancia que tiene en la actualidad la integración completa de estas personas a la vida cotidiana (Web Xbee, 2015 y Web Communication, 2006).

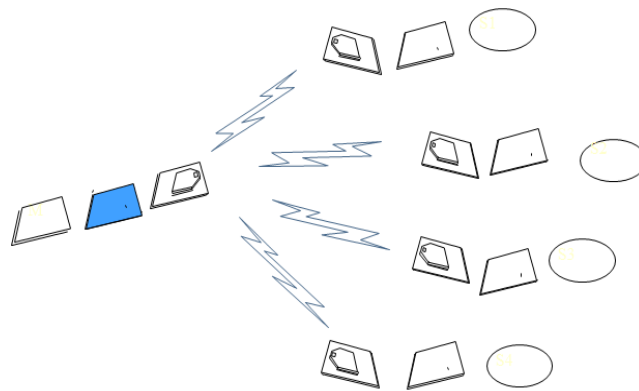


Figura 1. Sistema modular.

Para el desarrollo de este proyecto se inició investigando los posibles peligros latentes y necesidades de aviso que rodean el entorno de una persona con deficiencia auditiva, encontrándose un sin número de ellos con una prioridad relativa de acuerdo a cada persona, por lo que se optó por un sistema modular de fácil crecimiento y versatilidad, basado en un módulo maestro que reciba la comunicación por parte de los sensores y envíe el aviso a través de un GSM al celular del usuario, y una cantidad variante de módulos esclavos dedicados cada uno de ellos a un evento de peligro a monitorear, en donde el número de estos y el tipo de evento a monitorear dependerá del usuario, basándonos en una red de *XBEE*.

3.1 Diagrama a Bloques del Sistema.

En nuestro sistema cada módulo esclavo monitorea un evento (ruptura de un cristal de alguna ventana, si tocan la puerta, si hay humo en la cocina, si está lleno el tinaco, si hay movimiento o ruido en algún pasillo o cuarto, etc.) por medio del sensor correspondiente y es transmitido por un *XBEE*. El maestro escanea a cada esclavo por medio de otro *XBEE* y cuando recibe un código de alarma envía el mensaje correspondiente (obtenido de una lista de acuerdo al sensor que se disparó, es decir, por medio del código del *XBEE* que envió la alarma) por el *GSM* a un número telefónico previamente configurado, esto lo logra basándose en un microcontrolador y el propio *GSM* (Web Xbee, 2015)



Figura 2. Diagrama a bloques del sistema (esclavo y maestro).

3.2 Sistema de sensado (esclavos).

El siguiente diagrama muestra el circuito general para los módulos de alarmas (esclavo) en el cual se aprecia los puntos de conexión de la alarma correspondiente hacia el *XBEE* que transmitirá al maestro (Coughlin y Driscoll, 1998).

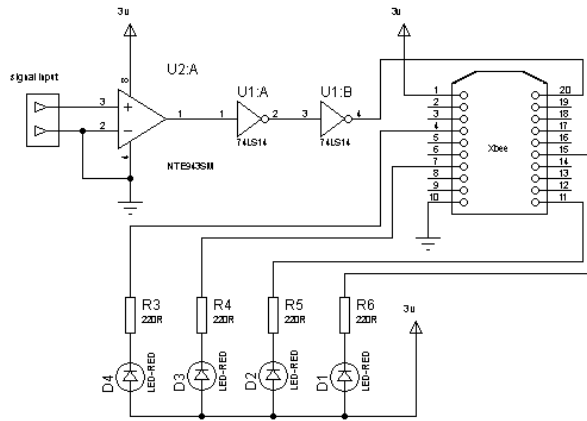


Figura 3. Sensado y comunicación.

El voltaje de trabajo de los módulosXBEE varía de 2.8v a 3.4v por tanto se implementó la siguiente etapa para adaptar los cargadores de corriente de c.a. a c.d.

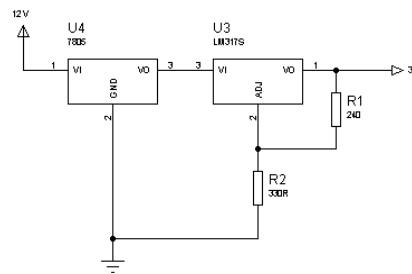


Figura 4. Regulador de voltaje.

3.3 Sistema mínimo (maestro).

El microcontrolador (PIC18F4520) es la parte más importante del sistema, dado que es quien toma las decisiones sobre los mensajes a enviar. Las funciones que realiza el microcontrolador son las de escanear a los esclavos, detectar las alarmas que se dispararon, determinar el mensaje a enviar, encender el GSM y transmitir el o los mensajes necesarios (Gonzalez, 2000 y Web PIC18F4520 2015) apoyado por una serie de circuitos adaptadores de señal (Coughlin y Driscoll 1998).

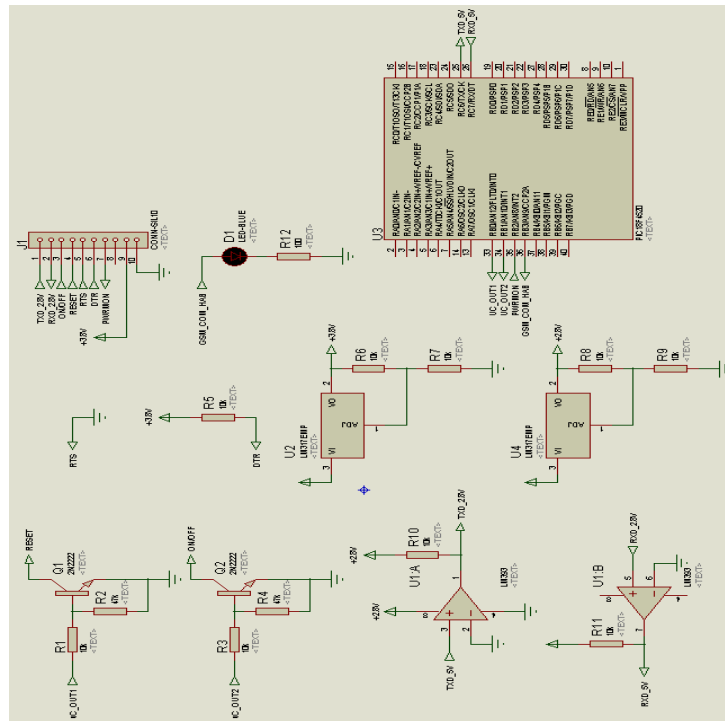


Figura 5. Sistema mínimo.

a) Encendido del GM862

Para encender el GM862 la terminal ON, debe ser aterrizada al menos por 1 segundo y liberada posteriormente. La corriente máxima que puede ser requerida de esta terminal es de 0.1mA.

Esta terminal cuenta con una resistencia de *pull-up* interna, por lo que no es necesario, ni debe utilizarse ninguna resistencia de pull-up externa, de hacerlo, puede provocar problemas de funcionamiento. La forma como debe ser conectada se ilustra en la figura anterior.

b) Apagado de GM862

Para apagar el dispositivo se realiza la misma operación que para su encendido.

El circuito básico para hacer esto es el siguiente:

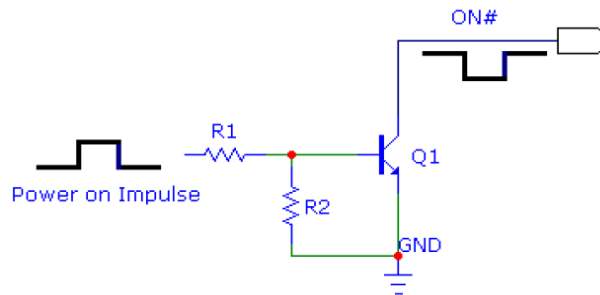


Figura 6. Circuito para el encendido y apagado del GSM.

3.4 Diagrama de flujo del sistema.

El dispositivo final cuenta con un módulo *Xbee*, un módulo *GSM*, un teclado matricial de 4x4 caracteres, una pantalla *LCD* y un *PIC* 18F4520 como controlador principal.

Cada alarma se encuentra conectada a su propio circuito con módulo *Xbee* al cual se le ha asignado una dirección única. Cuando alguna de las alarmas se activa, el dispositivo *Xbee* envía su dirección al módulo central, el cual la entrega al microcontrolador. El *PIC* toma la dirección recibida y la compara en una tabla para decidir a qué alerta corresponde, una vez identificada la alarma, se decide el mensaje y se envía mediante el módulo *GSM* (Ebel y Nestel, 1993).

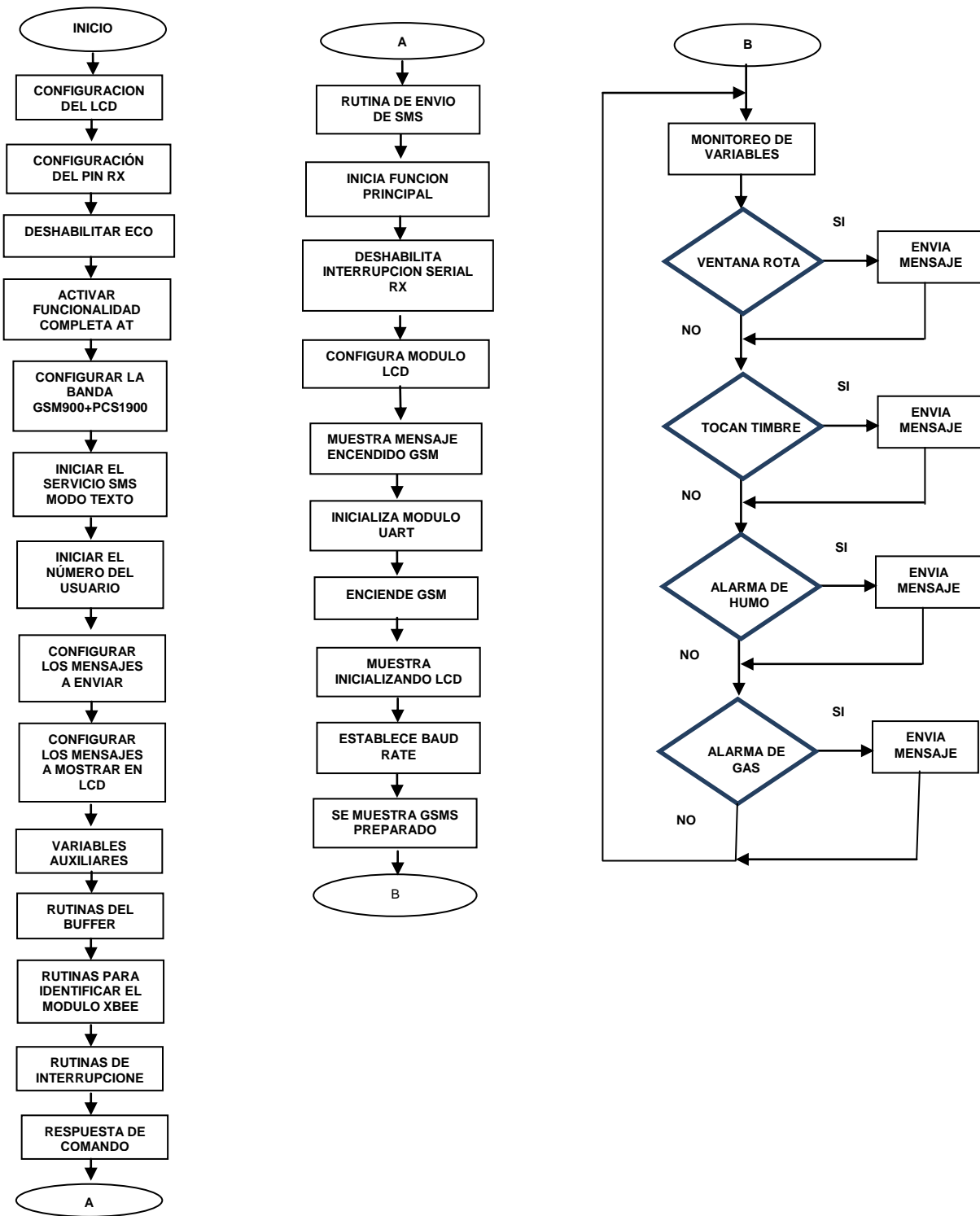


Figura 7. Diagrama de flujo del sistema.

3.5 Resultados.



Figura 8. Sistema de sensado.



Figura 9. Sensor de gas.



Figura 10. Posibles sensores.

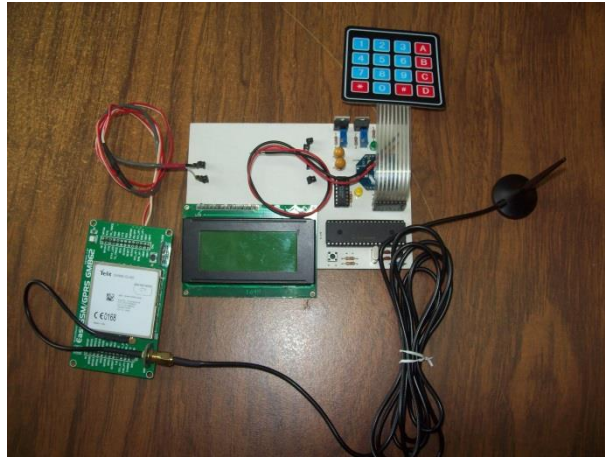


Figura 11. Sistema maestro.

Tabla1. Diversos mensajes enviados.

Evento	Mensaje enviado
Fuga de gas	ALARMA DE GAS
Incendio	ALARMA DE HUMO
Llaman a la puerta	TOCANDO TIMBRE
Allanamiento	VENTANA ROTA
# - MS1	MENSAJE DE PRUEBA

Conclusiones.

Este proyecto representa un esfuerzo para el desarrollo de nuevas herramientas enfocadas a mejorar la calidad de vida de personas con alguna discapacidad. El sistema inicial ha sido modificado de manera que su practicidad de uso y aplicaciones se han incrementado radicalmente y, al mismo tiempo, ha abierto un abanico de posibilidades en el campo de la ayuda a personas discapacitadas.

El sistema brinda a las personas con debilidad auditiva la oportunidad de una integración más completa al medio, proveyéndolos de mayor independencia.

Con las características actuales, el sistema puede ser implementado incluso para personas sin ninguna discapacidad, para el monitoreo de alarmas o sistemas a distancia.

Referencias Bibliográficas.

Coughlin Robert F. / Driscoll Frederick F., (1998) “*Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*”, Prentice Hall. México.

González Vázquez J. A., (2000) “*Introducción a los microcontroladores. Hardware, software y aplicaciones*”. McGraw Hill. México.

F Ebel, S Nestel, (1993) “*Sensores para la técnica de proceso y manipulación*”. Festo Didactic, México.

Huidobro Moya José Manuel, (2012) “*Comunicaciones móviles, sistema GSM, UMTS y LTE*”. Ra-Ma, México.

Web Xbee, (2015) *Software y material informativo de los Xbee.* <http://www.andresduarte.com/arduino-y-xbee>

Web Communication, (2006) *Wireless Communication with XBee Radios, Practical Example (April, 2006).* https://www.faludi.com/itp_coursework/meshnetworking/XBee/XBee_example.html

Web PIC18F4520, (2015) *FLASH/EEPROM, DATASHEET.* <http://microchip.com>

Información de los autores.



Raúl Moreno Rincón, Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica, egresado de la ESIME-IPN, en la ciudad de México, D.F. Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica egresado del Instituto Tecnológico de Toluca. Maestro en Educación Superior por la Universidad Autónoma de Chiapas. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y Jefe de Proyectos de Docencia de Ingeniería Electrónica. Es investigador desde 1999 y Colabora en la línea de investigación de “Robótica” de Ingeniería electrónica, en donde ha realizado proyectos como; Sistema de alarma para personas con deficiencia auditiva basado en XBEE, Robot de cafetería, araña hexápoda, entre otros.



Álvaro Hernández Sol, es Ingeniero en electrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y es investigador desde 1997. Siendo Jefe de proyectos de investigación de ingeniería electrónica desde el 2001. Fundó y asesora el “Club de robótica del ITTG”. Colabora en la línea de investigación de “Robótica” de Ingeniería electrónica. Dirige el área de trabajo en “sistemas aéreos autónomos”.



Osbaldo Ysaac García Ramos, Ingeniero en Electrónica, es Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Es docente de asignatura del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en el área de Ingeniería Eléctrica-Electrónica. Tiene 10 años de experiencia docente y ha desarrollado proyectos de investigación como ‘Sistema de medición de hélices de barco para la Secretaría de Marina financiado por Conacyt y Semar’. Tiene participaciones en congresos internacionales como congreso Tecnolaser Habana Cuba 2012 con artículo y ponencia ‘Método de registro automático de imágenes de rango tridimensionales para restauración de piezas arqueológicas’.



Luis Alberto Pérez Lozano. Estudio Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, ha participado en el foro de ahorro de energía y uso eficiente de la energía, colaboro con la Universidad Autónoma de Chiapas en el área de diseño y ejecución de proyectos eléctricos y control, y posteriormente se incorporó al sistema de los Institutos Tecnológicos en el 2010. Ha participado como facilitador de cursos de manejo de equipo de laboratorio y propuesta de prácticas innovadoras de Física, como Jefe del Laboratorio de Física, Jefe del Laboratorio de Ingeniería Eléctrica, pertenece a la línea de investigación de energías renovable de Ingeniería Eléctrica. Actualmente es Jefe del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.



Joaquín Eduardo Domínguez Zenteno, es Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica egresado del Instituto Tecnológico de Toluca, Ingeniero en Electrónica con especialidad en Instrumentación y Control por el Instituto Tecnológico de Nuevo León, en Cd. De Guadalupe, Nuevo León. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y Jefe de Proyectos de Vinculación de Ingeniería Electrónica. Es investigador desde 2009 y Colabora en la línea de investigación de “Instrumentación” de Ingeniería electrónica.

Mapa turístico geo-referenciado de la región Zoque-tsotsil, Estado de Chiapas, México. Producción fotográfica y generación de contenido como estrategia de difusión de sitios turísticos locales.

Tourist map georeferenced of Zoque-tsotsil zone, Chiapas State, Mexico. Photographic production and content generation as dissemination strategy for local tourist places.

Miguel Ángel Zea Hidalgo (1).
Estudiante, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
mig.zea123@gmail.com.

Estudiante, Erik Fabián Aguilar Ramírez (2), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, efaragr@gmail.com

Héctor Guerra Crespo (3), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, hgcresto@hotmail.com

Aída Guillermina Cossio Martínez (4), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, acossio_m@yahoo.com.

José Alberto Morales Mancilla (5), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, amancilla58@hotmail.com.

Jorge Octavio Guzmán Sánchez (6), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, jogs78@gmail.com

Artículo recibido en octubre 14, 2015; aceptado en noviembre 27, 2015.

Resumen.

Este documento es el resultado de la definición, recolección de información y producción fotográfica de lugares que tienen potencial turístico en Chiapas pero que no han sido tomados en cuenta por no contar con cierto estándar en términos de: Infraestructura, vías de acceso y comunicación, fama, prestigio, historia, entre otros. Se toma como punto de partida los municipios que están dentro de la provincia o ruta zoque, dichos municipios son Tapilula, Rayón, Pueblo Nuevo Solistahuacan y Jitotol, municipios que son parte de la región económica VII de los boques del Estado de Chiapas. La definición de sitios turísticos, su contenido y producción fotográfica es completamente inédita y validada por habitantes de la región y está integrada en una aplicación web bajo tecnología de software libre y disponible en el sitio web turismozonazoquetsotsil.mexmapa.com.

Palabras clave: Aplicaciones WEB, aplicaciones sobre mapas, mapa turístico, recolección de datos inéditos, zona zoque-tsotsil.

Abstract.

This paper is the result of the establishment, collection of information and photographic production of places that have tourism potential in Chiapas State, Mexico but have not been considered yet because not having a certain standard in terms of infrastructure, roads, communication, fame, prestige, history, among others. The places considered are in Zoque-tsotsil zone, these cities are Tapilula, Rayon, Pueblo Nuevo Solistahuacan and Jitotol, that are part of the economic region VII the forests in Chiapas State, Mexico. The definition of tourist places, content and photographic production is completely new and ratify for residents and available in website turismozonazoquetsotsil.mexmapa.com.

Keywords: WEB Applications, maps, tourist map, unpublished information, Zoque-tsotsil zone.

1. Introducción.

La región Zoque-Tsotsil no es una región oficialmente, es un nombre para describir mejor los municipios involucrados en este proyecto. Se encuentra dentro de la región económica VII de los bosque del Estado de Chiapas, según decreto 143 del Gobierno del Estado de Chiapas de fecha 9 de febrero de 2011 (Gobierno de Chiapas, 2011).

Los municipios que se encuentran dentro de la región mencionada anteriormente son: Jitotol, Pueblo Nuevo Solistahuacan, Rayón y Tapilula, la región VII además contempla los municipios Bochil, El Bosque, Huitiupan, Ixtapa, Pantepec, San Andrés Duraznal, Simojovel, Soyalo y Tapalapa.

Al hablar de sitios o lugares turísticos, nos enfocamos a aquellos lugares que tienen cierto estándar en cuanto a infraestructura, vías de acceso y comunicación, fama, prestigio e historia, de esta manera sitios que no cumplen con estos estándares son eclipsados pero tales sitios pueden contar con potencial turístico principalmente para los habitantes de la región que pueden visitarlos o crear las condiciones necesarias para desarrollarlos y hacerlos atractivos para turismo de mayor alcance.

Este proyecto trata de darle difusión a esos sitios turísticos con potencial de desarrollo a través de la construcción de la información necesaria que a un turista interesa, producción fotográfica e integración a través de una aplicación web accesible a todos.

La información fue construida desde cero y por estudiantes radicados en la zona de origen lo que da al contenido un valor muy especial.

2. Métodos.

Recolección de datos.

Para poder llevar a cabo el proyecto se tuvieron que hacer al menos 3 visitas a cada municipio y hacer algunas preguntas a las personas de los municipios acerca de que lugares considerarían para que una persona que no es de ahí visitara y pudiese recomendarla a otras más.

Para la elección de los sitios, se consideraron por lo menos 5 recomendaciones de algún lugar, se hicieron preguntas acerca de cómo es el lugar, cómo llegar, cuantas veces había visitado el lugar, que le gusta del lugar, las veces que ha ido encontró a más personas ahí, datos históricos o relevantes del lugar y en que temporadas se es más recomendable llegar.

Los lugares históricos como los son las iglesias o emblemáticos como los parques, son construcciones que en la mayoría de los lugares no se tiene datos históricos en las parroquias o en los archivos públicos del municipio, algunos recomendaban viajar a la Ciudad de San Cristóbal de las Casas o al municipio de Tecpatan, y buscar la forma de hablar con algún alto mando que diera acceso a archivos históricos de los municipios.

Lo que saben los locales o los encargados de los lugares, es que las iglesias principales son contemporáneas, y basándose en ese dato, se optó por tomar la edad de la iglesia de Rayón, la cual cuenta con una placa histórica en la que describe datos importantes e históricos.

Después de tener la información de los lugares recomendados, se hizo la visita a estos, llevando cámaras fotográficas para tener evidencia y hacer diferentes tomas, desde diversos puntos, así como también a una persona que conociera el lugar y nos mostrará todo lo relacionado a este.

Para llegar a algunos lugares cabe mencionar que se requiere de equipo especial, como por ejemplo a las grutas o cuevas de Soconusco, en Pueblo Nuevo Solistahuacan, otros requieren hacer caminatas que pueden ir desde los 10 minutos hasta las 3 horas aproximadamente, debido a que no hay carreteras y esto evita el acceso de vehículos;

algunos de estos caminos son pendientes, barrancos o caminos hechos a través de ríos secos, o veredas entre los árboles y maleza.

Sin embargo a pesar del largos recorridos, se puede llegar al lugar citado y disfrutar de lo que tiene el lugar, bien sea una vista espectacular, un buen chapuzón en los ríos o poder escuchar a la naturaleza con el cantar de algunas aves u observar algunos animales que ya no son tan comúnmente verlos.

A algunos de estos se tuvieron que hacer más de una visita debido a que por condiciones climatológicas impedían llegar hasta el lugar o tener una buena toma fotográfica, así como también aumentaba el riesgo de sufrir algún percance por las condiciones de los caminos.

Una vez obtenida la información y la fotogalería, se comenzaron a elegir las mejores tomas para presentar, así como también se hizo la redacción y documentación de la información obtenida a través de las visitas a estos municipios.

Algunos sitios se descartaron por causas como problemas sociales, problemas políticos, el lugar ya no existe (por ejemplo un río), es una propiedad privada y el dueño no dio autorización o en definitiva no se logró acceder al lugar.

Google Maps.

Es el nombre de un servicio gratuito de *Google*. Es un servidor de aplicaciones de mapas en la web. Ofrece imágenes de mapas desplazables, así como fotos satelitales del mundo entero e incluso la ruta entre diferentes ubicaciones o imágenes a pie de calle *street view* y el motor de búsqueda de *Google* que permite ver imágenes a escala de un lugar específico del planeta. A través de su *Google Maps API* es posible generar aplicaciones sobre sus mapas, la plataforma de desarrollo es *JavaScript*.

Herramientas utilizadas.

Las herramientas utilizadas corresponden a software libre, *WAMP* como servidor, *PHP* para la programación de los datos, *MySQL* como gestor de base de datos, *XHTML* para asegurar la estructura del código *HTML* y *CSS* para la presentación del sitio y *JavaScript* como lenguaje de programación sobre el mapa.

Contenido del sitio.

Sitios turísticos.

El contenido está formado por sitios turísticos los cuales representan la unidad mínima para organizar la información, después de consultar múltiples fuentes de información se obtuvo la cantidad de 48 permanentes y 11 temporales, la lista es la siguiente.

Sitios temporales:

Tapilula.

1. Capilla de Guadalupe.
2. Cascada el Chorro.
3. Cascada el Sartén.
4. Cascada Portaceli.
5. Noviciado.
6. Parque.
7. Parroquia San Bernardo Abad.
8. Puente el Salvador.
9. Río Jaconá.

10. Río la Sangre.

Rayón.

11. Cañada el Carrizal.
12. Capilla de la Santísima Trinidad.
13. Cascada la Unión.
14. Cerro el Gallo de Monte.
15. Cueva del Burro.
16. Iglesia Sr. De Esquipulas.
17. Mirador la Ventana.

18. Mirador Pinabeto.
19. Mirador San Antonio.
20. Parque.
21. Parroquia San Bartolomé.
22. Selva Negra.

Pueblo N. S.

23. Arbolitos.
24. Cueva del León.
25. Grutas Soconusco.
26. Iglesia San Pedro.
27. La caña.
28. Mirador la Cumbre.
29. Mirador la Florida.
30. Monasterio.
31. Parque.
32. Parroquia San Dionisio.
33. Reserva.

34. Rio San Felipe.
35. Rivera Sta. Rita.
36. ULV.
37. Yerbabuena.

Jitotol.

38. Cascadas Maravillas.
39. Cerro el Calvario.
40. Cueva Rio Hondo.
41. Dispensario.
42. Ermita de Guadalupe.
43. Parque.
44. Parroquia San Juan.
45. Rio Hondo.
46. Sacramento.
47. Siempre Verde.
48. Tatasantos.

Sitios temporales:

Tapilula.

1. Feria en honor a Santo Tomás, del 1-7 de marzo.
2. Feria en honor a San Bernardo, del 11-20 de agosto.

Rayón.

3. Feria en honor al Señor de Esquipulas, del 7-15 de enero.
4. Feria en honor a San Bartolomé, del 16-24 de agosto.

Pueblo N. S.

5. Feria en honor a la Virgen María, del 23-31 de Mayo.
6. Feria en honor a San Pedro Apóstol, del 21-29 de Junio.
7. Feria en honor a San Dionisio, del 01-09 de Octubre.
8. Carnaval, fecha Variable.
9. Torneo decembrino, del 20-30 de Diciembre.

Jitotol.

10. Feria, 2o viernes de cuaresma.
11. Feria en honor a San Juan Apóstol, del 16-24 de Junio.

Clasificaciones turísticas.

Las clasificaciones turísticas fueron tomadas del trabajo mapa turístico de Chiapas desarrollado por el Dr. Héctor Guerra (Guerra H, Morales J. y Morales N., 2012) las cuales consisten en lo siguiente:

Clasificación 1. Por actividad.

- Actividades de esparcimiento.
- Actividades deportivas.
- Actividades vinculadas al ambiente natural.
- Actividades vinculadas al patrimonio histórico-cultural.
- Actividades vinculadas a la producción.
- Actividades de asistencia a eventos programados.

Clasificación 2. Agrupa a los elementos de la clasificación 1 y es la clasificación que rige la navegación en el sitio, contiene 128 elementos, un resumen se define a continuación:

1. Balneario.
2. Baños.
3. Caminatas/expediciones.
- ...
123. Mercados.
126. Hoteles.
127. Auditorios.
128. Unidad deportiva/estadio.

Ficha informativa.

La estructura de la ficha turística incluye descripción, localización, cómo llegar, actividades y galería fotográfica.



Figura 1. Ficha informativa del sitio turístico permanente "Tatasantos".



Figura 2. Ficha informativa del sitio turístico temporal “Torneo decembrino”.

3. Desarrollo.

En el subdominio turismozonazoquetsotsil.mexmapa.com se implementa el prototipo inicial, la interfaz principal se describe a continuación y en las siguientes figuras se ilustra.

1. Menú Inicio: Muestra la página principal del subdominio ya mencionado.
2. Menú Categorías: se visualizan 4 categorías que clasifican a los distintos sitios turísticos de esta región, dependiendo de la categoría que se seleccione será el resultado de sitios turísticos geo-referenciados en el mapa a través de marcadores. Dichas categorías son: Actividades de Esparcimiento (Cueva del Burro), Actividades Deportivas (Torneo Decembrino), Actividades Historico-Cultural (Iglesias), Actividades de Ambiente Natural (Cascada La Union).
3. Menú Festividades: al pasar el mouse sobre esta pestaña automáticamente se despliegan las festividades que se realizan en la región de Zoque-Tsotsil; al dar clic a cada una de ellas se podrá visualizar la iconografía en el mapa y además obtener información detallada.
4. Menú Infraestructura: esta pestaña nos mostrara iconografía de la infraestructura con la que cuenta cada estado de la región. Al hacer clic sobre ellas les mostrara la ubicación de cada uno de ellos, estos se mostrarán solamente con iconografía debido a que no se toman en cuenta como sitios.
5. Torneo Decembrino. Esta pestaña nos muestra automáticamente la información con la que cuenta, se puso de manera individual debido a que es el evento muestra de sitios turísticos a intervalos de tiempo.
6. Buscador: el buscador es una herramienta, que servirá al usuario a encontrar un sitio por su nombre sin necesidad de interactuar de manera más directa con la interfaz, será un facilitador para el usuario.

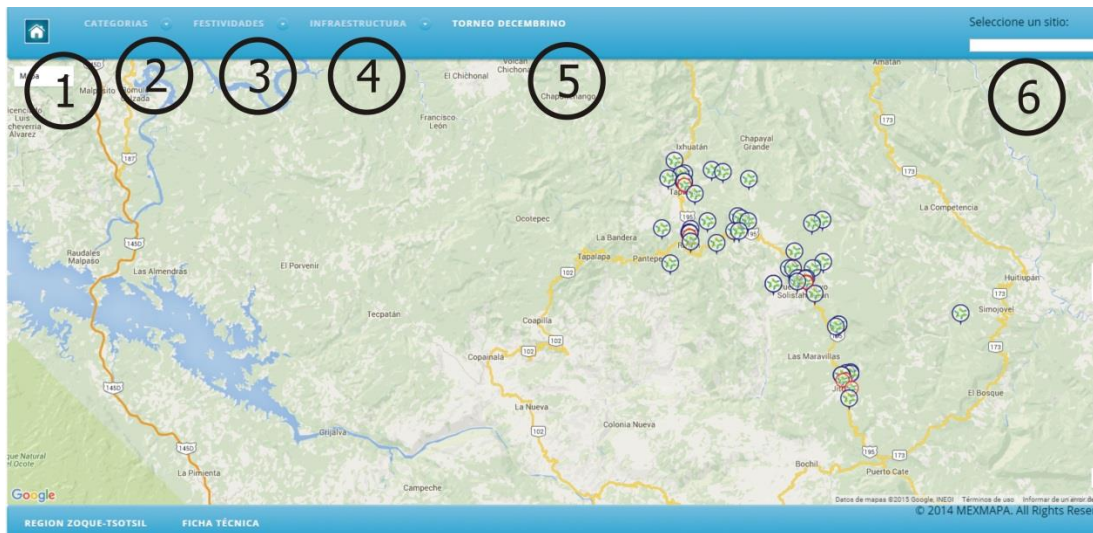


Figura 3. Interfaz mapa turístico de la región Zoque-Tsotsil.

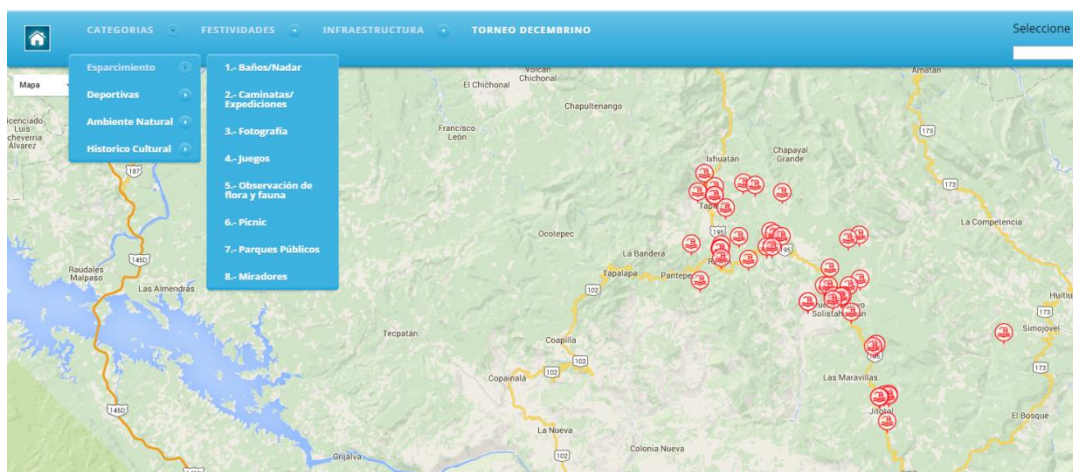


Figura 4. Menú categorías.

Conclusiones.

El proyecto tiene como finalidad el desarrollo de una aplicación web de índole informativo, donde pueda dar a conocer a los visitantes del portal los atractivos turísticos de dicha región. El proyecto se basó en tres etapas de desarrollo: anteproyecto (metodología de la investigación), análisis y diseño y la programación; esto con el fin de poder lograr los resultados que se requerían. Esta aplicación web contiene la geo-referencia con el fin de darle al usuario la posibilidad de ver la ubicación de los sitios turísticos que existen dentro de la región de Zoque-tsotsil, además se incluye toda la información necesaria para que se pueda tener una previa de lo que se encuentra en el lugar a visitar.

La aplicación web permitirá a los usuarios conocer información turística o de cualquier otra índole sobre la Región, ahora contarán con una herramienta para poder conocer los sitios turísticos. Estos destinos tendrán la oportunidad de

tener un gran número de visitantes para poder conocerlos. Usuarios locales pueden descubrir actividades de esparcimiento que no tenían consideradas.

Créditos.

Los autores agradecen y dan créditos al Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez por todas las facilidades y apoyo para la realización de este proyecto.

Referencias Bibliográficas.

Gobierno de Chiapas. (4 de febrero de 2011). *Decreto 143 del Gobierno del Estado de Chiapas, Definición de regiones económicas*, Recuperado de <http://www.sgg.chiapas.gob.mx/decretos06/>

Guerra H, Morales J. y Morales N. (2012). Mapa Turístico del Estado de Chiapas generado con Ingeniería Informativa. *Revista Tecnología Digital, Volumen 2*, www.revistatecnologiadigital.com/pdf/02_005_mapa_turistico_chiapas.pdf

Información de los autores.



Miguel Ángel Zea Hidalgo es egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales y se especializa en el desarrollo de proyectos web. Actualmente es docente del Instituto Profesional de Emprendedores en la Licenciatura en Informática.



Erik Fabián Aguilar Ramírez es egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales y se especializa en el desarrollo de proyectos web y actualmente en manejo de Redes.



Héctor Guerra Crespo es Doctor en Sistemas Computacionales por la Universidad del Sur, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, en 2011. Es profesor en el área de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y en el área de Licenciatura en Sistemas Computacionales de la Universidad Autónoma de Chiapas, en ambas desde 1995, líder del cuerpo académico “tecnologías de información para el desarrollo regional” donde dirige el área de trabajo “aplicaciones sobre mapas” y colabora en la línea “tecnología para población con necesidades educativas especiales”. www.hectorguerracrespo.com



Aída Guillermina Cossío Martínez es Maestra en Ciencias en Administración por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en 2002. Es profesora de tiempo completo del área de Ingeniería en Sistemas Computacionales desde 1994. Se especializa en la formulación y evaluación de proyectos, así como el emprendimiento y desarrollo de planes de negocio.



José Alberto Morales Mancilla es Maestro en Ciencias de la Computación, egresado del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico CENIDET, en Cuernavaca, Morelos. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y es investigador en el I.T. de Tuxtla Gutiérrez desde 1991, pertenece al cuerpo académico “Tecnologías de información para el desarrollo regional”, tiene el reconocimiento de Perfil Deseable PROMEP junio del 2012, cuenta con el reconocimiento del Sistema Estatal de Investigadores, fundó y dirige el área de trabajo “tecnología para población con necesidades educativas especiales” capacidades.sistemastectuxtla.net y colabora en al área “aplicaciones sobre mapas” www.mexmapa.com.



Jorge Octavio Guzmán Sánchez tiene la Maestría en Ciencias de la Computación, especialidad bases de datos y sistemas de información, es Ingeniero en Sistemas Computacionales, profesional certificado por *Microsoft* en la administración de servidores con *Windows*. Ejerce la docencia desde hace más de una década, actualmente docente del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez así como en la Universidad Descartes.

Método gráfico para la validación de identidad humana en usuarios de la web.

Graphic method for human validation to identity web users.

José Alberto Noh Noh (1).
Estudiante, Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Matemáticas.
jose31994@gmail.com.

Cinthia Maribel González Segura (2). Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Matemáticas.
gsegura@correo.uady.mx.

Artículo recibido en octubre 14, 2015; aceptado en noviembre 10, 2015.

Resumen.

Los métodos de autenticación denominados CAPTCHA se han vuelto las pruebas humanas iterativas más utilizadas para la autenticación de usuarios en la web, ya que permiten la diferenciación entre usuarios humanos y algoritmos automatizados, con el fin de brindar seguridad a la información de los sitios web que lo requieren. En este trabajo se presentan algunos conceptos relacionados con las pruebas humanas iterativas, posteriormente se describe el desarrollo de un nuevo método CAPTCHA propuesto, basado en la identificación de imágenes gráficas seccionadas, el cual es comparado con un método tradicional basado en el clásico reconocimiento de caracteres. Se realiza también un análisis comparativo de ambos métodos, el cual consiste en que un grupo de usuarios evaluarán la usabilidad del sistema después de haber interactuado con el sistema desarrollado que incorpora un método basado en OCR y otro NO basado en OCR. Los resultados muestran que el método propuesto resulta de mayor agrado para los usuarios, a la vez que garantiza el acceso seguro para los usuarios humanos de la web.

Palabras clave: CAPTCHA, seguridad de información, clasificación fundamental, pruebas humanas iterativas, método propuesto, OCR, NO OCR, usabilidad.

Abstract.

The CAPTCHA authentication methods have become the iterative human tests most used for user authentication on the Web. They allow differentiation between human users and automated algorithms, in order to provide security information websites that is required. In this work, some iterative human testing concepts are presented; then, the developing of new CAPTCHA proposed method is described, based on the identification of graphic images sectioned, which is compared to a traditional method based on the classical character recognition described. A comparative analysis of the two methods, which is a group of users assess the usability of the system after having interacted with the developed system incorporating a system based on OCR and other NO-based OCR method is also performed. The results show that the proposed method is most pleasing to the users, while ensuring secure access to human users of the web.

Keywords: CAPTCHA, information security, basic classification, human iterative proofs, method proposed, OCR, NO OCR, usability.

1. Introducción.

Los sitios web que ofrecen formularios de registro para acceder a servicios gratuitos o de pago, suelen sufrir ataques con software dañino que algunos usuarios de la red colocan en dichos sitios, el acceso común de este software ocurre

cuando se realiza una solicitud al servidor que aloja al sitio web, por lo que al ingresar al servidor causa daños o problemas que van desde la eliminación de páginas hasta el robo de identidad o la denegación del servicio (saturación del servidor), este último debido a la realización automática de la misma solicitud al servidor varias veces. Esto da origen a los métodos de autenticación, un pequeño candado de fácil solución para un ser humano pero difícil para una computadora, logrando así regular el acceso a ciertos servicios de la web.

Tales métodos provienen de técnicas que se han denominado pruebas humanas iterativas, mejor conocidas como HIP (Huma Interactive Proofs), permiten a una persona autenticarse, mediante un desafío que el computador ofrece, el cual debe ser fácil de superar por un humano, pero difícil para quien no lo sea (Areitio, 2007), en otras palabras, el usuario humano demuestra serlo través de un desafío/respuesta de protocolo (Shirali-Shahreza, 2008), quienes, además, señalan que la mayor parte de los HIP son de tipo grafico (palabras, imágenes e inclusive videos).

Desde sus inicios, los métodos de autenticación de usuarios costaban tiempo y esfuerzo, convirtiéndose en una tarea complicada y tediosa para los usuarios. Así, diseñadores y programadores web se dieron a la tarea de mejorar los métodos de autenticación de usuarios, llegando a lo que en la actualidad se conoce como CAPTCHA, el cual es uno de los métodos de autenticación más populares en la actualidad.

El auge de los sitios web y sistemas en línea ha hecho necesaria la creación de soluciones de seguridad que permitan restringir el acceso a programas maliciosos o bots mediante la autenticación de la identidad humana. Usando la autenticación denominada CAPTCHA (*Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart*), los cuales están basados en inteligencia artificial (Shirali-Shahreza, 2008), Los CAPTCHA son denominados como un “puzzle” que los webmasters incluyen en su sitio web para asegurarse de que los visitantes que quieren interactuar con el contenido son personas, y no robots spam (Cabezas, 2014).

Los CAPTCHA, parten de la inteligencia artificial, por lo que “benefician al propietario de un sitio web porque filtran los no deseables robots spammers, y de paso pueden proporcionar mayor percepción de seguridad al usuario” (Cabezas, 2014), y proponen retos basado en texto o imágenes, aptos para ser rápidamente resueltos por seres humanos pero difíciles para las computadoras, la aplicación de uno de los métodos CAPTCHA más populares en la actualidad consiste en presentar diversos caracteres distorsionados en una imagen cuyos efectos pictóricos dificultan ligeramente la identificación del código que el usuario humano debe digitar y que no puede ser reconocido fácilmente por un bot malicioso.

Sin embargo, el término CAPCHA se comienza a utilizar en el año 2000 en la Universidad de *Carnegie Mellon*, y responde a un juego de palabras, ya que la pronunciación de la palabra recuerda a *catch ya*, una versión informal de *I catch you* (Martinez, 2009).

Los CAPTCHA, se clasifican fundamentalmente en métodos basados y no basados en OCR (*Optical Character Recognition*) (Shirali-Shahreza, 2008), los métodos basados en OCR, son los más conocidos y usados en la actualidad, se presenta la imagen de una palabra con una distorsión de diversos efectos, la cual debe ser escrita por el usuario y, debido a los efectos pictóricos, no podrá ser reconocida por el equipo. Para su creación, se acostumbra llevar a cabo un procedimiento general, en el que se diferencian los métodos de generación por medio de los algoritmos de elección de palabras/diccionarios, el formato aplicado a los caracteres y las degradaciones realizadas sobre las imágenes.

Sin embargo, el método común basado en OCR presenta algunos inconvenientes tales como no lograr comprender el texto de la imagen, colores sin contraste que dificultan su lectura, vulnerabilidad si la distorsión no es correcta, mayor dificultad para personas sin experiencia en computación etc.

Los métodos no basados en OCR presentan imágenes con retos cuya resolución implica actividades tales como dar clic en ciertas zonas específicas de la imagen, identificar una serie oculta en las imágenes, mover algún componente de la imagen, o incluso formar cadenas de caracteres con las iniciales de los objetos representados. Una de las principales razones por las que los CAPCHA basados en imágenes son vulnerables frente a ataques, es que en caso ninguna de las técnicas existentes esta es distorsionada para evitar el reconocimiento de una máquina.

En el método no OCR que se explicará más adelante, un usuario debe identificar las partes incongruentes de una imagen, en la que cuyo algoritmo particiona la imagen y coloca 2 piezas aleatorias que solo un usuario humano podría resolver, de esta manera el usuario podrá validar su identidad humana restringiendo así el acceso automatizado de bots a los sistemas web. Se realizó una comparación del método propuesto y un método OCR, con el propósito de comparar la usabilidad y opinión de los usuarios.

2. Métodos.

De acuerdo con Cabezas, Sabate, Vendrell y Marcos (2014) los CAPTCHA son unos rompecabezas o retos que los administradores de sitios web incluyen para asegurarse de que los visitantes que interactúan con el contenido son personas y no robots automatizados que tratan de acceder al sitio web para obtener o añadir información de manera indiscriminada, dañando la integridad del sitio web.

En sus inicios, los primeros métodos CAPTCHA fueron basados en OCR, Udi Manber (Jefe científico, 1998) de Yahoo! Presenta a los BOTS (programa informático que realiza distintos contenidos y que trata de simular a un humano) y la necesidad de evitarlos en los chat, para lo que los profesores Manuel Blum, Luis A. von Ahn y John Langford desarrollan un *gimpy*, con palabras en inglés, al azar, presentando como una imagen de texto impreso con una amplia variedad de deformaciones y distorsiones, incluyendo las imágenes superpuestas de palabras diferentes (Hernández, 2010), Sin embargo, el método común basado en OCR presenta algunos inconvenientes tales como no lograr comprender el texto de la imagen, colores sin contraste que dificultan su lectura, vulnerabilidad si la distorsión no es correcta, mayor dificultad para personas sin experiencia en computación etc.



Figura 1. Imagen generada con el software Gimpy al elegir siete palabras de un diccionario y crear una imagen distorsionada que contiene las palabras.

Durante los inicios de los métodos no basados en OCR (gráficos), uno de los métodos implementados fue denominado *Bongo*, En este método se le realiza preguntas al usuario, para resolver un problema de reconocimiento de patrones visuales, en la que se mostraban dos series de bloques, en la que la serie de la derecha dependía de la de la izquierda y viceversa, en este tipo de métodos, un usuario debe identificar las partes incongruentes de una imagen, lo cual permitirá validar su identidad humana restringiendo así el acceso automatizado de bots a los sistemas web.

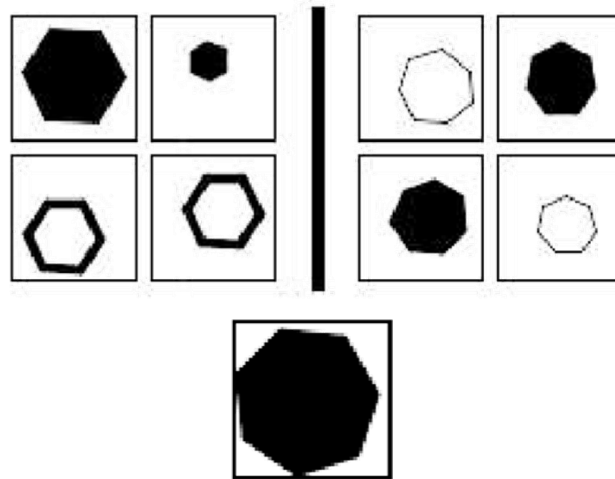


Figura 2. Ejemplo de ejercicio generado con Bongo, un método grafico donde el usuario debe elegir la pieza que no corresponde a los patrones de ambas series presentadas.

Considerando lo anterior, se diseñó e implementó un método no basado en OCR, para la autenticación de usuarios, cuyo propósito es el de disminuir el tiempo de acceso, mejorar la experiencia de los usuarios y crear un método fácil de resolver por un usuario humano, y difícil para una computadora.

Se realizó una comparación de un método propuesto No basado en OCR, usando lenguajes de desarrollo web y un método común de tipo textual que es basado en OCR, con el propósito de comparar la usabilidad y eficiencia, este método a comparar fue obtenido del sitio <http://www.phpcaptcha.org>, y adaptado en un sitio para la realización de pruebas.

3. Desarrollo.

Se desarrolló un sistema web en el que se implementaron dos métodos de autenticación: uno basado en OCR y otro no basado en OCR.

En el primer método, un algoritmo muestra de manera aleatoria una imagen seccionada en una matriz que simula ser un rompecabezas en el que existen dos piezas mal posicionadas, las cuales el usuario debe reconocer y al hacer clic sobre las piezas correctas se le concede el acceso. Una variante del método podría incrementar la seguridad añadiendo más de dos piezas. Inicialmente se utilizaron 30 imágenes elegidas de manera aleatoria, con características óptimas para ser resueltas por los usuarios, las cuales se almacenaron en un servidor en línea para las pruebas, al igual que los algoritmos y/o códigos implementados.

De manera general se usaron códigos del lenguaje Canvas de JavaScript, para la división (Algoritmo 1, se usaron 2 arreglos de forma global arreglopiezas y arreglocorrecto, estos arreglos serán importantes y serán usados por otras funciones), intercambio de piezas(Algoritmo 2, es necesario arreglopiezas, en este algoritmo se lleva a cabo el intercambio de las dos piezas necesarias para nuestro método propuesto) y verificación (Algoritmo 3, se usaran los arreglos arreglopiezas y arreglocorrecto, para realizar una comparación entre estos), además de códigos propios del lenguaje para la ubicación del orden correcto de cada pieza y la colocación y división de la imagen en trozos del mismo tamaño, según sea la cantidad de divisiones por lado.

Algoritmo 1. Algoritmo de división

```

Division(tamañoimagen, divisiones, imagen)
{
    tamañobloque = tamañoimagen/divisiones;
    var r;
    for (var i=0; i < divisiones; i++)
    {
        for(var j=0; j< divisiones;j++)
        {
            r = new Rectangle(i * tamañobloque, j * tamañobloque, i* tamañobloque + tamañobloque, j *
tamañobloque + tamañobloque);
            arreglopiezas.push(r);
            arreglocorrecto.push(r);
        }
    }
}

```

Algoritmo 2. Algoritmo de intercambio

```

Intercambio(arreglopiezas)
{
    var count = 0;
    var temp;
    var index1;
    var index2;
    while(count < 1)
    {
        index1 = Math.floor(Math.random()*arreglopiezas.length);
        do{
            index2 = Math.floor(Math.random()*arreglopiezas.length);
        }while(index1===index2);
        temp = arreglopiezas [index1];
        arreglopiezas [index1] = arreglopiezas [index2];
        arreglopiezas [index2] = temp;
        count++;
    }
}

```

Algoritmo 3. Algoritmo verificacion

```

verificacion()
{
    var match = true;
    for(var i = 0; i < arreglopiezas.length; i++)
    {
        if(arreglopiezas [i] != arreglocorrecto[i])
        {
            match = false;
        }
    }
}

```

```

    }
}

if(match)
{
    console.log('Finalizado');
}
else
{
    console.log('No finalizado');
}
}

```

Un ejemplo sería la división de una imagen en cinco particiones por lado, generaría, una imagen con 25 piezas del mismo tamaño, cada pieza es almacenada en un arreglo, usando una función aleatoria, se escoge dos números distintos según el tamaño del arreglo, y son intercambiados, almacenándose en un nuevo arreglo con el nuevo orden, seguidamente se vuelve a mostrar la imagen, pero ahora correspondiente al nuevo arreglo, mostrándose así las dos piezas intercambiadas, de manera específica, existe una solución, y esta es dar clic en las dos piezas mal colocadas, por el momento permite seleccionar otras pero no serán una solución esto llevaría al usuario demorarse en solucionarse, a futuro, para evitar este problema estaría como margen el tiempo en la que se es posible resolver el método y cambiar o actualizar a imagen a una nueva con otro orden, en este método se evalúa el tiempo en la que el usuario dura en solucionarlo.

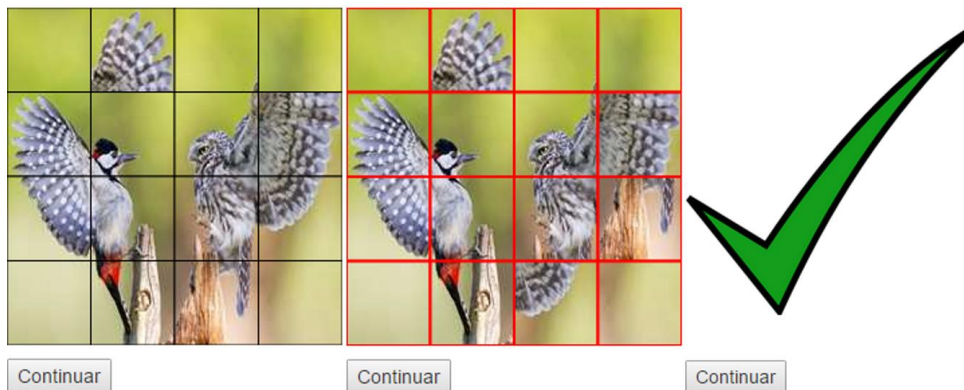


Figura 3. Método No OCR Propuesto, Inicialmente contará con dos piezas mal colocadas, si comete errores, cada pieza es rodeada por líneas rojas, lo cual es incorrecto, y le tomara tiempo al usuario, si es resuelta de manera correcta aparecerá la tercera imagen.

El segundo método basado en OCR implementado consiste en una interfaz tradicional de caracteres alfanuméricos distorsionados que el usuario debe reconocer y transcribir idénticamente para validar su identidad humana, este fue obtenido de un sitio web, el cual desarrolla varias variantes de este captcha, con la comprensión visual y la comprensión por medio de audio, se tomó la forma básica del método obtenido, el cual fue adaptado a una página web con formulario y la opción de cambiar la imagen, en este método se evalúa el tiempo, en la que el usuario dura en resolver una imagen, si cambia la imagen, el tiempo inicia nuevamente, este método fue de igual manera adaptado al sitio de pruebas y cargado al servidor en línea para las pruebas.



Figura 4. Método basado en OCR obtenido, muestra una imagen con caracteres alfanuméricos que deben ser ingresados en el campo textual para poder realizar la verificación del método, en este método es posible cambiar la imagen que se muestra.

Ambos se diseñaron utilizando HTML, PHP y JavaScript, así como un servidor de páginas web Apache y un servidor de Hosting en línea. La interfaz completa consiste en una secuencia de formularios que permiten al usuario interactuar con ambos métodos consecutivamente y expresar su opinión al respecto de su experiencia. Así, el novedoso método propuesto podrá ser incluido en cualquier sitio web en que desee asegurarse de que los visitantes que interactúan con él sean personas y no robots spam que tratan de registrarse en el sitio web, incluir comentarios en blogs, etc. (Cabezas, 2014).

De acuerdo con (Alicia Yesenia Lopez Sanchez, 2013), para un ser humano, el tiempo promedio de resolución de un método de autenticación basado en OCR es de 16 segundos, y para un bot el tiempo promedio que le toma obtener un intento de solución, que puede ser errónea o correcta, es de aproximadamente 6 segundos, independientemente del método empleado (Saputra C, 2013).

Una vez que el sistema se publicó en un servidor web en línea, la experimentación se realizó difundiendo la dirección e invitando a participar en diversos medios digitales. Se contó con la participación de 21 personas, quienes interactuaron con ambos métodos y posteriormente emitieron su opinión al respecto, de los cuales el 67% manifestó poseer una experiencia intermedia y un 33% dijo contar con un nivel avanzado en el uso de sistemas.

Se omite a una persona para el resultado promedio del tiempo de resolución de los métodos cuya información no es confiable, de las 10 personas restantes se obtiene que en conjunto los tiempos de resolución para el método propuesto No basado en OCR fue en promedio de 6 segundos, mientras que el segundo método basado en OCR, en promedio fue resuelto en aproximadamente 12 segundos, los usuarios de igual manera opinaron que el primer método (OCR), era más de su agrado con un 100% de aceptación a comparación del segundo (NO OCR), que para algunos era complicada su resolución. El sistema desarrollado se encuentra disponible en la dirección: <http://www.pruebacaptcha.esy.es>.

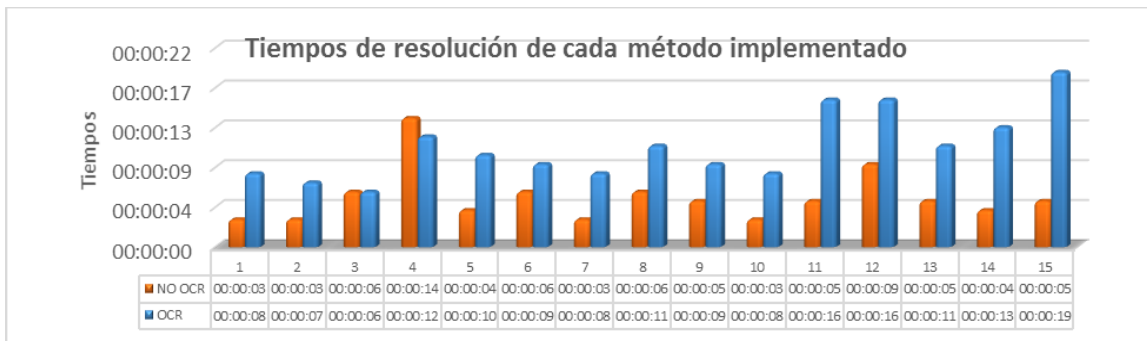


Figura 5. Tiempo de resolución de ambos métodos por usuario, Se puede notar de manera clara que el método propuesto es resultado en menor tiempo.

En la figura 5 se puede observar de manera clara que el método No basado en OCR que se ha propuesto fue resultado en un tiempo menor a comparación del método basado en OCR, en la gráfica antes mencionada se muestra la distribución de tiempos de resolución, de 10 pruebas realizadas, en donde se puede notar la diferencia en tiempos de resolución de cada método que se implementó en la prueba hecha.

Conclusiones.

Con la información anterior se concluye que el método basado en OCR propuesto requiere menor tiempo de solución para un humano y para los usuarios resulta ser de mayor agrado que el método tradicional textual que comúnmente se encuentra en diversos sitios web.

Posteriormente, se sugiere realizar evaluaciones de usabilidad para garantizar que las personas puedan resolverlas en tiempo y tasas de éxito razonable (Gossweiler, 2009).

Con la información recabada es importante mencionar que el método que se ha desarrollado para realizar la comparación ha sido, aceptado por el 100% de los usuario, además de que estos mismo han comentado que el método No OCR, puede ser resuelto en un tiempo mucho menor, y ofrecer la seguridad necesaria a la de un método común, este método es más atractivo para los usuario, e inclusive divertido de resolver, a varios usuario han demostrado el gusto de la resolución por la imágenes que estas contienen.

De esta manera se concluye que el método basado en No OCR desarrollado y propuesto, puede ser implementado como una buena alternativa al método basado en OCR con el cual se ha realizado comparación.

Referencias Bibliográficas.

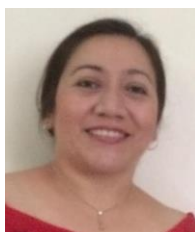
- Alicia Yesenia Lopez Sanchez, N. U. (2013).** Comparación De Usabilidad Entre Captcha Basado En Texto Y Captcha Basado En Imágenes. *Memorias Arbitradas Del VIII Congreso De Ingeniería Industrial Y De Sistemas* (págs. 48-58). San Nicolas de los Garza, Nuevo Leon, Mexico: Facultad De Ingeniería Mecánica y Eléctrica.
- Areitio, J. y. (2007).** Análisis en torno a la tecnología biométrica para los sistemas electrónico de identificación y autenticación. *Revista española de electronica(630)*, 52-67.
- Cabezas, V. S. (2014).** Experiencia de usuario y captchas, explorando la semiotica visual. no solo usabilidad: *revista sobre personas, diseño y tecnologia*, 1-14.
- Gossweiler, R. K. (2009).** Whats Up CAPTCHA A CAPTCHA Based On Image Orientation. *18th international conference on World wide web* (págs. 841-850). Nueva York, NY, EE.UU: *18th international conference on World wide web*.
- Hernández, C. J. (2010).** Pitfalls in CAPTCHA design and implementation: The Math CAPTCHA, a case study. *Computers & Security*, 141-157.
- Martinez, D. y. (2009).** Servicios Accesibles de Acceso Exclusivamente Humano. *Segunda Conferencia Internacional sobre brecha digital e inclusión social 9*, (págs. 1-12). Madrid, España.
- Saputra C, A. E. (2013).** Comparison of Classification Algorithms to tell Bots and Humans Apart. *Journal Of Next Generation Information Technology [serial online]*, 23-32. Obtenido de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aci&AN=98906315&lang=es&site=ehost-live>

Shirali-Shahreza, M. y.-S. (2008). Encouraging persons with hearing problem to learn sign language by Internet websites. *Eighth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT '08*, IEEE (págs. 1-3). Tehran, IRAN: Eighth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies.

Información de los autores.



Jose Alberto Noh Noh, es estudiante de la Licenciatura en Ciencias de la Computación de la Facultad de Matemáticas en la Universidad Autónoma de Yucatán, sus principales intereses son las áreas de programación de sistemas, desarrollo web y móvil. ha participado en el verano de investigación científica de la península de Yucatán (2015) Priori-CONACYT, actualmente imparte cursos en las áreas de matemáticas y mantenimiento de equipos de cómputo. El artículo presentado es parte de su trabajo de tesis.



Cinhtia Maribel González Segura es Maestra en Ciencias de la Computación por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (2005). En agosto de 2014 inició el Doctorado en Sistemas y Ambientes Educativos en el Sistema de Universidad Virtual de la Universidad de Guadalajara y actualmente está desarrollando una tesis orientada al modelado de evaluación de competencias en entornos e-learning. Es profesora titular de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Yucatán desde 2002, donde imparte asignaturas del área de robótica, desarrollo web, teoría computacional y metodología de la investigación. Ha sido responsable y colaboradora de proyectos con financiamiento interno y externo. Colabora con las líneas de investigación aplicación de nuevas tecnologías computacionales y desarrollo de software de aplicación.

Metodología para determinar la topología, patrones de parámetros eléctricos y entrenamiento de una Red Neuronal Artificial para un control inteligente.

Methodology to determine the topology, electrical parameters patterns, and training of an Artificial Neural Network for intelligent control.

José Ángel Zepeda Hernández (1).
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
jzpedah@ittg.edu.mx.

Aldo Esteban Aguilar Castillejos (2), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, aguilarcastillejos@gmail.com.

Álvaro Hernández Sol (3), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, obrindis@gmail.com.

María Catalina Salgado Gutiérrez (4), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, ing_katy@hotmail.com.

Artículo recibido en junio 23, 2015; aceptado en noviembre 05, 2015.

Resumen.

El presente trabajo describe la metodología para determinar la topología y la implementación de una Red Neuronal Artificial tipo FeedForward, basada en reglas que se pueden utilizar como punto de partida en la construcción de la red. Se aborda también el proceso para la obtención de patrones de entrenamiento de parámetros eléctricos y su acondicionamiento para la determinación de los pesos de las interrelaciones de las neuronas y bias de ésta, a través de un proceso de simulación realizado en Simulink de MatLab. Dicha actividad es crítica ya que de ésta depende la capacidad de la RNA para responder a los procesos de control inteligente donde será implementada. Se presenta el caso específico de un control neuronal de un Restaurador Dinámico de Voltaje como ejemplo de aplicación de la metodología.

Palabras clave: Control inteligente, Control Neuronal, Patrones de Entrenamiento, Topología de una RNA, Neurona, Red Neuronal Artificial, Parámetros Eléctricos, Restaurador Dinámico de Voltaje.

Abstract.

This paper describes the methodology for determining the topology and implementation of an artificial neural network type FeedForward, based on rules that can be used as a starting point in building the network. Also it addresses the process for obtaining training patterns of electrical parameters and conditioning for determining the weights of the interrelationships of neurons and this bias, through a simulation process performed in Matlab Simulink. This activity is critical because this depends on the ability of the RNA to respond to intelligent control processes, which will be implemented. The specific case of a neural control of a Dynamic Voltage Restorer as an example of application of the methodology is presented.

Keywords: Intelligent Control, Neural Control, Training Patterns, Topology of RNA, Neuron, Artificial Neural Network, Electrical Parameters, Dynamic Voltage Restorer.

1. Introducción

Una Red Neuronal Artificial (RNA) tiene su inspiración en la organización de las neuronas del cerebro humano y pretende emular el proceso de aprendizaje y generalización que éste tiene. Las redes neuronales artificiales presentan un gran número de características similares a las del cerebro: son capaces de aprender de la experiencia, de generalizar de casos anteriores a nuevos casos, de abstraer características esenciales a partir de entradas que representan información irrelevante, alta tolerancia a fallos, operación en tiempo real, entre otras mencionadas en (Hagan y Demut, 1996). Esto hace que ofrezcan numerosas ventajas concebidas para el control de sistemas complejos no lineales.

1.1. Arquitectura de la Red Neuronal Artificial.

Se denomina arquitectura a la topología, estructura o patrón de conexionado de una red neuronal. En una red neuronal artificial los nodos se conectan por medio de enlaces llamados sinapsis, estructura de conexiones que determinan el comportamiento de la red. Estas conexiones sinápticas son direccionales y la información solamente puede propagarse en un único sentido (desde la neurona pre-sináptica a la pos-sináptica). Las neuronas se agrupan en unidades estructurales denominadas capas. El conjunto de una o más capas constituye la red neuronal de acuerdo a (Hagan y Demut, 1996).

Existen tres tipos de capas en una red, de entrada, de salida y ocultas. Una capa de entrada, también denominada sensorial, está compuesta por neuronas que reciben datos o señales procedentes del entorno. Una capa de salida se compone de neuronas que proporcionan la respuesta de la red neuronal. Una capa oculta no tiene una conexión directa con el entorno, es decir, no se conecta directamente ni a dispositivos sensores ni de actuación. Este tipo de capa oculta proporciona grados de libertad a la red neuronal gracias a los cuales es capaz de representar más fehacientemente determinadas características del entorno que trata de modelar. Véase la Figura 1.

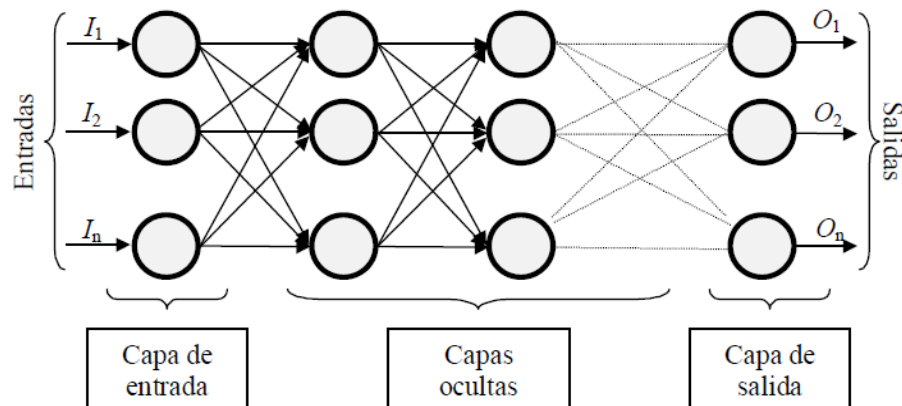


Figura 1. Red neuronal artificial.

1.2. Pesos y *bias* de una RNA tipo *FeedForward*.

Las estructuras de conexiones sinápticas de la RNA tienen un grado de relación entre ellas denominado peso y las neuronas con un valor llamado *bias* el cual proporciona el umbral que permite a la neurona en conjunto con el peso determinar la salida de ésta, los valores de los pesos y *bias* se obtienen como resultado de un entrenamiento a través de patrones que contienen ejemplos de cómo deberá responder la RNA a los datos proporcionados, por tanto es indispensable que estos patrones contengan la suficiente información o datos, que permitan a la Red utilizar su capacidad de generalización (interpolación y extrapolación) para representar de manera adecuada la función requerida. La cantidad de datos a elegir para integrar un patrón es un factor importante a considerar para llegar al resultado esperado, ya que una gran cantidad de datos sobreentrenará a la red impidiendo que se ajuste a condiciones

no establecidas en su operación, por el contrario una cantidad escasa de información no será suficiente para arrojar resultados adecuados.

2. Métodos.

Uno de los principales problemas de las redes multicapas, es la definición de su arquitectura, que incluye las funciones de transferencia y salida a utilizar y la topología de la red. Para garantizar el aprendizaje, las funciones de transferencia y de salida deben ser continuas y derivables en todos los puntos, lo que lleva a la selección en la mayoría de los casos a funciones de transferencia o de activación *sigmoidales* y funciones de salida lineales.

En cuanto a la topología de la Red, la determinación del número de capas que la integran y el número de neuronas ocultas a incluir en cada capa resulta una tarea mucho más compleja, que incide directamente en la capacidad de generalización del modelo. Dado que toda red neuronal dispone necesariamente de una capa de entrada y una capa de neuronas de salida, que recibe los estímulos externos y los entrega al exterior respectivamente, el problema se limita a establecer el número y extensión de las capas ocultas.

Se ha demostrado que la propiedad de aproximador universal de funciones de la red multicapa, requiere un máximo de dos capas ocultas, en la mayoría de los casos una única capa oculta resulta suficiente para conseguir óptimos resultados. (Lippmann, 1987) considera que redes con una única capa oculta resultan suficientes para resolver problemas potencialmente complejos, siempre y cuando la capa oculta incluya al menos tres veces el número de nodos de la entrada.

Por su parte, (Hecht-Nielsen, 1990) y (Lippmann, 1987), aplican una extensión del teorema de Kolmogorov para demostrar que una red de capa simple oculta integrada por $(2N+1)$ neuronas y con funciones de transferencia continua, no lineales y monótonamente crecientes, resulta suficiente para computar cualquier función continua de N variables de entrada.

Las redes neuronales más pequeñas son preferibles a las más grandes que realizan una misma tarea, por varias razones: tienen un menor número de parámetros, el entrenamiento es más rápido y suelen tener una mayor capacidad de generalización al utilizar nuevos patrones. Actualmente no hay un procedimiento sencillo ni general para determinar el tamaño óptimo de una red neuronal, sin embargo existen algunas reglas o procedimientos que se pueden utilizar como base o inicio en la construcción de la red neuronal.

Para determinar el número de neuronas ocultas de cada capa suelen utilizarse las reglas ad-hoc y los procedimientos de poda entre otros que, aunque no todas resultan matemáticamente justificables, han demostrado un buen comportamiento en diversas aplicaciones prácticas.

2.1 Reglas ad hoc.

Entre las reglas ad hoc más conocidas destacan:

a) *Regla de la pirámide geométrica.*

Se basa en la suposición de que la cantidad de neuronas de la capa oculta ha de ser inferior al total de variables de entrada pero superior a las variables de salida. Se considera que el número de neuronas en cada capa siguen una progresión geométrica, tal que, para una red con una capa única oculta, el total de neuronas intermedias debe ser próximo a $\sqrt{n * m}$ donde n = número de variables de entrada y m = número de neuronas de salida (Masters, 1993).

b) *Regla de la capa oculta-capas entrada.*

Según esta regla, el número de neuronas está relacionado con el número de neuronas de entrada. En particular, suele aplicarse la regla 2x1, de forma que el número de neuronas ocultas no puede ser superior al doble del número de variables de entrada. (Swingler, 1996); (Berry y Linoff, 1997).

c) *Regla de la capa oculta-numero de patrones.*

Esta regla relaciona el número de neuronas de la capa oculta con el total de patrones presentados al sistema, siendo habitual la relación 1/30 (una neurona oculta por cada 30 patrones).

2.2 Procedimientos de poda.

- a) Partir de una red neuronal de gran tamaño y *podarla* eliminándole unidades de proceso y conexiones hasta conseguir un tamaño satisfactorio.
- b) Comenzar con una red neuronal muy pequeña e ir incrementando su tamaño añadiendo unidades de proceso, conexiones o capas hasta conseguir un tamaño satisfactorio.
- c) Partir de una red de tamaño suficiente y podar las conexiones y unidades de proceso que se consideren poco relevantes. A continuación se añaden nuevas unidades de proceso con pesos aleatorios y se vuelve a entrenar la red. Este proceso se continúa hasta que se consigue un tamaño aceptable y un comportamiento satisfactorio.

El método OBD (*Optimal Brain Damage*), de lesión cerebral óptima, propuesto por (Lecun, Denker y Solla, 1990), trata de identificar aquellos pesos sinápticos que pueden ser podados examinando las derivadas segundas de la función de error contenidas en la matriz Hessiana. La variación que produce en el error cuadrático medio una pequeña perturbación Δw_{ij} en el peso w_{ij} se aproxima por la ecuación 1, que considera los dos primeros términos del desarrollo de E en series de Taylor, mientras que el algoritmo de retropropagación (*backpropagation*) sólo considera el primer término.

$$\Delta E = \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} \Delta w_{ij} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 E}{\partial w_{ij}^2} \right) (\Delta w_{ij})^2 \quad (1)$$

Cuando la red finaliza el entrenamiento en un mínimo local de E , entonces $\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} \approx 0$, y así podemos definir a ΔE en la ecuación 2

$$\Delta E \approx \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 E}{\partial w_{ij}^2} \right) (\Delta w_{ij})^2 \quad (2)$$

Como la poda de una conexión supone pasar su peso sináptico del valor w_{ij} al valor 0, es decir, ocurre cuando $\Delta w_{ij} = -w_{ij}$ entonces la condición para realizar la poda de dicha conexión es que el cambio en el error resultantes sea insignificante, es decir, que la cantidad ΔE sea suficientemente pequeña.

3. Desarrollo.

En este trabajo se describe la metodología para la Construcción de una Red Neuronal Artificial y la obtención de patrones de parámetros eléctricos, tales como: voltajes, corrientes, frecuencias, entre otros que describen el funcionamiento de un sistema de control e implementarlo con un control neuronal, debido a la capacidad de estos sistemas en funcionar de manera adecuada con cargas lineales y no lineales.

El sistema a implementar es un control neuronal de un Restaurador Dinámico de Voltaje (RDV) y la configuración básica de éste se muestra en la figura 2, esta configuración citada es usada en otras investigaciones. (Rosli y Rahim, 2009).

El RDV es usado para mitigar los disturbios de voltaje tipo *SAG* y *SWELL* que se presentan en los sistemas de distribución, debido a la incorporación masiva de convertidores electrónicos implementados en las fuentes de alimentación primarias de equipos de uso cotidiano, condiciones de conexión y desconexión de altas cargas eléctricas no lineales, así como disturbios y fallas en líneas de transmisión y redes de distribución. Esta mitigación se logra compensando de manera vectorial el voltaje aplicado a la carga que el RDV alimenta, dicha compensación es aplicada en serie con la línea de suministro de voltaje principal. (El-Gammal, Abou-Ghazala y El-Shennawy, 2011).

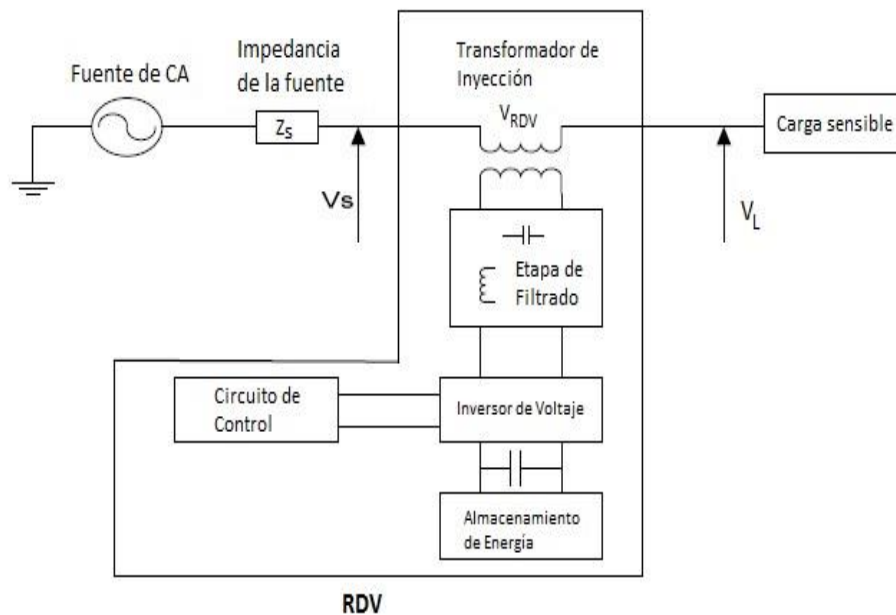


Figura 2. Configuración básica del restaurador dinámico de voltaje.

Una vez que se ha determinado el tipo de sistema a implementar, en este caso el circuito de control mostrado en la figura 2 se sustituye por un control basado en una Red Neuronal. Hasta este momento solo se conoce el número de entradas y salidas de la red tal como se muestra en la figura 3.

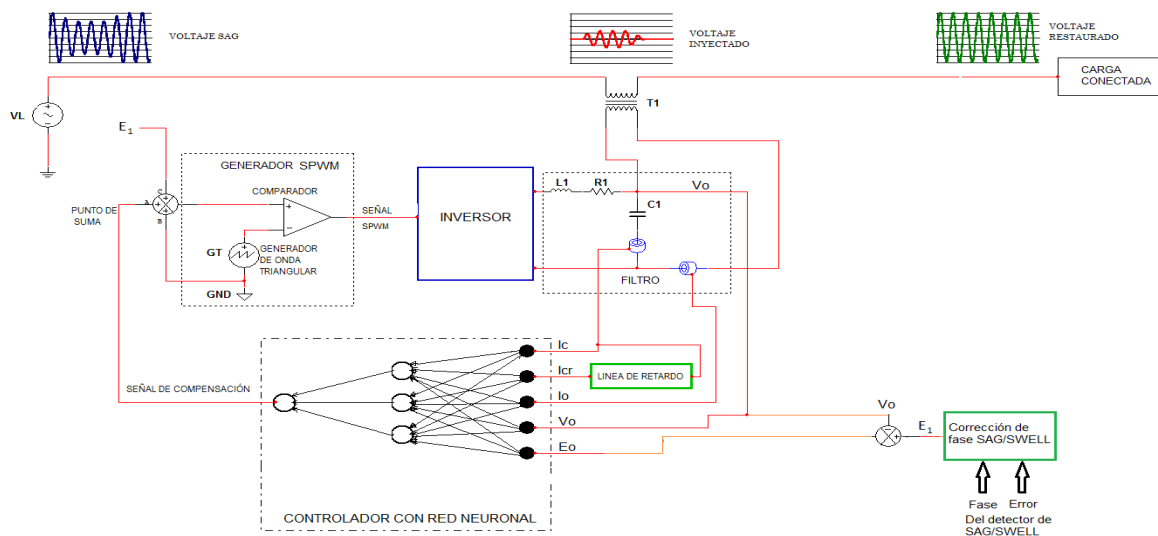


Figura 3. Control neuronal en un restaurador dinámico de voltaje.

Se continúa el proceso definiendo el tipo de arquitectura de la RNA (Red Neuronal Artificial), tomando en consideración el tipo de datos, en este caso variables continuas, y la complejidad de estos, por lo que se propone la utilización de una red tipo hacia adelante (*FeedForward*) multicapa, con un algoritmo de aprendizaje de tipo retropropagación (*backpropagation*).

Se construye la red aplicando los criterios de la reglas *ad-hoc* y *procedimientos de poda*, en relación al número de capas y neuronas de la red, este criterio solo sirve para iniciar el proceso, el número de capas y neuronas de la red se consolidarán de acuerdo con el desempeño de la red basado en el *error cuadrático medio* que se obtenga en el entrenamiento.

Se obtienen los patrones para entrenar a la red, los cuales contienen las diferentes combinaciones de parámetros eléctricos, sus valores y rangos de operación dentro de las condiciones nominales, que se estima tendrán durante la operación del sistema, de tal manera que sean patrones representativos del funcionamiento tal como se muestra en la tabla 1

Tabla 1. Combinaciones de diferentes cargas para entrenamiento

RESISTENCIA (Ω)	INDUCTANCIA (mH)			CAPACITANCIA (μF)			V_L
	1	10	100	10	100	1000	
10	10 Ω 1mH	10 Ω 10mH	10 Ω 100mH	10 Ω 10 μF	10 Ω 100 μF	10 Ω 1000 μF	0.1 V_L
20	20 Ω 1mH	20 Ω 10mH	20 Ω 100mH	20 Ω 10 μF	20 Ω 100 μF	20 Ω 1000 μF	
30	30 Ω 1mH	30 Ω 10mH	30 Ω 100mH	30 Ω 10 μF	30 Ω 100 μF	30 Ω 1000 μF	
10	10 Ω 1mH	10 Ω 10mH	10 Ω 100mH	10 Ω 10 μF	10 Ω 100 μF	10 Ω 1000 μF	0.9 V_L
20	20 Ω 1mH	20 Ω 10mH	20 Ω 100mH	20 Ω 10 μF	20 Ω 100 μF	20 Ω 1000 μF	
30	30 Ω 1mH	30 Ω 10mH	30 Ω 100mH	30 Ω 10 μF	30 Ω 100 μF	30 Ω 1000 μF	
10	10 Ω 1mH	10 Ω 10mH	10 Ω 100mH	10 Ω 10 μF	10 Ω 100 μF	10 Ω 1000 μF	1.1 V_L
20	20 Ω 1mH	20 Ω 10mH	20 Ω 100mH	20 Ω 10 μF	20 Ω 100 μF	20 Ω 1000 μF	
30	30 Ω 1mH	30 Ω 10mH	30 Ω 100mH	30 Ω 10 μF	30 Ω 100 μF	30 Ω 1000 μF	
10	10 Ω 1mH	10 Ω 10mH	10 Ω 100mH	10 Ω 10 μF	10 Ω 100 μF	10 Ω 1000 μF	1.5 V_L
20	20 Ω 1mH	20 Ω 10mH	20 Ω 100mH	20 Ω 10 μF	20 Ω 100 μF	20 Ω 1000 μF	
30	30 Ω 1mH	30 Ω 10mH	30 Ω 100mH	30 Ω 10 μF	30 Ω 100 μF	30 Ω 1000 μF	

Esta tabla de combinaciones da como resultado la generación de 84 patrones que describen la operación del sistema, para el caso de estudio, para cargas lineales.

Con el fin de obtener buenos patrones de ejemplo para la red neuronal para entrenamiento fuera de línea, se implementa un modelo de simulación que pueda realizar la operación de control del RDV, bajo las diferentes condiciones de carga lineal y diversas fallas, por lo que se implementa el sistema con ayuda del Software Simulink de *Matlab* (MatLab, 2010) y utilizando la librería *SimPowerSystems*, de manera que se pueda capturar la información del comportamiento del sistema, el circuito implementado se muestra en la figura 4.

Se realiza la simulación del circuito para cada combinación mostrada en la tabla 1, identificando y guardando los diferentes archivos generados que contienen los datos de los parámetros eléctricos, se realiza esto para cada combinación modificando los valores y ajustando los parámetros de los controladores para obtener un buen comportamiento del sistema.

Los parámetros K_p y K_i del control PI, son diferentes para cada condición de carga, por lo que se ajustan para condiciones de óptimo funcionamiento, de tal manera que se obtenga una salida de voltaje con la mínima distorsión armónica y el menor error del estado estacionario en el voltaje RMS (Raíz Cuadrática Media).

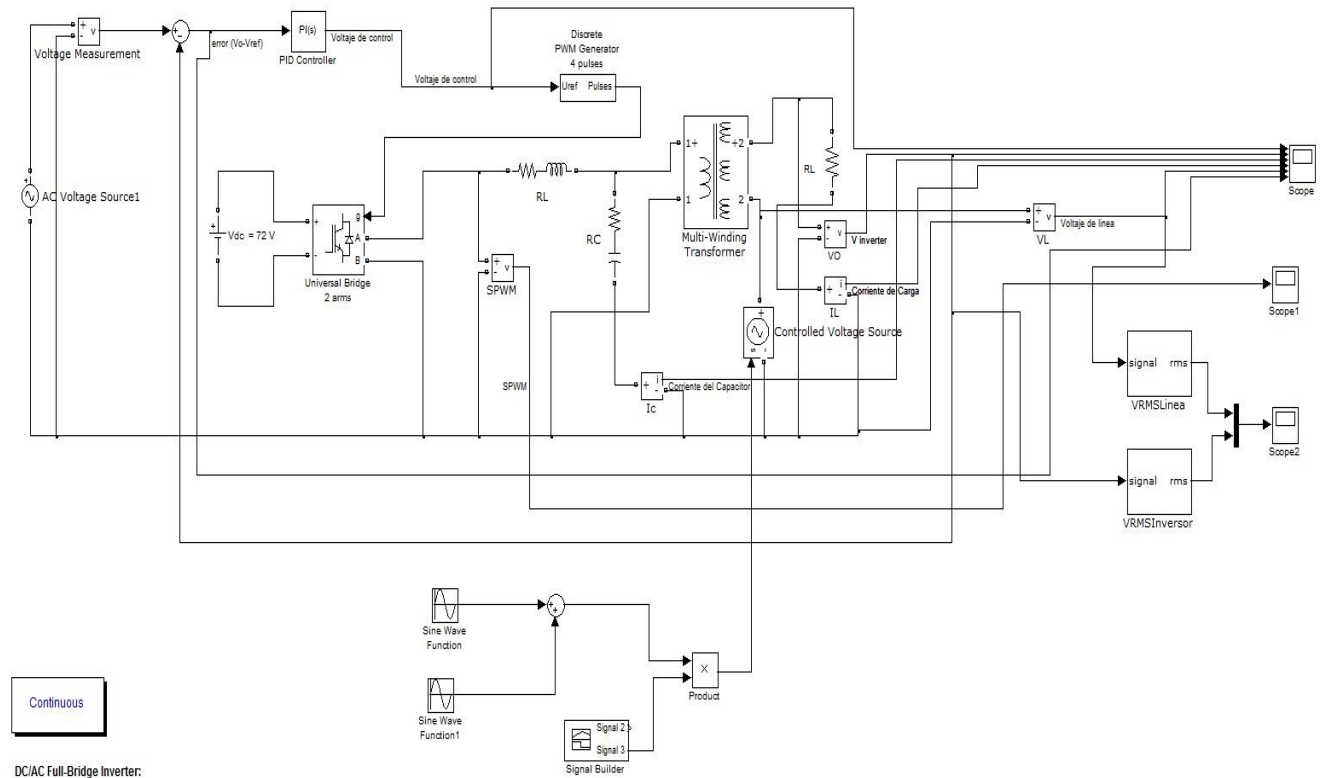


Figura 4. Controlador implementado en *Simulink* de *MatLab*, para obtener patrones de entrenamiento de la RNA.

La salida de voltaje, corriente de carga, corriente del capacitor, voltaje de línea y error respecto al voltaje de referencia, son recopiladas como entradas a la Red Neuronal y la señal de compensación como salida de la Red Neuronal, estos datos son guardados para el entrenamiento de la Red fuera de línea.

Después de correr la simulación para cada combinación propuesta por la tabla 1, se obtienen 84 patrones de entrenamiento, tomando en cuenta que el número de datos representativos de cada patrón de los parámetros eléctricos cumpla con los criterios del Teorema de Muestreo (Nyquist) de acuerdo a (Irrázaval, 1999), donde establece que una función continua de ancho de banda limitado puede ser recuperada de sus muestras, siempre que hayan sido obtenidas con una frecuencia de muestreo superior o dos veces la máxima frecuencia contenida en la función original, esto debe aplicarse para la señal de más alta frecuencia que intervenga en el sistema.

Los 84 patrones para entrenamiento, se agrupan en un sólo arreglo separándolos en datos de entrada y datos de salida. Posteriormente con los dos arreglos ya consolidados y validados, se crea la red y se entrena, iniciando con una propuesta de arquitectura mínima, se comparan resultados y se efectúan las pruebas requeridas agregando neuronas o capas de acuerdo al resultado del entrenamiento, siempre buscando el máximo desempeño con el mínimo número de capas y neuronas.

Las diferentes pruebas realizadas con diferentes combinaciones de la arquitectura de la red neuronal artificial, se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Pruebas con diferentes estructuras de Red Neuronal

Red	funcion	Epocas	Tiempo	Desempeño	Gradiente	Momento	Pruebas de validacion	Regresion
3-2	TT	375	00:35:08	0.0194	0.00347	0.1	0	0.9654
4-2	TT	129	00:13:03	0.013	0.000575	1	0	0.96544
4-3	TT	191	00:19:44	0.0107	0.0181	1	0	0.9805
5-2	TT	246	00:26:15	0.0103	0.0154	10	0	0.9812
5-3	TT	194	00:20:44	0.0101	0.203	1	0	0.98174
4-3-2	TTT	274	00:29:18	0.0101	0.018	1	6	0.98169
4-3-2	TTT	304	00:32:36	0.0123	0.00806	10	0	0.97801
4-3-2	TLT	1000	01:43:27	0.0125	0.0115	1	0	0.97722
5-3-2	TTT	267	00:29:55	0.0116	0.854	10	6	0.97911
5-4-2	TTT	710	01:21:27	0.00792	0.00111	1	6	0.98566
5-4-2	TTT	1000	07:30:41	0.00888	1.53	10	0	0.9839
5-4-2	TLT	1000	01:53:06	0.0148	0.00239	10	0	0.97287
5-4-3	TTT	1000	01:57:22	0.00978	0.229	10	0	0.9822
5-4-3	TLT	1000	01:57:28	0.00962	0.422	1	0	0.98259
5-4-3	TTL	1000	01:59:38	0.00942	0.00686	1	0	0.98292
5-4-3	TLT	1000	07:38:18	0.00649	0.00695	10	0	0.98827

Una vez obtenidos los resultados del entrenamiento, tal como se muestra en la tabla 2, se elige la arquitectura que nos proporciona la regresión más alta con **el mínimo error cuadrático**, en este caso se obtiene un valor de **0.00649**, por lo que se elige esta arquitectura de red, mostrada en la figura 4 la cual está formada por 5 entradas y una salida, 3 capas internas de 13 neuronas ordenadas en una estructura **5-4-3-1** y funciones de activación *tansig*, *logsig* y *tansig* en sus capas internas.

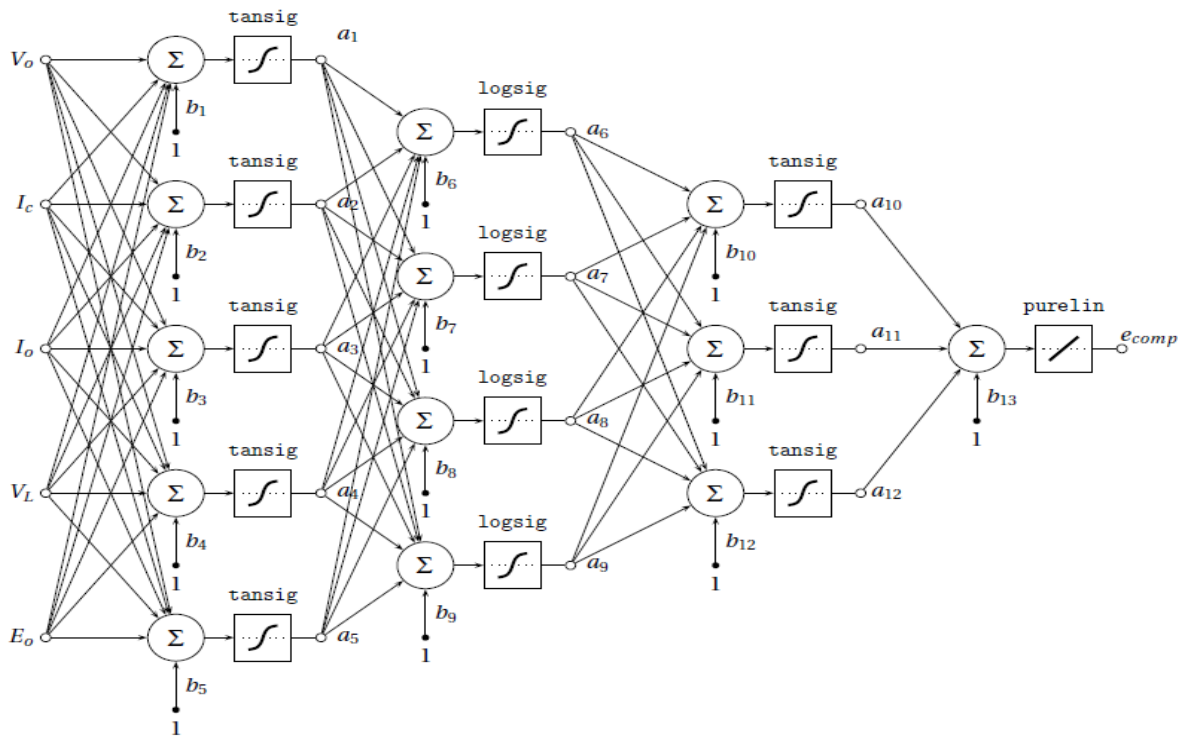


Figura 4. Red neuronal FeedForward 5-4-3-1.

Las operaciones que se llevan a cabo en la RNA tipo FeedForward están determinadas por las siguientes ecuaciones de la 3 a la 10, que contienen los pesos y bias, resultado del Algoritmo de asignación de estos durante el proceso de entrenamiento (Retropropagación).

$$a^1 = f^1 \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} & W_{14} & W_{15} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} & W_{24} & W_{25} \\ W_{31} & W_{32} & W_{33} & W_{34} & W_{35} \\ W_{41} & W_{42} & W_{43} & W_{44} & W_{45} \\ W_{51} & W_{52} & W_{53} & W_{54} & W_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_o \\ I_c \\ I_o \\ v_L \\ e_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$a^2 = f^2 \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} & W_{14} & W_{15} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} & W_{24} & W_{25} \\ W_{31} & W_{32} & W_{33} & W_{34} & W_{35} \\ W_{41} & W_{42} & W_{43} & W_{44} & W_{45} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_6 \\ b_7 \\ b_8 \\ b_9 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$a^3 = f^3 \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} & W_{14} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} & W_{24} \\ W_{31} & W_{32} & W_{33} & W_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_6 \\ a_7 \\ a_8 \\ a_9 \\ a_{10} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{10} \\ b_{11} \\ b_{12} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$e_o = f^4 [W_{11} W_{12} W_{13} W_{14}] \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{11} \\ a_{12} \end{bmatrix} + [b_{13}] \quad (6)$$

$$e_0 = f^4(W^4 f^3(W^3 f^2(W^2 f^1(W^1 p + b^1) + b^2) + b^3) + b^4) \quad (7)$$

$$f^1 = f^3 = \text{tansig} = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}} \quad (8)$$

$$f^2 = \text{logsig} = \frac{1}{1 + e^{-n}} \quad (9)$$

$$f^4 = \text{purelin} = 1 \quad (10)$$

Conclusiones.

La metodología para la determinación de la arquitectura y topología de la RNA, descrita en este artículo, está basada en la experimentación, para lograr un diseño óptimo este artículo pretende proporcionar el punto de partida y la secuencia de pasos a seguir para el diseño de una red neuronal y la generación de los patrones de entrenamiento de señales eléctricas, este método puede aplicarse a otro tipo de circuitos se deseen implementarse obteniendo resultados similares.

Los resultados de pesos y *bias* de la RNA pueden implementarse en tarjetas de desarrollo para realizar funciones de control de una manera eficiente.

Referencias bibliográficas.

- Berry, M.J.A., Linoff, G. (1997).** *Data Mining Techniques*. John Wiley & Sons. Nueva York.
- El-Gammal, M. A., Abou-Ghazala, A. Y., y El-Shennawy, T. I. (2011).** Dynamic Voltage Restorer (DVR) for Voltage Sag Mitigation. *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*.
- Hecht-Nielsen, R. (1990)** *Neurocomputing*, Reading, MA: Addison-Wesley.
- Irarrázaval, P.(1999).** *Análisis de Señales*. Impresos Universitaria S.A., pp.110-111 McGraw Hill Interamericana.
- Lippmann, R. (1987).** An introduction to computing with neural nets. *ASSPMagazine, IEEE*.
- Masters, T. (1993).** *Practical neural network recipes in C++*. Academic Press Professional, Inc., San Diego.
- M. T. Hagan, H. B. Demut (1996).** Neural Network Design. *PWS Publishing Company*, pp. 1-8. Ed. Thompson.
- MatLab (2010),** *The MathWorks*.
- Rosli, O., y Rahim, N. A. (2009).** Mitigation Of Voltage Sags/Swells Using Dynamic Voltage Restorer (DVR). *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*.
- Swingler, K. (1996).** *Applying Neural Networks, A Practical Guide*. Press Limited Oval Road London NW1.

Información de los autores.



José Ángel Zepeda Hernández, es Ingeniero Industrial en Eléctrica y Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez e investigador desde 1999, Imparte cátedra en el área de Ingeniería Electrónica y la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica en el ITTG, donde imparte las asignaturas de Diseño con Transistores y Electrónica Básica respectivamente. Líder de la Línea de Investigación y Generación del Conocimiento “Instrumentación”.



Aldo Esteban Aguilar Castillejos, obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ing. Mecatrónica en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG) en el 2011. Actualmente es parte del cuerpo académico del ITTG y universidades privadas, con desarrollos de proyectos financiados por CONACyT y empresas privadas. Con campos de interés en: dispositivos opto-mecatrónicos, manufactura, sensores de fibra óptica, instrumentación y control.



Álvaro Hernández Sol, es Ingeniero en electrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y es investigador desde 1997. Siendo Jefe de proyectos de investigación de ingeniería electrónica desde el 2001. Fundó y asesora el “Club de robótica del ITTG”. Colabora en la línea de investigación de “Robótica” de Ingeniería electrónica. Y dirige el área de trabajo en “sistemas aéreos autónomos”.



María Catalina Salgado Gutiérrez, es Ingeniera en Electrónica y Maestra en Administración, egresada del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG. Es profesora de asignatura en el área de Ciencias Básicas. Imparte cátedra en las áreas de Ingeniería Electrónica y Ciencias Básicas en el ITTG.

Modelo Neuro-difuso para el control de temperatura ambiental y humedad del suelo para cultivar el insecto NIIJ (Llaveia Axin).

Neurofuzzy model for the control of ambient temperature and soil moisture to cultivate the insect NIIJ (Llaveia Axin).

José Alberto Morales Mancilla (1).
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
amancilla58@hotmail.com.

Héctor Guerra Crespo (2), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, hgcresto@hotmail.com.

Aída Guillermina Cossío Martínez (3), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, acossio_m@yahoo.com.

Francisco de Jesús Suárez Ruiz (4). I.T. de Tuxtla Gutiérrez, franciscosuares@prodigy.net.mx.

Joel Gómez Pérez (5). I.T. de Tuxtla Gutiérrez, jgp10_10@hotmail.com.

Jorge Antonio Orozco Torres (6). I.T. de Tuxtla Gutiérrez, orozcotja@hotmail.com.

Artículo recibido en octubre 14, 2015; aceptado en noviembre 28, 2015.

Resumen.

Este artículo presenta el modelo de un sistema neuro-difuso para el cultivo y producción del insecto Niij (Llaveia Axin), controlando la humedad del suelo y temperatura ambiental dentro de un vivario. Este modelo utiliza una red neuronal tipo feedforward con algoritmo backpropagation, el cual sirve para discretizar los datos de entrada, que se utilizan en un sistema difuso tipo Takagi-Sugeno como una solución para clasificar el conjunto de datos en subconjuntos caracterizados por un comportamiento no lineal, a partir del cual se generan las reglas con las cuales se tomarán las acciones de control de humedad y temperatura. Los algoritmos del sistema neuro-difuso fueron desarrollados y simulados en MatLab e implementados en una placa Arduino.

Palabras clave: Modelo neurodifuso, cochinita de la laca, redes neuronales, lógica difusa.

Abstract.

This paper presents a model of a system for growing neurofuzzy for the cultivation and production of insect Nijj (Llaveia Axin) controlling soil moisture and ambient temperature within a vivarium. This model uses a feedforward network type with backpropagation algorithm, which is used to discretize the input data, that they are used in fuzzy system Takagi-Sugeno type. As a solution to classify the data set into subsets characterized by a nonlinear behavior, from the rules which control measures were taken humidity and temperatura generated. Neurofuzzy system algorithms were developed and simulated in MatLab and implemente on an Arduino board.

Keywords: Neurofuzzy model, cochineal lacquer, neural networks, fuzzy logic.

1. Introducción.

El trabajo artesanal siempre ha sido un factor reconocible en la sociedad chiapaneca, muchas familias de diversas

regiones del estado se dedican exclusivamente a realizar esta importante labor social e histórica como medio de sustento económico que además permite preservar la cultura y tradiciones de Chiapas.

Probablemente una de las artesanías más reconocidas a nivel nacional producidas en el estado es la que se realiza por medio de la utilización de un producto natural conocido como “laca”. Este material orgánico se obtiene exclusivamente de los ácidos grasos de las hembras del insecto cochinilla (*Llaveia Axin*), aproximadamente se producen 2.2 kg de laca de 17000 hembras de dicho insecto (Suazo-Ortuño, Del Val-De Gortari y Benítez-Malvido, 2013).

Desde la época prehispánica se ha utilizado la cochinilla para la producción de la laca, siendo así una de las formas de arte más antiguas en el país y que actualmente se ha visto afectada debido diversos factores ambientales debido a la actividad humana.

El principal producto artesanal de Chiapa de Corzo es la laca. Chiapas, Guerrero y Michoacán son los únicos estados que siguen produciendo en México objetos laqueados. En las antiguas culturas chiapanecas se usaron las cortezas de ciertos frutos como recipientes. Algunos de estos son la calabaza, el tomatillo, la jícara, el huacal y los pimientos. Había recipientes lisos y pintados con una depurada técnica de decoración denominada laca o maque. Con la llegada de los españoles, se dieron cambios en la técnica del laqueado como puede observarse en las lacas de Michoacán y Guerrero, estados que tienen mayor influencia española y oriental, llegada esta última con la Nao de China.

Durante el siglo XIX, continuó el proceso de transformación de la laca original para consolidarse como una técnica mestiza, cuyos principales rasgos son los que hasta ahora siguen identificando a la laca de Chiapa de Corzo. Para elaborar la laca se usan diversos materiales de origen mineral, vegetal y animal. La grasa ajé (también conocido como axe), se prepara de la hembra del insecto *Llaveia Axin*. A esa grasa se agregan el aceite de chía o de chicalote y el mineral llamado dolomita llamado en Chiapa de Corzo, tizate. Estos productos se usan para la base del laqueado, o fondeado, sobre el que se decora con pinceles hechos de pelo de gato, con los motivos florales típicos de la sensibilidad de Chiapa de Corzo (Colegiomexsur.edu.mx, 2015).

Cabe destacar que la laca no es de uso exclusivo para las artes, en diversas industrias se utiliza esta materia para diversos usos; por ejemplo, en la industria cosmética es bien sabido que es un material utilizado en maquillajes y artículos de belleza facial, también se ha utilizado como cicatrizante para heridas en la comúnmente llamada medicina tradicional.

Actualmente la industria de la laca se ha venido deteriorando con el paso del tiempo debido a la disminución del insecto responsable de su producción y a la destrucción de su hábitat, a la sobreexplotación de la población de la cochinilla, que afecta de manera directa a las familias que dependen económicamente de la artesanía de la laca, las artes y la cultura de la nación.

2. Métodos.

Obtención de la laca.

Para poder llevar a cabo el proyecto se tuvo que hacer un estudio del proceso de fabricación de la laca, y hacer algunas preguntas a los artesanos del proceso para la obtención de la laca con el fin de profundizar en la problemática. La grasa o “axe se obtiene exclusivamente de la hembra del insecto Cochinilla *Llaveia axin* y es la materia prima para la realización de las artesanías de la laca. Las artesanías de laca, se realiza aún en los estados de Chiapas (municipio de Chiapa de Corzo), Guerrero (Olinalá) y Michoacán (Uruapan y Pátzcuaro), (Barrera y Prado, 2003), (Martínez, 2006). Esta grasa presenta alto contenido de ácidos grasos libres y triglicéridos, y por este motivo es empleada como cosmético y ungüento medicinal para tratar quemaduras e infecciones de la piel (Jenkins, 1970). Para obtener 2 Kg. de esta materia prima (grasa animal) se requiere coleccionar un promedio de 17,000 insectos hembras adultos.

La sobreexplotación del insecto de la laca, aunado a la destrucción de su habitar natural por la práctica de la ganadería intensiva y la agricultura, ha ocasionado la disminución de las poblaciones de este importante recurso biótico, lo que pone en riesgo esta importante actividad, que es base para la economía, tradición y cultura de muchas familias de artesanos en México.

Cuando la temporada de las lluvias ha concluido, las hembras adultas, caen al suelo y ahí se cubre de una capa algodonosa que protege la cutícula del insecto y proporciona temperatura corporal al insecto. En esta etapa la hembra de la cochinilla logra ovipositar entre 300 a 500 huevecillos. La hojarasca y el suelo cubren a las hembras y sus huevecillos, y de esta manera quedan en etapa de latencia hasta que se presente condiciones de humedad y temperatura adecuada para que se inicie un nuevo ciclo de vida.

Ciclo de vida de la cochinilla.

La eclosión de los huevecillos coincide con el inicio de la temporada de lluvias, el suelo se humedece y hay variaciones de temperatura y humedad, así como difusión de oxígeno, bajo esta condición micro ambiental permite la emergencia o eclosión de las “ninfas” que se desplazan rápidamente y ascienden por el tronco de los arboles hospederos en busca de ramas y corteza húmedas y ricas en nutrientes. Las ninfas se fijan a la corteza de las ramas jóvenes y succionan la savia rica en sales, azúcares y nutrientes. Alrededor de 35 a 40 días tarda en alcanzar la etapa adulta. Una hembra adulta llega a medir hasta aproximadamente 1.5 cm de longitud. En las ramas los insectos de la laca protegen de una cubierta algodonosa y al terminar las lluvias caen al suelo e inicia en la etapa de incubación e inicio del ciclo.

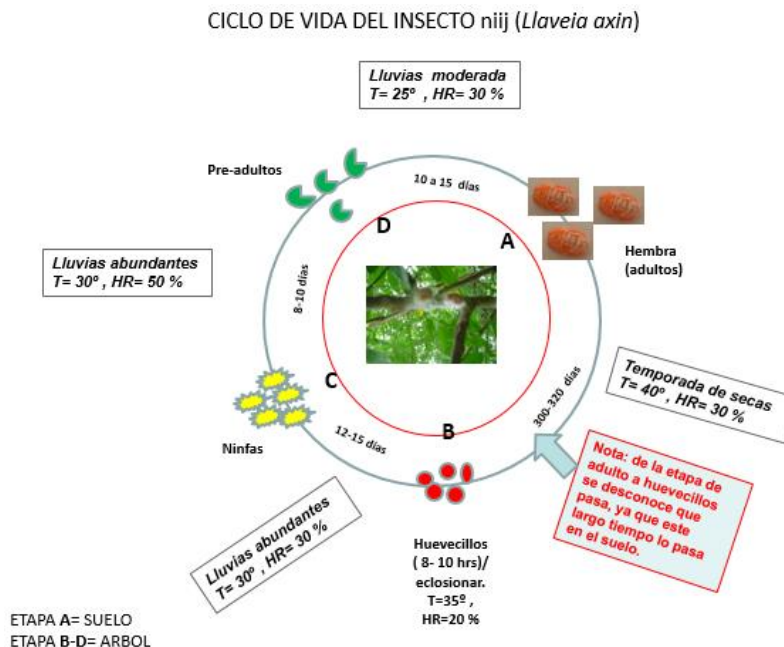


Figura 1. Ciclo de vida de la cochinilla *Llaveia Axin*.

Sistemas Neuro-Difusos.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó un sistema de control Neuro-Difuso el cual utiliza la combinación de dos técnicas de la inteligencia artificial, como son las redes neuronales artificiales (RNA) y la lógica difusa (LD). Las dos técnicas importantes de la inteligencia artificial, los Sistemas Difusos (SD) y las Redes Neuronales Artificiales (RNA) actualmente se aplican en muchos campos, como en los sistemas de control, producción, diagnóstico y supervisión. Han mejorado y evolucionado a través de los años para irlo adaptando a diferentes

necesidades que vayan surgiendo y a los avances tecnológicos. Como sistemas de LD y RNA han manejado juntos el concepto de una fusión entre ellas, lo que ha comenzado a tomar forma. Los Sistemas Neuro-Difusos (SND) utilizan las ventajas de ambas técnicas. Esta combinación de características hace que este tipo de sistemas sea muy útil para la solución de problemas complejos, también para las tareas de diagnóstico y mediciones técnicas.

Red neuronal artificial.

Una neurona es una función no lineal acotada y parametrizada. Por conveniencia una función parametrizada lineal a menudo se denomina una neurona lineal. Las variables de las neuronas son a menudo llamadas variables de entrada y variables de salida. Una neurona se puede representar como se muestra en la figura 2. Esta representación se debe a la inspiración biológica que impulsó el especial interés de formalizar la neurona entre los años 1940 y 1970. (Dreyfus, 2004).

La función f puede ser parametrizada de cualquier forma. Dos tipos de parametrización actualmente están en uso. Los parámetros están asignados a las entradas de las neuronas; la salida de la neurona es una combinación no lineal de $\{X_i\}$, ponderados por los parámetros $\{W_i\}$ los cuales son a menudo llamados pesos, para ser una reminiscencia de la inspiración de una red neuronal biológica con pesos sinápticos. El potencial v es frecuentemente utilizado para representar una suma ponderada de las entradas, con una constante adicional llamada "bias".

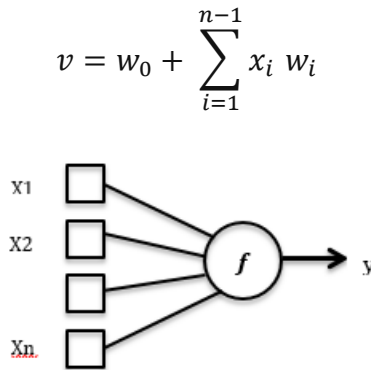


Figura 2. Una neurona es una función no lineal limitada $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n; w_1, w_2, \dots, w_p)$ donde $\{x\}$ son las variables y $\{w\}$ son los pesos.

La figura 3 se muestra un modelo que representa la neurona artificial. Las entradas x_1, x_2, \dots, x_n son introducidas en una neurona artificial. Estas entradas, definidas por un vector X , corresponden a las señales de la sinapsis de una neurona biológica. Cada señal se multiplicará por un peso asociado w_1, w_2, \dots, w_n , antes de ser aplicado el sumario etiquetado por Σ . Cada peso corresponde a la fuerza de una conexión sináptica, es decir el nivel de concentración iónica de la sinapsis, y se representa por un vector W .

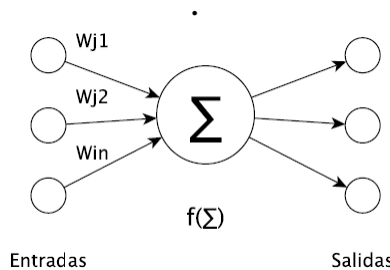


Figura 3. Representación de una neurona artificial.

La sumatoria, que corresponde al cuerpo de la neurona, suma todas las entradas ponderadas algebraicamente, produciendo una salida que se denomina E , así:

$$E = x_1w_1 + x_2w_2 + \dots + x_nw_n$$

Aprendizaje de la red neuronal.

El aprendizaje de una red neuronal artificial consiste en la determinación de los valores precisos de los pesos para todas sus conexiones, que la capacite para la resolución eficiente de un problema. El proceso general de aprendizaje consiste en ir introduciendo paulatinamente todos los ejemplos del conjunto de aprendizaje, y modificar los pesos de las conexiones siguiendo un determinado esquema de aprendizaje.

Una vez introducidos todos los ejemplos se comprueba si se ha cumplido cierto criterio de convergencia; de no ser así se repite el proceso y todos los ejemplos del conjunto vuelven a ser introducidos. El criterio de convergencia depende del tipo de red utilizado o del tipo de problema a resolver. La finalización del periodo de aprendizaje se puede determinar:

- Mediante un número fijo de ciclos.
- Cuando el error descienda por debajo de una cantidad preestablecida.
- Cuando la modificación de los pesos sea irrelevante.

Control con red neuronal *feedforward*.

Para poder controlar la humedad y la temperatura se diseñó la red neuronal *feedforward* con algoritmo *backpropagation*, se entrenó en MatLab versión 8.6.0.267246 (R2015b), para calcular los pesos y los umbrales adecuados utilizando como datos de entrada la información proporcionada por el Biólogo Reiner Rincón Rosales que es investigador del área de posgrado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, quien actualmente está estudiando la cochinilla de la laca.

La arquitectura del Perceptrón multicapa (red *feedforward*) se caracteriza porque tiene sus neuronas agrupadas en capas de diferentes niveles. Cada una de las capas está formada por un conjunto de neuronas y se distinguen tres tipos de capas diferentes: la capa de entrada, las capas ocultas y la capa de salida. Las neuronas en la capa de entrada no actúan como neuronas propiamente dichas, sino que se encargan únicamente de recibir las señales o patrones que proceden del interior y propagar dichas señales a todas las neuronas de la siguiente capa. La última capa actual como salida de la red, proporcionando al exterior la respuesta de la red para cada uno de los patrones de entrada. Las neuronas de la capa oculta realizan un procesamiento no lineal de los patrones recibidos (Galván y Isasi, 2004).

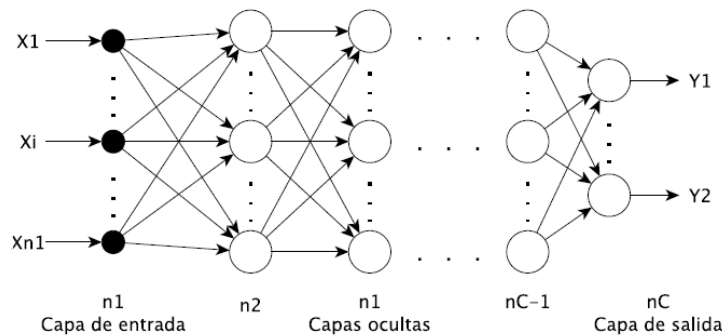


Figura 4. Arquitectura de la red *feedforward*.

Red neuronal para el control de temperatura.

El diseño de esta red se realizó con el fin de controlar la temperatura dentro de un vivario donde se reproduce la cochinilla de la laca. La red neuronal presenta una neurona en la primera capa, tres neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida como se muestra en la figura 5.

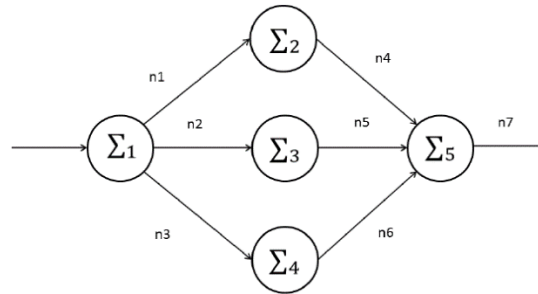


Figura 5. Red neuronal feedforward.

Para obtener los datos de la temperatura del medio ambiente, se utilizó un sensor de temperatura LM35. El rango de trabajo del LM35 es de 0 a 150 °C, se consideró controlar un rango de temperatura para la red neuronal de 15 a 34.5 °C en incrementos de 0.5 °C, como el PWM de Arduino da como máximo 255 pulsos, se divide 255/31 dando como resultado 8.5 PWM por cada incremento, como se puede observar en la tabla 1, donde se muestra la entrada y la salida de datos. En Tuxtla Gutiérrez, la capital del estado de Chiapas, el clima es tropical húmedo. En los meses más calurosos marzo a mayo, los termómetros llegan hasta los 36 grados centígrados y descienden hasta los 18 grados centígrados en los meses de noviembre a enero. Se ha observado que en las primeras lluvias de mayo la cochinilla nace. Es por ello que se presenta en la Tabla 1 los valores de salida de la red neuronal. Si la temperatura llega a 34.5 grados centígrados el sistema dejaría de funcionar y con ellos dejaría de proporcionar calor.

Tabla 1. Datos de temperatura como entrada y salida de la red neuronal.

No.	Temperatura	Salida de la red	No.	Temperatura	Salida de la red
1	15	255	21	25	135
2	15.5	249	22	25.5	129
3	16	243	23	26	123
4	16.5	237	24	26.5	117
5	17	231	25	27	111
6	17.5	225	26	27.5	105
7	18	219	27	28	99
8	18.5	213	28	28.5	93
9	19	207	29	29	86
10	19.5	201	30	29.5	79
11	20	195	31	30	72
12	20.5	189	32	30.5	65
13	21	183	33	31	58
14	21.5	177	34	31.5	51
15	22	171	35	32	44
16	22.5	165	36	32.5	36
17	23	159	37	33	28
18	23.5	153	38	33.5	20
19	24	147	39	34	10
20	24.5	141	40	34.5	0

Teniendo esos datos se procedió a codificarlos en Matlab para la red neuronal feedforward con algoritmo backpropagación, utilizando una función de transferencia Tagsig en la primera capa, para las tres neuronas intermedias de la capa oculta se utilizó la función de transferencia Logsig, y en la capa de salida se utilizó la función de transferencia Purelin.

Red neuronal para el control de la humedad.

El diseño de esta red fue para controlar la humedad, fue la arquitectura de la red neuronal mostrada en la figura 5. Se tiene como entrada a la red neuronal, los datos de la humedad que es captado por un sensor dht11, y como salida la velocidad en PWM para el control de la velocidad de un motor de DC.

Para calcular los pesos de la red neuronal se utilizó el Toolbox de redes neuronales de Matlab. Donde se tiene una neurona en la capa de entrada tres neuronas en la capa intermedia y una neurona en la capa de salida. Una vez que la red neuronal ha aprendido, se tienen los pesos y umbrales adecuados, posteriormente se procedió a desarrollar la red neuronal en una placa Arduino.

El sensor de humedad utilizado genera valores entre 0 (muy húmedo) y 1023 (muy seco). En la tabla 2 se muestran los valores de humedad de entrada a la red neuronal y los valores de salida esperados.

Tabla 2. Datos de entrada de humedad y salida de la red neuronal.

CONTROL DE HUMEDAD DEL SUELO			
No.	VALORES DE ENTRADA	VALORES DE SALIDA	CONJUNTOS
1	1023	1	MUY SECO
2	1000	0.9	SECO
3	900	0.8	SECO
4	800	0.7	MEDIO HUMEDO
5	700	0.6	MEDIO HUMEDO
6	600	0.5	HUMEDO
7	500	0.4	HUMEDO
8	400	0.3	HUMEDO
9	300	0.2	HUMEDO
10	200	0.1	HUMEDO
11	100	0	MUY HUMEDO
12	50	0	MUY HUMEDO
13	0	0	MUY HUMEDO

Con estos datos se procedió a codificarlos en Matlab para la red neuronal feedforward con algoritmo backpropagación, utilizando una función de transferencia Logsig en la primera capa, para las tres neuronas intermedias de la capa oculta se utilizó la función de transferencia Logsig, y en la capa de salida se utilizó la función de transferencia Purelin. Una vez diseñadas, entrenadas y probadas las redes neuronales de temperatura y humedad, se procedió al diseño de la lógica difusa.

Lógica difusa.

La denominada lógica borrosa (fuzzy logic) permite tratar información imprecisa, como estatura media, temperatura baja o mucha fuerza en términos de conjuntos borrosos o difusos (imprecisos), la lógica difusa está basada en la teoría de conjuntos borrosos, esta teoría parte de la teoría clásica de conjuntos, añadiendo una función de pertenencia definida como un número real entre 0 y 1. Así se introduce el concepto de conjunto o subconjunto borroso asociado a un determinado valor lingüístico, definido por una palabra, adjetivo o etiqueta lingüística A. Para cada conjunto o

subconjunto borroso se define una función de pertenencia o inclusión (μ_{A^t}) que indica el grado en que la variable t está incluida en el concepto representado por la etiqueta A . Como puede verse en la Figura 6 para el valor lingüístico *estatura_de_una_persona* podrían definirse tres subconjuntos borros, cada uno identificado por una etiqueta, Bajo, Medio, Alto, y con una función de inclusión o pertenencia $\mu_{Bajo}(x)$, $\mu_{Medio}(x)$, $\mu_{Alto}(x)$. Los conjuntos borrosos permiten agrupar objetos o sucesos por el valor de una cierta magnitud (Molina, 2001).

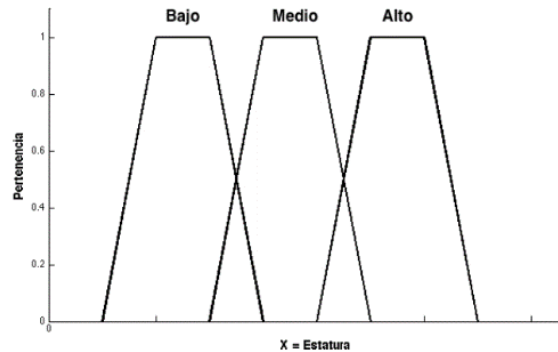


Figura 6. Lógica difusa.

En los conjuntos difusos la función de pertenencia puede tomar valores del intervalo entre 0 y 1, y la transición entre el cero y uno es gradual y no cambia de manera instantánea, como pasa con los conjuntos clásicos. Un conjunto difuso en un universo en discurso puede definirse con la siguiente ecuación:

$$A = \{(X_1, \mu_A(x)) | x \in U\}$$

Donde:

μ_A : Es la función de pertenencia entre cero y uno.

$\mu_A(x)$: Es el grado de pertenencia de la variable x y U es el universo en discurso.

Entre más cerca este A del valor 1, mayor será la pertenencia del objeto x al conjunto A .

Diseño del controlador difuso con Takagi-Sugeno.

Sugeno propuso el diseño de controladores difusos a partir de encontrar un modelo difuso de la planta que relacionara las entradas con sus salidas. Una vez que se ha diseñado un modelo difuso de la planta, es posible generar un controlador que parte de la salida deseada para determinar la entrada necesaria en el sistema, con un proceso de deducción inversa. A continuación, se explica el método por Takagi y Sugeno para la identificación difusa de sistemas y su aplicación en modelado y control. Este es un método matemático para hacer un modelo difuso de un sistema (Ponce 2010).

El primer paso es definir la estructura de las implicaciones. A continuación, se define una implicación difusa Z .

$$Z: \text{Si } f(X_1 \text{ es } A_1, \dots, X_k) \text{ entonces } y = g(X_1, \dots, X_k)$$

Donde:

y : Variable de la consecuencia, cuyo valor es inferido.

X_1, \dots, X_k : Variables de la premisa

A_1, \dots, A_k : Conjuntos difusos con funciones de membresía lineales, representando un subespacio difuso, en el cual la implicación Z puede ser usada para el razonamiento.

f: Función lógica que conecta las proposiciones en la premisa.

g: Función que implica el valor de *y* cuando X_1, \dots, X_k satisface la premisa.

3. Desarrollo.

El sistema Neuro-Difuso para el control de humedad y temperatura para la crianza de la cochinilla de la laca se describe a continuación:

1. El proyecto consta de dos etapas, un sistema de Red Neuronal para el control de la Humedad y una para el control de Temperatura, como se muestra en la figura 7.

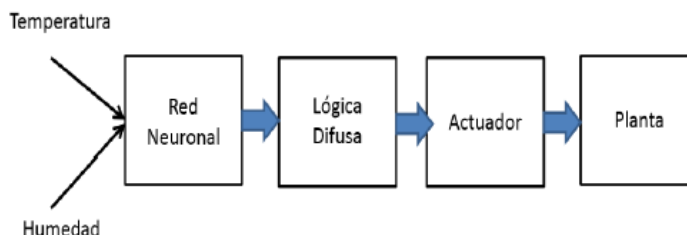


Figura 7. Modelo del sistema Neuro-Difuso.

2. La primera etapa es la red neuronal feedforward donde entran los valores de humedad y temperatura, la segunda etapa es un controlador difuso tipo Takagi-Sugeno para la acción de control de las variables de humedad y temperatura, ambos montados en una placa Arduino.
3. Se realizó la codificación en Matlab de la Red Neuronal, en ambos se utilizaron como primera capa Logsig, segunda capa Logsig y tercera capa Purelin, correspondiente a la Humedad y a la Temperatura en forma separada. Los resultados de dicho entrenamiento que son muy cercanos a los esperados, en la figura 8 se muestra el código para el entrenamiento y simulación de la red neuronal para la humedad en MatLab. En la figura 9 se muestran los pesos y las bias de la red neuronal para la humedad.

```
>> % Red neuronal de 3 capas para el control de humedad
>> % Una neurona en la capa de entrada, tres en la capa intermedia
>> % Una neurona en la capa de salida
>> entrada = [1023 1000 900 800 700 600 500 400 300 200 100 50 0];
>> salida = [1 0.9 0.8 0.7 0.6 0.5 0.4 0.3 0.2 0.1 0 0 0];
>> net = newff(minmax(entrada), [1, 3, 1], {'logsig', 'logsig', 'purelin'}, 'trainlm');
>> net = init(net);
>> net.trainparam.goal = 1e-05;
>> %entrenando la red neuronal
>> nete = train(net, entrada, salida);
>> %simulando la red neuronal
>> sim(nete, entrada)
```

Figura 8. Creación, entrenamiento y simulación de la red neuronal para el control de humedad.

```

>> %pesos y bias de la capa uno    >> % pesos y bias de la capa dos    >> % pesos de la capa tres
>> nete.iw{1,1}                    >> nete.Lw{2,1}                    >> nete.Lw{3,2}

ans =                                ans =                                ans =
    0.0070                            70.3751                            7.1293 -14.9181  10.0442
    >> %bia de la capa uno          >> % bia de la capa dos              >> %bia de la capa tres
    >> nete.b{1,1}                  >> nete.b{2,1}                    >> nete.b(3)

ans =                                ans =                                ans =
   -5.0153                            -66.7228                            [-1.1910]
                                       0.2937
                                       3.2709

```

Figura 9. Pesos y bias de las capas de la red neuronal para el control de humedad.

4. Los datos de salida de la red neuronal de humedad, pasan al control difuso. La humedad ideal para la cochinilla, está entre los 200-600 (NORMAL) en este caso 500, arriba de 600 es BAJA y debajo de 200 es ALTA (muy húmedo). Para mantener la humedad a 500 se hace circular corriente por la ley de Joule. Si la humedad es baja debe generar una corriente ALTA, si la humedad es ALTA la corriente es cero. Se desea mantener la humedad NORMAL entre los 200 y 600, aplicar la lógica difusa Takagi-Sugeno.

Reglas:

- Si la humedad es BAJA entonces la corriente es ALTA.
- Si la humedad es NORMAL entonces la corriente es PEQUEÑA.
- Si la humedad es ALTA entonces la corriente es BAJA.

El diagrama de entrada de la lógica difusa para el control de humedad se muestra en la figura 10.

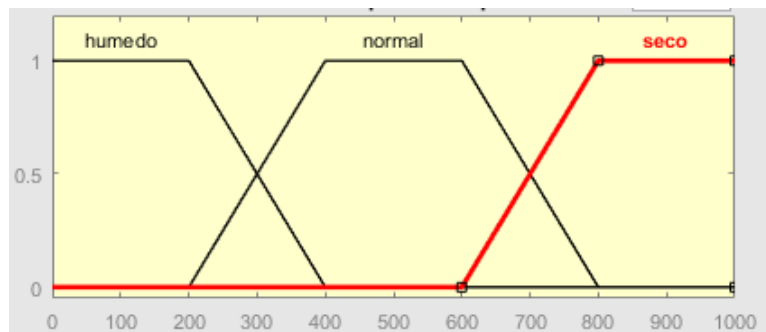


Figura 10. Diagrama de los subconjuntos de la lógica difusa de la humedad.

5. Los datos de salida de la lógica difusa Takagi-Sugeno son números concretos.

Las reglas de control son:

Cuando la temperatura es BAJA la corriente=2.0

Cuando la temperatura es NORMAL la corriente=0.5

Cuando la temperatura es ALTA la corriente=0.0

6. El mismo procedimiento se aplica para el control de temperatura, por lo que no se explica.

Conclusiones.

Los resultados obtenidos en el diseño e implementación del sistema Neuro-Difuso, demuestran que el sistema cumple con las características para el proceso de la crianza de la cochinilla de la laca. Los controladores lógicos o difusos surgen de la necesidad de resolver problemas complejos con resultados imprecisos, para los cuales las matemáticas y la lógica clásica no son suficientes y que no son de fácil caracterización. El desarrollo de este trabajo servirá para futuros trabajos de investigación con la aplicación de los sistemas Neuro-Difusos. Para visualizar de manera gráfica los procesos del control de humedad y temperatura, se puede pasar a LabView la red neuronal y la lógica difusa, quedando la placa Arduino como una tarjeta de adquisición de datos.

Créditos.

Los autores agradecen al Dr. Reiner Rincón Rosales por la colaboración brindada en la parte Biotecnológica y dan créditos y agradecimientos al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento otorgado al proyecto “Control neurodifuso para el cultivo y producción del insecto Llaveia Axin (NIIJ) en habitat artificial para el desarrollo sustentable de las artesanías de la laca en Chiapas, México” clave 5473.14-P del I. T. de Tuxtla Gutiérrez.

Referencias Bibliográficas.

- Barrera,F. y A. Prado (2003).** Investigación y recuperación del aje como materia prima artesanal 2001-2003. *Ukata: Revista del Arte Popular Michoacano*, Editorial Grupo IBISA. México. 51 p.
- Colegimexsur.edu.mx. (2015).** *Arte Popular / SECRETARIA de TURISMO del ESTADO de CHIAPAS.* Recuperado el 12 junio 2014, desde <http://www.colegimexsur.edu.mx/ifapop.html>.
- Dreyfus, G. (2004).** *Neural Networks Methodology Applications.* (P. Eyrolles, Ed.) (2nd ed.). Paris: Springer.
- Galván, L. I. M. y Isasi, V. P. (2004).** *Introducción a las Redes de Neuronas Artificiales, Redes de Neuronas Artificiales. Un Enfoque Práctico*, Prentice Hall, Madrid, (pp. 1-14).
- Jenkins,K. D. (1970).** The fat-yielding coccid, Llaveia, a monophlebine of the Margarodidae. *Pan Pacific Entomologist* 46:79-81.
- Martínez FM. (2006).** *La laca de los Achies. Artículo de semanario de prensa libre.* <http://www.prensalibre.com/pl/domingo/archivo/revistad/2006/marzo06/190306/dfondo.shtml>; 89:18–21.
- Molina A. S. (2001).** *Redes Neuronales y sistemas difusos.* Alfaomega, Mexico DF, pp. 197-225.
- Ponce C. P. (2010).** *Inteligencia Artificial con aplicaciones a la ingeniería.* México: Alfaomega Grupo Editor, S.A de C.V.

Información de los autores.



José Alberto Morales Mancilla es Maestro en Ciencias de la Computación, egresado del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico CENIDET, en Cuernavaca, Morelos. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y es investigador en el I.T. de Tuxtla Gutiérrez desde 1991, pertenece al cuerpo académico “Tecnologías de información para el desarrollo regional”, tiene el reconocimiento de Perfil Deseable PROMEP junio del 2012, cuenta con el reconocimiento del Sistema Estatal de Investigadores, fundó y dirige el área de trabajo “tecnología para población con necesidades educativas especiales” capacidades.sistemastuxtla.net y colabora en el área “aplicaciones sobre mapas” www.mexmapa.com. Candidato a doctor en desarrollo tecnológico por la Universidad de Ciencia y Tecnología Descartes.



Héctor Guerra Crespo es Doctor en Sistemas Computacionales por la Universidad del Sur, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, en 2011. Es profesor en el área de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y en el área de Licenciatura en Sistemas Computacionales de la Universidad Autónoma de Chiapas, en ambas desde 1995, líder del cuerpo académico “tecnologías de información para el desarrollo regional” donde dirige el área de trabajo “aplicaciones sobre mapas” y colabora en la línea “tecnología para población con necesidades educativas especiales”. www.hectorguerracrespo.com



Aída Guillermina Cossío Martínez es Maestra en Ciencias en Administración por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en 2002. Es profesora de tiempo completo del área de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, desde 1994. Se especializa en la formulación y evaluación de proyectos, así como el emprendimiento y desarrollo de planes de negocio.



Francisco de Jesús Suárez Ruiz es Maestro en Ciencias de la Computación por la Universidad Pablo Guardado Chávez en 2008. Es profesor de tres cuartos de tiempo en el área de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez desde el año 2000. Actualmente es jefe del departamento de Sistemas y Computación del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez desde el 2013. Actualmente imparte las materias de programación.



Joel Gómez Pérez es Maestro en Ciencias en Ingeniería en Mecatrónica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en el 2013, colabora con la Universidad Politécnica de Chiapas y en el área de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Valle de México. Es profesor de tiempo completo en el área de Ciencias Básicas del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez desde el 2010. Se especializa en el área de automatización y control. Es miembro del Sistema Estatal de Investigadores.



Jorge Antonio Orozco Torres es Maestro en Ciencias Computacionales por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) en el 2008. Es profesor de tiempo completo del área de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Se especializa en Computación Educativa. Candidato a doctor en desarrollo tecnológico por la Universidad de Ciencia y Tecnología Descartes. Evaluador por CACEI A.C. en las áreas de Ingeniería Industrial y Ciencias Computacionales.

Prototipo optomecatrónico para medir índice de refracción utilizando ley de Snell.

Optomechatronic prototype for measuring refractive index using Snell Law.

Luis García Flores (1).
Estudiante, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
luisgarcía.flo@gmail.com.

Jorge Luis Camas Anzueto (2), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, jcamas@ittg.edu.mx.

Héctor Ricardo Hernández de León (3), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, hhernandezd@ittg.edu.mx.

Rafael Mota Grajales (4), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, rmota@ittg.edu.mx.

Luis Alberto Pérez Lozano (5), I.T. de Tuxtla Gutiérrez, llozano@ittg.edu.mx.

María Catalina Salgado Gutiérrez (6), I.T. de Tuxtla Gutiérrez, msalgado@ittg.edu.mx.

Artículo recibido en julio 11, 2015; aceptado en agosto 07, 2015.

Resumen.

Este trabajo consiste del diseño de un sistema optomecatrónico para medir el índice de refracción de compuestos Crómicos depositados en portaobjetos. El prototipo utiliza la ley de Snell, que relaciona dos medios con índice de refracción diferentes, ángulos de incidencia y refractada de trayectorias de luz láser. El diseño optomecatrónico utiliza un sistema de control con interfaz gráfica de usuario, con el fin contar con mayor exactitud y precisión para obtener mediciones repetibles. El prototipo consta de fuente de luz láser con longitud de onda de 630 nm, un motor paso a paso y su respectivos drivers de control, un microcontrolador PIC18F4550 como tarjeta de comunicación PC-Microcontrolador por USB y una cámara web como componentes principales que participan en este sistema optomecatrónico.

Palabras clave: Índice de Refracción, Sistema optomecatrónico, Medición optoelectrónica.

Abstract.

This work consists of designing an optomechatronic system to measure the refractive index of Chromic compounds deposited on slides. The prototype uses Snell law, which relates two media with different refractive index, both incident and refracted angle of laser light paths. The optomechatronic design uses a control system with graphical user interface, in order to have greater accuracy and precision to obtain repeatable measurements. The design is based on Snell's law to obtain the optomechatronic control system with graphical interface, in order to have greater accuracy and precision for repeatable measurements. The prototype consists of laser light as optical source with a wavelength of 630 nm, a stepper motor and their respective control driver, a PIC18F4550 microcontroller and PC communication card-USB and a webcam.

Keywords: Refractive index, Optomechatronic system, Optoelectronic measurement.

1. Introducción.

En la literatura se ha encontrado numerosos artículos que describen métodos para medir el índice de refracción en materiales sólidos y líquidos. Dentro de los fenómenos físicos que se utilizan para llevar a cabo la medición se encuentran la difracción, polarización utilizando ángulo de *Brewster* y la ley de *Snell* (Grzegorz F. Wojewoda, 2010; Esteban Szigety, et al., 2009; S. Lombardi, et al., 2009; Shyam Singh, 2002). La aplicación de la técnica del ángulo de *Brewster* y algoritmos genéticos para medir el índice de refracción y grosor de películas preparadas por el proceso de sol-gel y la técnica de revestimiento por inmersión fue reportado. Una precisión superior al 99.5% y 98% en el índice de refracción y mediciones de espesor fueron obtenidos, respectivamente. Análisis de la capacidad de ajustar el índice de refracción de alta densidad de mezcla de películas cambiando la concentración molar de dióxido de circonio, con una tasa de incremento de (0:0052_0:0004)/mol fue reportado en (D. Luna-Moreno, et al., 2002). Además, el método de búsqueda angular, en la cual la estructura está basada en un prisma fabricado con cristal *BK47* con núcleo de capa de oro la cual es la película activa de resonancia plasmónica, con el uso de resonancia de plasmones de superficie basada en un prisma para diferenciar entre tres tipos de tequilas, blanco, añejado y extra añejo fue propuesto por Luna (D. Luna-Moreno, et al., 2011). En este proyecto se presenta un prototipo optomecánico para medir el índice de refracción, que consiste de un control de un motor a pasos. Resultados preliminares fueron reportados por García (L. García, et al., 2012). Este sistema consta de un computador, que por medio de una interfaz visual de MATLAB[®] se controla un láser, un calefactor, la posición y giro de un motor a pasos; este control se lleva por comunicación USB del computador a un microcontrolador de la firma Microchip[®] de modelo *PIC18F4550* que modifica los grados y sentido de giro del motor. Del mismo modo se cuenta con una cámara web la cual se utiliza como un tipo de fotodetector en desplazamiento (como una cámara de *CCD*), con la cual estos datos son introducidos a MATLAB[®] y mediante algoritmos de procesamiento de imagen se mide un desplazamiento de un punto que incide sobre una pantalla (hoja milimétrica).

2. Métodos.

2.1. Sistema óptico de desplazamiento por refracción.

Usando una placa de acrílico de caras paralelas como se ilustra en la Figura 1, se observa la dependencia del desplazamiento lateral d del haz de luz como función del ángulo de incidencia θ . Usando la ley de *Snell* y los valores del índice de refracción medido, se deduce la relación teórica entre d y θ (E. Hecht, 1987).

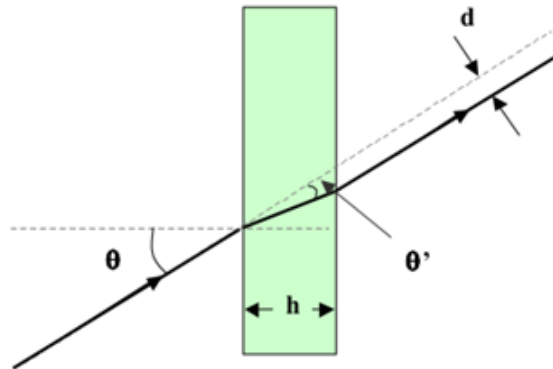


Figura 1. Desviación de un haz por una placa de caras paralelas.

Usando la ley de *Snell* es posible obtener las ecuaciones (12) y (13):

$$\text{sen}\theta = n * \text{sen}\theta' \quad (12)$$

$$\frac{d}{h} = \frac{\text{sen}(\theta - \hat{\theta})}{\text{cos}\hat{\theta}} \tag{13}$$

Donde se obtiene indirectamente el índice de refracción n despejando de la ecuación (12) a cada uno de los ángulos θ y $\hat{\theta}$.

2.2. Sistema mecánico.

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8°, es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360°(ver figura 2).



Figura 2. Motor a pasos.

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas queda energizada, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

2.3. Sistema Electrónico.

En ésta etapa se utilizó el microcontrolador *PIC 18F4550*, que es fabricado por la firma de *MICROCHIP®*, entre sus principales características se encuentran las siguientes (figura 3): Tipo de memoria Flash, 32 KB de memoria de programa, 2,048 Bytes de RAM, 256 Bytes de *EEPROM*, 1 *CCP*/ 1 *ECCP*, Timers: 1x8bits / 3x16 bits, *ADC*: 13x10 bits, 2 comparadores, *USB* de alta velocidad (2.0).

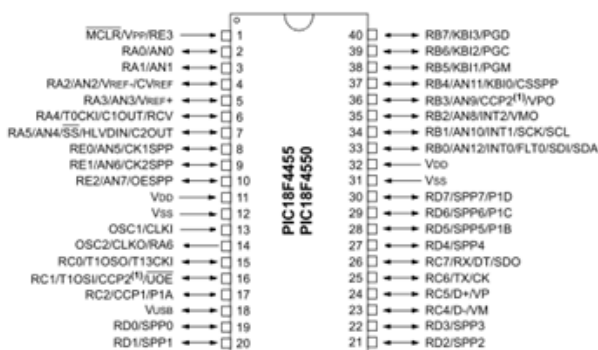


Figura 3. Esquema de un microcontrolador PIC 18F4550.

Debido a que tiene la característica de conexión *USB* y ser de una familia de microcontroladores relativamente rápida se ha decidido por utilizar este microcontrolador para el desarrollo del proyecto.

2.4. LM35.

El LM35 es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1°C y un rango que abarca desde -55° a $+150^{\circ}\text{C}$. El sensor se presenta en diferentes encapsulados pero el más común es el *TO-92* de igual forma que un típico transistor con 3 patas, dos de ellas para alimentarlo y la tercera entrega un valor de tensión proporcional a la temperatura medida por el dispositivo. La salida es lineal y equivale a $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ por lo tanto: $+1500\text{ mV} = 150^{\circ}\text{C}$, $+250\text{ mV} = 25^{\circ}\text{C}$, $-550\text{ mV} = -55^{\circ}\text{C}$. Funcionamiento: Para hacer un termómetro lo único que se necesita es un voltímetro bien calibrado y en la escala correcta para que nos muestre el voltaje equivalente a temperatura. El *LM35* funciona en el rango de alimentación comprendido entre 4 y 30 voltios y físicamente se muestra en la figura 4.



Figura 4. Sensor de temperatura LM35

Éste puede ser conectado a un conversor Analógico/Digital y tratar la medida digitalmente, almacenarla o procesarla con un μ Controlador o similar. El sensor de temperatura puede usarse para compensar un dispositivo de medida sensible a la temperatura ambiente, refrigerar partes delicadas del robot o bien para *loggear* temperaturas en el transcurso de un trayecto de exploración.

2.5. Sistema del software interfaz gráfica de usuario.

GUIDE es un entorno de programación visual disponible en MATLAB para realizar y ejecutar programas que necesiten ingreso continuo de datos. Tiene las características básicas de todos los programas visuales como *Visual Basic* o *Visual C++*.

Para iniciar un proyecto, se puede hacer de dos maneras:

Ejecutando la siguiente instrucción en la ventana de comandos:

```
>> guide
```

Haciendo un *click* en el ícono que muestra la figura 5:

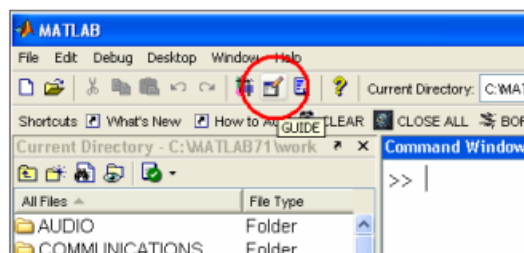


Figura 5. Comenzando a trabajar en el GUIDE de MATLAB.

Se presenta el siguiente cuadro de diálogo (ver figura 6), donde se muestran las siguientes opciones:

- a) *Blank GUI (Default)*: La opción de interfaz gráfica de usuario en blanco (viene predeterminada), presenta un formulario nuevo, en el cual se puede diseñar el programa.
- b) *GUI with Uicontrols*: Esta opción presenta un ejemplo en el cual se calcula la masa, dada la densidad y el volumen, en alguno de los dos sistemas de unidades. Se puede ejecutar este ejemplo y obtener resultados.
- c) *GUI with Axes and Menu*: Esta opción es otro ejemplo el cual contiene el menú *File* con las opciones *Open*, *Print* y *Close*. En el formulario tiene un *Popup menu*, un *push button* y un objeto *Axes*, es posible ejecutar el programa eligiendo alguna de las seis opciones que se encuentran en el menú despegable y haciendo click en el botón de comando.

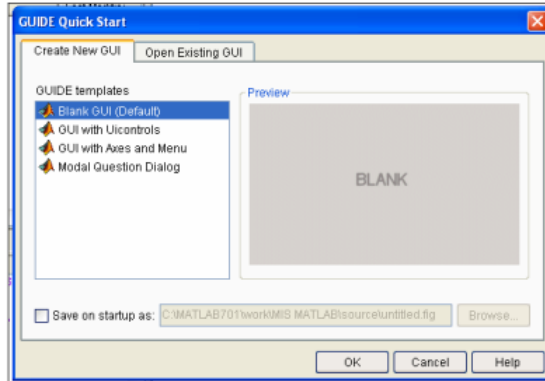


Figura 6. Creación del GUI para empezar a trabajar.

- d) *Modal Question Dialog*: Con esta opción se muestra en la pantalla un cuadro de diálogo común, el cual consta de una pequeña imagen, una etiqueta y dos botones Yes y No, dependiendo del botón que se presione, el *GUI* retorna el texto seleccionado (la cadena de caracteres 'Yes' o 'No'). Se elige la primera opción, *Blank GUI*, y se tiene la figura 7:

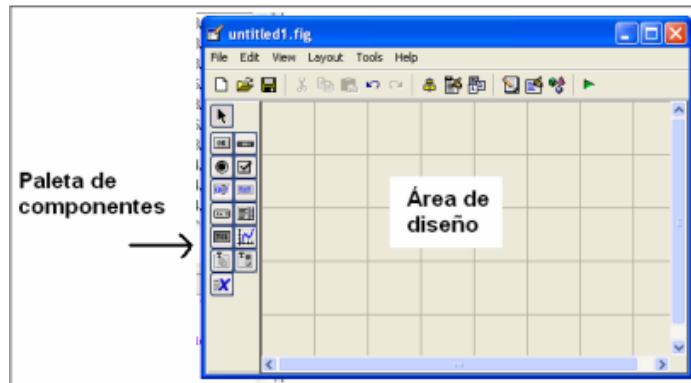


Figura 7. Entorno de diseño GUI

En esta ventana se puede empezar a trabajar y a programar el *GUI* con las herramientas que el usuario necesite para poder manipular todo un proyecto con tan solo una ventana gráfica en el que el usuario puede observar y controlar todo un sistema sin la necesidad de estar en el lugar de trabajo.

3. Desarrollo del prototipo y resultados.

El sistema optomecatrónico se presenta de manera esquemática donde se observa el funcionamiento a macroescala en la figura 8. En ésta figura se presenta el sistema de control, el sistema mecánico donde se introduce la muestra a analizar, el láser que proporciona la fuente de luz, el sistema de calentamiento y la cámara *WEB* que procesa la información. En el computador se encuentra una Interfaz Gráfica de Usuario diseñada en MATLAB con la cual se puede controlar el encendido y apagado del láser y calefactor. De la misma manera por medio de este *GUI* se puede manipular los grados de giro del motor y el sentido de giro (Horario y Antihorario) para así poder variar el ángulo de incidencia del láser, el cual se encuentra estático; se tiene la imagen *VGA* y en blanco y negro para medir el desplazamiento del punto láser debido a los cambios del índice de refracción de la *lofina*, además de la lectura del sensor de temperatura y la adquisición de datos del sistema. Al tener cierto ángulo de incidencia del haz láser sobre la muestra que está encima del goniómetro giratorio, este haz es refractado por la película delgada del compuesto a medir, en este caso *lofina*, haciendo que la trayectoria del haz se modifique durante todo el ancho de la *lofina*, al salir de la película delgada regresará su trayectoria de viaje en dirección paralela al del haz antes de cruzar por la muestra pero con un desplazamiento debido a la refracción que sufrió el haz láser por haber pasado a diferentes medios con un índice de refracción menor (aire) a uno mayor (*lofina*), en el cual la teoría óptica dice que un haz de luz será refractado haciendo el ángulo más pequeño con respecto a la normal del límite de ambos materiales cuando este pasa de un medio de índice de refracción menor a uno de índice de refracción mayor.

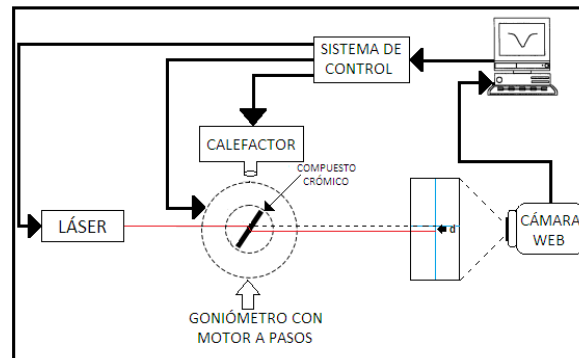


Figura 8. Diagrama a bloques del funcionamiento del SOMIRCC.

Además, Se sabe que la *lofina* modifica su índice de refracción en función de la temperatura, sabiendo esto, se aplicará un flujo de aire caliente a la muestra por medio del calefactor con el propósito de modificar su índice de refracción, el cual en función de este se hará un cambio en el ángulo de refracción del haz, haciendo un nuevo cambio en el desplazamiento del haz refractado que pasa del medio 2(muestra) al medio 1 (aire), observando este cambio por la cámara web, la cual por procesamiento de imagen en MATLAB se comprobará el cambio de índice de la *lofina* en función de la temperatura, la cual es monitoreada por un sensor de temperatura *LM35*, ver figura 9.

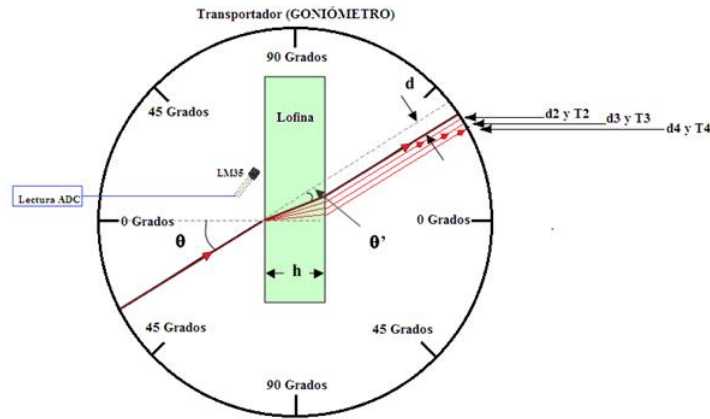


Figura 9. Desplazamiento del haz láser, debido al fenómeno de refracción variante en función del índice de refracción de la lofina.

3.1. Driver de control del motor a pasos.

Este driver de control está basado mediante un generador de pulsos cuadrados, esta señal es generada por medio de un CI 555, la frecuencia de esta señal cuadrada es regulada por una resistencia y un capacitor en el cual su producto nos da una constante llamada tao (T), donde el inverso de esta señal es la frecuencia del pulso generado por el CI 555. La señal de pulsos cuadrados se introduce al pin 11 (clock) del CI SN74194 el cual tiene la función de hacer un conteo incremental en sus líneas de salida (QA, QB, QC y QD), la frecuencia de conteo es determinada por la frecuencia de pulso de reloj que el CI 555 está enviándole, estas señales de salida del SN74194 proporcionan una corriente relativamente pequeña como para alimentar al motor a pasos por lo que cada una de ellas es amplificada en corriente por transistores. Mediante los pines 9 y 10 (S0 y S1) del CI SN74194 se puede controlar el sentido del conteo de las líneas de control del motor a pasos (QA, QB, QC, QD) haciendo que el motor gire en sentido contrario, este control se lleva a cabo por el microcontrolador, todo esto se observa en el circuito de la figura 10.

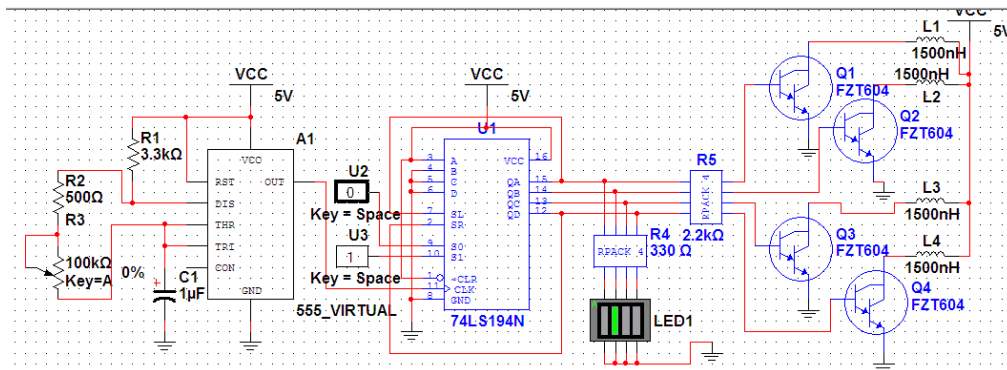


Figura 10. Driver de control del motor a pasos.

3.2. Lectura de la cámara web.

Se ha logrado obtener la medición de desplazamiento del punto en pixeles, la imagen de la izquierda es el punto de luz en imagen VGA obtenida por la cámara web, esta imagen es procesada por un filtro para convertirla en blanco y negro, además de aplicar procesamiento de imagen para detectar el centroide de la imagen y obtener el centro de masa de la misma, a la par de todo esto se evalúa el desplazamiento en el eje “x” y “y” de la imagen de la derecha

para obtener un vector resultante, es decir, el desplazamiento del punto láser que como se aprecia en la imagen fue de aproximadamente 138.8273 píxeles, como se presenta en la figura 11.

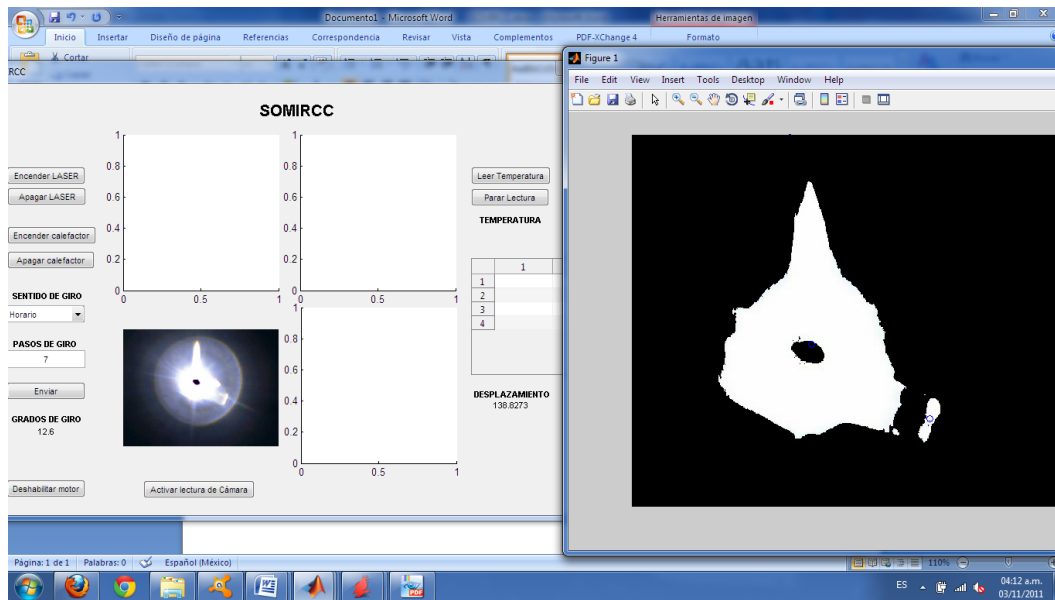


Figura 11. Medición de desplazamiento del punto de luz por la cámara web.

Conclusiones.

Este sistema en si puede alcanzar a detectar las pequeñas variaciones de desplazamiento en píxeles que ocurren y que el ojo humano no puede percibir, debido al cambio del ángulo de incidencia del haz láser o a la variación del índice de refracción del material al hacer variar la temperatura en el medio. Sin embargo este desplazamiento en píxeles necesita caracterizarse para poder obtener una medida en longitud, mediante el proceso de calibración de la cámara. Obteniendo este desplazamiento es posible ahora calcular aproximadamente el índice de refracción del material mediante el método de desplazamiento por refracción. Por lo que determinando la caracterización de desplazamiento de píxeles a una escala que podamos medir, en este caso centímetros o milímetros, obteniendo este dato es posible calcular de manera indirecta el índice de refracción del material, aplicando óptica geométrica.

Créditos.

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez por el financiamiento del proyecto con clave de registro 5469.14-P ante la dirección general de educación superior tecnológica del Tecnológico Nacional de México.

Referencias Bibliográficas.

- D. Luna-Moreno, E. De la Rosa-Cruz.** (2002). Refractive index measurement of pure and Er^{3+} -doped ZrO_2 – SiO_2 sol–gel film by using the Brewster angle technique. *Optical Materials*. 19, 275–281.
- D. Luna-Moreno, D. Monzón-Hernández.** 2011. Optics and Lasers in Engineering 49. Optical method to differentiate tequilas based on angular modulation surface plasmon resonance. pp 675–679.

E. Hecht. (1987). Optics, 2nd . Ed., Addison-Wesley Pub. Co. Reading. / (2) *Trabajos prácticos de física*, J. E. Fernández y E. Galloni, Editorial Nigar, Buenos Aires (1968). / (3) Guía del laboratorio de física, Physical Science Study Committee (PSSC), Reverté, Madrid (1972).

Esteban Szigety, Javier Viau, María Alejandra Tintori Ferreira y Lucrecia Moro. (2009). Medición del índice de refracción del agua usando Materiales sencillos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias Universidad Nacional de Mar del Plata.* 6:1, 146-150.

Grzegorz F. Wojewoda. (2010). Zespół Szkół Ogólnokształcących nr 1 Bydgoszcz, Poland. www.pl.euhou.net/.../files/.../IndexOfRefraction.doc

L. García, J. Camas, L. Pola, H. Castañón, C. García, R. Mota, N. Juárez. (2012). Sistema optomecatrónico para estimar el índice de refracción de un compuesto crómico, *VII Taller Internacional Tecnoláser y III Reunión de Óptica Vida y Patrimonio*, La Habana, Cuba 2012.

Shyam Singh. (2002). Refractive Index Measurement and its applications. *Physica Scripta*, 65, 167-180.

S. Lombardi, G. Monroy, I. Testaand E. Sassi. (2009). Measuring variable refractive indices using digital photos. *Phys. Educ.* 45:1, doi:10.1088/0031-9120/45/1/010

Información de los autores.



Luis García Flores es egresado de la carrera en Ingeniería en Electrónica desde noviembre de 2011 y egresado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica desde Noviembre de 2013 por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez Chiapas. Su área de interés es sistemas de control optomecatrónico y metrología optoelectrónica.



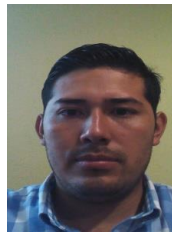
Jorge Luis Camas Anzueto es graduado como Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, graduado como Maestro en Ciencias y Doctor en Ciencias con la Especialidad en Óptica y subespecialidad Optoelectrónica por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE). Actualmente docente-investigador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica y de la carrera en Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Su área de interés es Sensores ópticos, sensores de fibra óptica, optoelectrónica y optomecatrónica.



Héctor Ricardo Hernández de León es graduado como Ingeniero En Electrónica por el Instituto Politécnico Nacional, Doctorado en Ciencias en Sistemas Automatizados por el Instituto de Ciencias Aplicadas INSA-Toulouse-Francia. Actualmente investigador de la MAestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica y la Carrera de Ingeniería Electrónica en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Su área de interés es Control Inteligente y diagnóstico de fallas en plantas de agua potable.



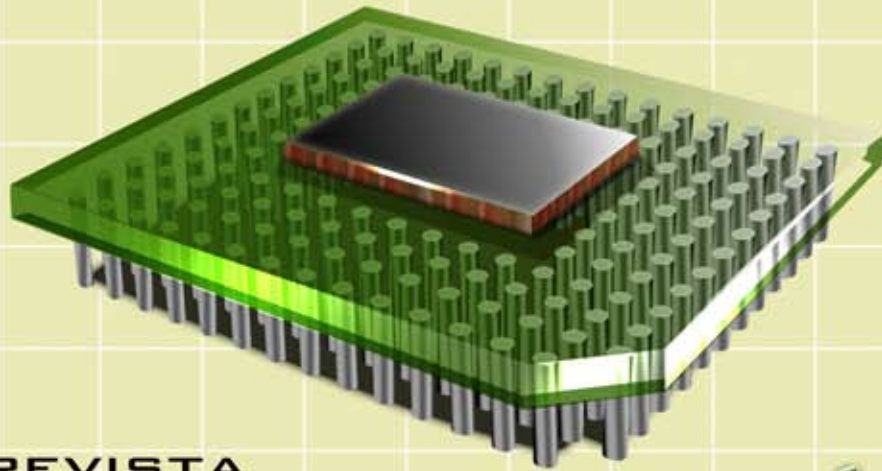
Rafael Mota Grajales es graduado como Ingeniero Industrial Eléctrico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de la Laguna y Candidato a Doctor en Control Industrial por la Universidad Claude Bernard, Lyon 1, Lyon, Francia. Su área de interés es aplicaciones industriales, automatización e instrumentación de procesos y control automático.



Luis Alberto Pérez Lozano es graduado como Ingeniero Eléctrico en 2007 por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Docente del Departamento de Ciencias Básicas y del Departamento de Eléctrica y Electrónica desde 2010. Participó en proyectos relevantes en la línea de investigación de energías renovables con el proyecto generación de energía eléctrica por medio del accionamiento de un motor Stirling. Actualmente Jefe del Departamento de Eléctrica y Electrónica. Su área de interés es energías renovables, aplicación de la física y desarrollo de proyectos industriales eléctricos.



María Catalina Salgado Gutiérrez, es Ingeniera en Electrónica y Maestra en Administración, egresada del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG. Es profesora de asignatura en el área de Ciencias Básicas. Imparte cátedra en las áreas de Ingeniería Electrónica y Ciencias Básicas en el ITTG.



REVISTA
TECNOLOGÍA
DIGITAL

www.revistatecnologiadigital.com