

ISSN 1390-6712

# MASKAY



Vol. 1, No. 1

## **Revista MASKAY**

Departamento de Eléctrica y Electrónica  
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

### DIRECTOR DEL DEEE

Ing. Hugo Ortiz

### EDITOR GENERAL

Dr. Enrique V. Carrera

### EDITOR ASOCIADO

Dr. Gonzalo Olmedo

### CONSEJO EDITORIAL

Dr. Enrique V. Carrera

Ing. Román Lara

Dr. Gonzalo Olmedo

Ing. Víctor Proaño

Ing. Carlos Romero

### INFORMACIÓN DE CONTACTO

Revista MASKAY  
Departamento de Eléctrica y Electrónica  
Escuela Politécnica del Ejército

Av. El Progreso (S/N)

P. O. Box 17-15-243B

Sangolquí, Pichincha

Ecuador

El contenido de los artículos aquí publicados es responsabilidad exclusiva de sus respectivos autores. Mayor información en <http://maskay.espe.edu.ec/>.

# Presentación

La Revista Maskay del Departamento de Eléctrica y Electrónica (DEEE) de la ESPE es resultado natural de los trabajos de investigación desarrollados por los docentes del departamento y por estudiantes de pregrado y posgrado de Ingeniería Electrónica. Tiene como objetivo fomentar la difusión del conocimiento a través de artículos técnicos y científicos en las Áreas de Conocimiento del DEEE. En su primera edición presenta resultados obtenidos en proyectos de iniciación científica que se han venido realizando desde el año 2008. En sus futuras ediciones Maskay abre las puertas para la publicaciones de investigaciones, producto de trabajos realizados en áreas afines por parte de otras instituciones, tanto públicas como privadas.

*Dr. Gonzalo Olmedo*  
Editor Invitado

# Contenido

<b>Prototipo de una tarjeta para el control y localización vehicular utilizando mensajes SMS</b> <i>Diana Moya, Edgar Benítez, Gonzalo Olmedo y Julio Larco</i> .....	1
<b>Análisis del desempeño de una red Ad-Hoc inalámbrica móvil MANET, empleando el software NS 2.32 bajo el estándar IEEE 802.15</b> <i>Johanna Gavidia, Román Lara y Gonzalo Olmedo</i> .....	10
<b>Diseño y simulación de una red WiMAX para el campus de la Escuela Politécnica del Ejército</b> <i>Tatiana Apolo, Edwin Amaguaña, Román Lara y Gonzalo Olmedo</i> .....	14
<b>Estudio del comportamiento de una red Ad-Hoc MANET metropolitana basado en los protocolos de enrutamiento</b> <i>Mario Garzón, Román Lara y Gonzalo Olmedo</i> .....	21
<b>Diseño de un prototipo del sistema inalámbrico para el registro de tiempos de recorrido en la transportación pública</b> <i>Verónica Guerra y Daniel Altamirano, Paúl Ayala y Gonzalo Olmedo</i> .....	25
<b>Diseño e implementación de un prototipo de identificación de objetos de uso común, dirigido a personas con discapacidad visual</b> <i>Franklin Pacheco, Jaime Andrango y Julio Larco</i> .....	33
<b>Diseño e implementación de un prototipo de silla de ruedas eléctrica para la enseñanza en el manejo, conducción y orientación a personas con limitaciones físicas y adultos mayores</b> <i>Christian Montenegro, Edwin Villagrán, Paúl Ayala y Jaime Andrango</i> .....	39
<b>Diseño e implementación de antenas de microlínea</b> <i>David Donoso, Gonzalo Olmedo y David Andrade</i> .....	45
<b>Diseño e implementación de un bloqueador de teléfonos celulares para GSM que operan en la banda B</b> <i>Luis. E. Mena y César Naranjo</i> .....	49
<b>Diseño e implementación de un sistema de monitoreo a bordo con conexión por radiofrecuencia para un vehículo Chevrolet Forsa 1.3 lt</b> <i>Julieta T. Vásquez y Galo Ávila</i> .....	52
<b>Diseño e implementación de un módulo didáctico de un Drive Troceador para el control de una máquina de DC en cuatro cuadrantes destinado al Laboratorio de Control Eléctrico y PLC's</b> <i>Ismael Guamaní y Marcelo Silva</i> .....	55

# Prototipo de una tarjeta para el control y localización vehicular utilizando mensajes SMS

Diana Moya, Edgar Benítez, Gonzalo Olmedo y Julio Larco

**Resumen**— En este artículo se describe la implementación de un prototipo para el control y localización vehicular denominado SCL (Sistema de Control y Localización) que hace uso del servicio de mensajes cortos (SMS) de la red GSM (*Global System for Mobile Communication*) para su administración, desde una interfaz gráfica de usuario desarrollada en J2ME (*Java2 Micro Edition*). Este sistema está constituido de dos partes principales: una Tarjeta de Control y Localización (TCL) y la interfaz en J2ME. Se detalla el diseño del hardware de la TCL, describiendo sus componentes, la interconexión entre los mismos y sus consideraciones técnicas; así como, las características generales de la aplicación en J2ME.

**Palabras clave**— GSM, SMS, PDU, GPS, J2ME, CLDC, MIDP, WMA, *PushRegistry*.

## I. INTRODUCCIÓN

EL sistema GSM constituye uno de los principales avances en el campo de las redes móviles digitales, siendo en la actualidad la tecnología más ampliamente utilizada del mundo con más de 3 mil millones de abonados, representando el 81.2% de participación en el mercado en cuanto a las suscripciones inalámbricas digitales globales [1]. GSM es una norma abierta, que permite que cualquier fabricante produzca equipos compatibles, lo cual trae aparejados algunos beneficios, entre ellos, las oportunidades que brinda para los desarrolladores de aplicaciones.

Dentro de los servicios básicos de la red GSM, el servicio SMS es uno de los más difundidos y principalmente, uno de los menos costosos para el usuario. Estas cualidades hacen que el servicio de mensajes cortos SMS se convierta en una gran alternativa para ser usada como base en el desarrollo del presente trabajo, en comparación con otras tecnologías, como por ejemplo GPRS (*General Packet Radio Service*), que tiene mayor costo por datos transmitidos y no presenta cobertura en todo el país.

Por otro lado, el avance tecnológico cada vez más acelerado de los teléfonos celulares, los cuales siguen incorporando más funcionalidades, hace que

paralelamente se descontinúe la producción de algunos modelos, lo que implica que aumente la cantidad de aparatos que entran en desuso. Justamente, como una alternativa más económica para la implementación de este prototipo se utilizó un módem GSM de un teléfono celular descontinuado, logrando a su vez reciclar estos equipos celulares.

Este artículo está organizado de la siguiente manera. En la sección II, se describen las características y el funcionamiento general del sistema SCL. En la sección III, se describe el cerebro de los procesos que se llevan a cabo en la TCL, implementado en un microcontrolador PIC. Las consideraciones técnicas de las entradas y salidas de la TCL son presentadas en la sección IV. En la sección V se describe el sistema de alimentación de la TCL. En las secciones VI y VII, se describen las comunicaciones entre el microcontrolador PIC con el módem GSM y con el módulo receptor GPS (*Global Positioning System*), respectivamente. En la sección VIII, se explican las características principales de la aplicación en J2ME. En la sección IX se muestra el resultado de la implementación del sistema SCL. Finalmente, las conclusiones se presentan en la sección X.

## II. FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL SISTEMA

En esta sección se describe el funcionamiento general del sistema SCL, el cual consta de dos partes principales: la TCL, y la interfaz de usuario realizada en J2ME, las cuales se muestran en la Figura 1.

La TCL está gobernada por un microcontrolador PIC16F877A que se encarga del control de las salidas, monitoreo de las entradas, adquisición de la señal analógica proveniente de un sensor, y la comunicación con un módem GSM y con un módulo receptor GPS. El microcontrolador es el encargado de interpretar los mensajes SMS de entrada, y codificar en modo PDU (*Protocol Data Unit*) los mensajes SMS de reporte destinados hacia el teléfono celular del usuario, de acuerdo a sus requerimientos.

La TCL consta de 5 salidas y 5 entradas. Las 5 salidas se dividen en 3 digitales y 2 de potencia, y las 5 entradas se dividen en 4 digitales y una analógica, la cual ha sido considerada para sensar temperatura.

El bloque de acceso a la red GSM está conformado por un módem GSM de un celular en desuso. En este caso se ha utilizado un teléfono de la marca Sony Ericsson, modelo T290a. Este módem se comunica vía

---

Diana Moya, Edgar Benítez, Román Lara y Gonzalo Olmedo, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Departamento de Electrónica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército, ESPE, Sangolquí, Ecuador, E-mails: ralara@espe.edu.ec, golmedo@espe.edu.ec.

serial con el microcontrolador mediante comandos AT específicos para el servicio de mensajes cortos.

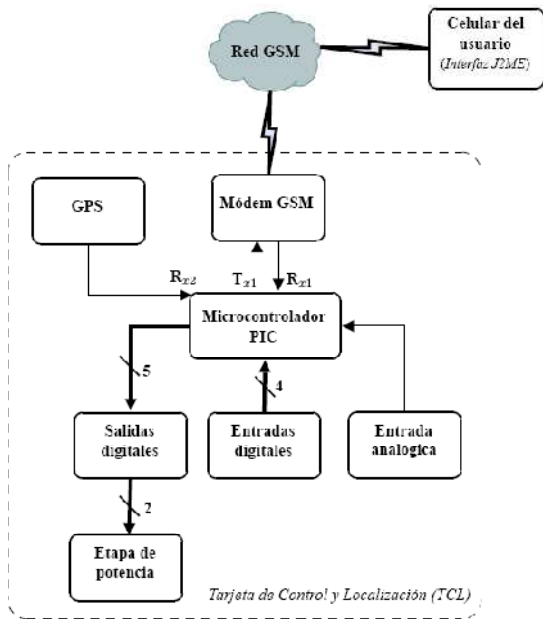


Fig. 1. Diagrama de bloques del sistema SCL.

El bloque que permite obtener la posición geográfica de la tarjeta se compone del módulo receptor GPS GS405, del fabricante *SPK Electronics Co., Ltd* [2]. Este módulo envía la información de posicionamiento al microcontrolador a través de comunicación serial utilizando el protocolo NMEA.

La interfaz de usuario se trata de una aplicación en J2ME, constituida por menús y formularios que permiten al usuario la interacción con el sistema de una manera fácil y amigable. Esta aplicación debe instalarse en un teléfono celular que soporte la plataforma Java (configuración CLDC 1.0 y perfil MIDP 2.0). Esta aplicación se encarga de enviar las peticiones del usuario y atender los reportes y notificaciones provenientes de la tarjeta, a través de mensajes SMS.

### III. MICROCONTROLADOR PIC16F877A

El microcontrolador PIC16F877A pertenece a la familia Microchip de microcontroladores de gama media, con bus de datos de 8 bits y 40 pines. Las características generales de este microcontrolador se muestran en la Tabla I. Información más detallada con respecto a las especificaciones y funcionamiento del PIC16F877A, se puede encontrar en la web del fabricante [3].

En la Tabla II se detalla como se han distribuido los pines del PIC para implementar las diferentes funciones de control, monitoreo y comunicación con cada uno de los componentes del hardware.

Para el desarrollo del programa del microcontrolador PIC se utilizó el compilador de C PCW de la casa CCS Inc. Este compilador dispone de un entorno de desarrollo integrado (IDE) que permite implementar cada una de las fases de las que se compone el desarrollo de software de un proyecto, desde la edición hasta la compilación pasando por la depuración de errores.

Este compilador traduce el código C del archivo fuente (.c) a lenguaje de máquina entendido por los microcontroladores PIC, generando así un archivo (.HEX) en formato hexadecimal.

TABLA I  
CARACTERÍSTICAS DEL PIC16F877A.

Características	PIC16F877A
Frecuencia máxima	20 MHz
Memoria de programa flash palabra de 14 bits	8 K
Posiciones RAM de datos	368 B
Posiciones EEPROM de datos	256 B
Puertos E/S	A,B,C,D,E
Número de pines	40
Interrupciones	14
Timers	3
Módulos CCP (Capture/Compare/PWM)	2
Comunicación serie	MSSP, USART
Comunicaciones paralelo	PSD
Canales de conversión A/D de 10 bits	8
Juego de instrucciones	35 instrucciones
Longitud de cada instrucción	14 bits
Arquitectura	Harvard
CPU	RISC

TABLA II  
DESCRIPCIÓN DE LA ASIGNACIÓN DE LA PINES DEL MICROCONTROLADOR PIC.

No.	Nombre del Pin	Tipo	Función	Descripción
13	OSC <sub>1</sub> /CLK <sub>IN</sub>	I	Circuito de reloj	Oscilador de cristal
14	OSC <sub>2</sub> /CLK <sub>OUT</sub>	O	Circuito de reloj	Oscilador de cristal
1	MCLR	I	Circuito de reset	Reset
2	RA <sub>0</sub> /AN <sub>0</sub>	I/O	Entrada analógica	Sensor de Temp.
3	RA <sub>1</sub> /AN <sub>1</sub>	I/O	Indicador salida 1	Led indicador
4	RA <sub>2</sub> /AN <sub>2</sub>	I/O	Indicador salida 2	Led indicador
5	RA <sub>3</sub> /AN <sub>3</sub>	I/O	Indicador salida 3	Led indicador
33	RB <sub>0</sub> /INT	I/O	Módem GSM	R <sub>x</sub> de com. serial
34	RB <sub>1</sub>	I/O	Módem GSM	T <sub>x</sub> de com. serial
35	RB <sub>2</sub>	I/O	Receptor GPS	R <sub>x</sub> de com. serial
37	RB <sub>4</sub>	I/O	Entrada 4	Entrada digital
38	RB <sub>5</sub>	I/O	Entrada 3	Entrada digital
39	RB <sub>6</sub>	I/O	Entrada 2	Entrada digital
40	RB <sub>7</sub>	I/O	Entrada 1	Entrada digital
22	RD <sub>3</sub>	I/O	Salida 5	Salida de potencia
27	RD <sub>4</sub>	I/O	Salida 4	Salida de potencia
28	RD <sub>5</sub>	I/O	Salida 3	Salida digital
29	RD <sub>6</sub>	I/O	Salida 2	Salida digital
30	RD <sub>7</sub>	I/O	Salida 1	Salida digital
8	RE <sub>0</sub> /AN <sub>5</sub>	I/O	Ind. I/O de SMS	Led indicador
12,31	V <sub>SS</sub>	P	Alimentación	P=Power, Tierra
11,32	V <sub>DD</sub>	P	Alimentación	Fuente positiva

### IV. ENTRADAS Y SALIDAS DE LA TCL

Las entradas y salidas de la TCL están organizadas de la siguiente manera:

#### A. Entradas digitales

La TCL presenta 4 entradas digitales que se conectan a los pines RB4 al RB7 del puerto B del microcontrolador PIC como se observa en la Figura 2, con el fin de aprovechar la interrupción relacionada a un cambio en cualquiera de los bits del nibble más alto del puerto B. De esta manera, cuando existe un cambio en el estado de los sensores conectados a las entradas digitales, se produce una interrupción en el programa, lo cual permite el tratamiento de esta información y la notificación respectiva al usuario.

Una consideración importante respecto al estado de las entradas, es que mientras éstas no se encuentren conectadas a ningún sensor, y por lo tanto, no reciban señal alguna, el estado por defecto es un 1 lógico, debido

a que se han activado las resistencias de *pull-up* del puerto B, configurables a través de software.

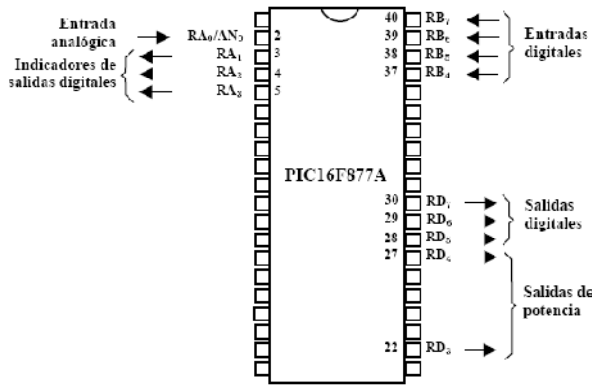


Fig. 2. Distribución de los pines del microcontrolador PIC16F877A para las entradas y salidas de la TCL.

### B. Salidas digitales

Las salidas digitales de la TCL corresponden a los pines RD5 a RD7 del PIC como se observa en la Figura 2, tienen una corriente máxima de salida de 25 mA, de acuerdo a las especificaciones eléctricas del PIC16F877A. Además, se han incluido leds indicadores de estado conectados a los pines RA1 a RA3, por cada una de las salidas, con el objetivo de permitir al usuario visualizar el estado de las mismas.

### C. Salidas de potencia

La TCL cuenta con dos salidas de potencia que permiten la conexión de dispositivos que trabajan con corriente alterna.

Para la implementación de estas salidas se utilizó relés de 6A/250VAC o 6A/28VDC, máx. 10A a 125VAC, los cuales se activan con una tensión de 12 V.

Para acoplar estos relés al microcontrolador se implementaron circuitos, uno para cada salida de potencia, que utilizan transistores de propósito general NPN 2N3904. En la Figura 3 se muestra el circuito para una de estas salidas (salida 5). Además, se colocaron leds indicadores para visualizar su estado.

### D. Entrada analógica

La entrada analógica ha sido implementada utilizando el primer canal del módulo de conversión A/D incorporado en el microcontrolador PIC16F877A, correspondiente al pin RA0, como se muestra en la Figura 2. El módulo de conversión A/D se configuró con una resolución de 10 bits, es decir que la señal analógica se convertirá en un número binario de 10 bits (0 a 1023 decimal).

En la TCL se ha considerado que la entrada analógica tenga como objetivo el sensamiento de temperatura, para lo cual, se ha conectado directamente al pin RA0 del PIC, la salida del sensor de temperatura LM35DZ

mostrado en la Figura 4, que tiene las siguientes características:

- Calibrado directamente en grados centígrados.
- Factor de escala lineal de +10,0 mV/°C.
- Precisión de 0,5°C (a +25°C).
- Evaluado en el rango de -55°C a +150°C.
- Operación desde 4 a 30 V.
- Baja impedancia de salida, 0,1 - para una carga de 1 mA.
- 

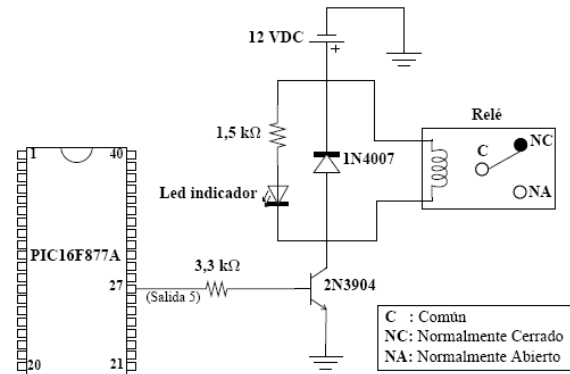


Fig. 3. Circuito implementado para la etapa de potencia de la salida 5.



(a) Encapsulado de plástico TO-92.



(b) Vista desde abajo.

Fig. 4. Sensor de temperatura LM35DZ.

## V. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

La TCL trabaja con tres tensiones para la alimentación de las distintas partes que la conforman, las mismas son: 12 V, 5 V y 3,3 V DC. El circuito de este sistema se muestra en la Figura 5.

La tensión de 12 V, para el caso de aplicaciones en vehículos, puede ser tomada de la batería de los mismos, y para otras aplicaciones, es necesaria la conexión a una fuente de alimentación que suministre este voltaje. Los 12 V permitirán la activación de los relés de las salidas de potencia como se muestra en la Figura 3, una vez que los transistores entren en el estado de corte. Además, esta tensión ingresa a un circuito regulador de 5 V DC, basado en el integrado LM317, que servirá para alimentar tanto al microcontrolador como al resto de elementos de la TCL, incluyendo la batería del teléfono celular con excepción del módulo receptor GPS.

Por otra parte, debido a que el módulo receptor GPS requiere para su alimentación una tensión de 3,3 V, se ha implementado un circuito regulador adicional, basado en el integrado LM1117T, el mismo que se encarga de convertir los 5 V que recibe a su entrada a 3,3 V.

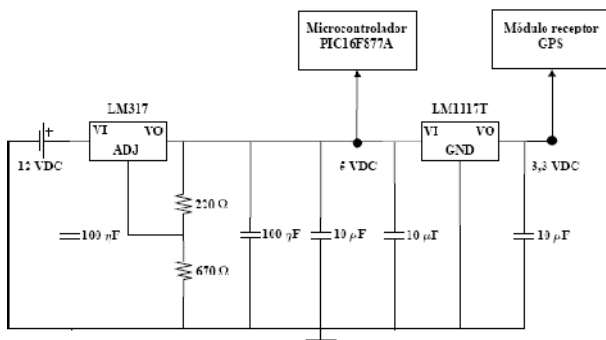


Fig. 5. Sistema de alimentación de la TCL.

## VI. COMUNICACIÓN CON EL MÓDEM GSM

Un módem GSM es similar a un módem *dial-up*, con la diferencia que es inalámbrico y trabaja con la red GSM. En este prototipo, el módem GSM es utilizado para permitir el envío de mensajes SMS desde la TCL a la interfaz de usuario en J2ME, así como recibir mensajes provenientes desde ésta hacia la TCL. Para este propósito, se utilizó el módem embebido de un teléfono celular de la marca Sony Ericsson, modelo T290a, el mismo que se presenta en la Figura 6, logrando a su vez, cumplir con el objetivo de reutilizar equipos terminales que se encuentren en desuso.



Fig. 6. Equipomóvil Sony Ericsson T290a.

La Figura 7 muestra la conexión entre el módem GSM y el microcontrolador. Es importante mencionar que los pines de transmisión y recepción del microcontrolador trabajan con niveles TTL de 0-0,8 V para el estado lógico 0, y 2-5 V para el estado lógico 1; mientras que el módem GSM del teléfono celular trabaja con niveles TTL de 0 V (estado lógico 0) y 3,3 V (estado lógico 1). Por esta razón, en la conexión entre el Tx del PIC y el Rx del módem, fue necesario añadir un circuito regulador con un diodo zéner de 3,3 V para obtener el voltaje deseado en este pin Rx y así, evitar inconvenientes de incompatibilidad de niveles de voltaje. En el otro sentido de la comunicación serial (Rx del PIC y Tx del módem) no se presenta este inconveniente de incompatibilidad.

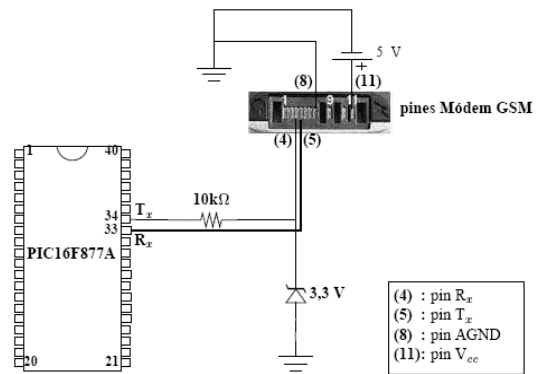


Fig. 7. Conexión entre el módem GSM del celular y el microcontrolador PIC.

Para la comunicación entre el microcontrolador PIC y el módem GSM, se hizo uso de una extensión de los comandos AT convencionales, conocidos como comandos AT+, los mismos que permiten gestionar la base de datos de los teléfonos celulares, la lista de los mensajes SMS recibidos, enviar mensajes SMS, entre otras opciones de configuración. A continuación se menciona los comandos AT+, específicos para el trabajo con mensajes SMS, que fueron empleados para la comunicación del microcontrolador con el módem GSM en este prototipo:

1. **AT+CPMS** (*Preferred Message Storage*). Selecciona la memoria de almacenamiento a ser usada para lectura y escritura de los SMS.
2. **AT+CMGF** (*Message Format*). Selecciona el formato de entrada y salida para los mensajes SMS a ser utilizado por el teléfono, el mismo puede ser modo PDU o modo texto.
3. **AT+CMGR** (*Read Message*). Lee el mensaje ubicado en una posición específica de la memoria seleccionada con el comando AT+CPMS.
4. **AT+CMGL** (*List Message*). Devuelve una lista de mensajes dependiendo de su estado, de acuerdo a las siguientes cadenas:
  - "REC UNREAD": mensajes recibidos pero no leídos.
  - "REC READ": mensajes recibidos y leídos.
  - "STO UNSEND": mensajes escritos y almacenados pero no enviados.
  - "STO SENT": mensajes enviados.
  - "ALL": todos los mensajes.
5. **AT+CMGS** (*Send Message*). Permite enviar un mensaje SMS desde un equipo terminal a otro ya sea en modo texto o en modo PDU.
6. **AT+CMGD** (*Delete Message*). Elimina el mensaje ubicado en una posición específica de la memoria seleccionada con el comando AT+CPMS.

Información más detallada de los comandos AT y AT+ se puede encontrar en [4] y [5].



### B. Formatos del SMS

Hay dos maneras de enviar y recibir mensajes SMS definidos a continuación:

- **Modo texto.** Los mensajes pueden estar conformados por caracteres de texto, números y símbolos especiales.
- **Modo PDU.** La estructura dentro de la cual viaja un SMS se denomina PDU la cual además de llevar la información propia del mensaje de texto, lleva otra serie de caracteres con los que se pueden hacer algunas funciones de control en la presentación del mensaje. Una de las principales ventajas que este modo presenta, es que el mensaje antes de ser enviado a la red debe pasar por un algoritmo, el cual hace una codificación a nivel de bits con lo que si el mensaje se intenta leer no podrá ser interpretado a primera vista.

Los mensajes enviados desde la interfaz de usuario en J2ME hacia la TCL, son mensajes que contienen los requerimientos del usuario de configuración, control, reporte, localización o temperatura. Estos mensajes son leídos por el PIC en modo texto para poder extraer la información necesaria y ejecutar las operaciones respectivas. Por otro lado, los mensajes de notificación, confirmación o reporte, enviados desde el módem GSM de la TCL a la interfaz de usuario en J2ME, se encuentran en modo PDU, debido a que de esta manera es posible enrutar los mensajes SMS hacia un puerto específico del teléfono celular del usuario, en el cual se encuentra instalada la aplicación de administración en J2ME que está escuchando a los mensajes que arriban a este puerto y provocan su activación.

La trama PDU utilizada para el envío de mensajes SMS, denominada SMS-SUBMIT, se muestra en la Figura 8. Para cumplir con el propósito de enviar un SMS hacia un puerto específico, se tiene que indicar que existe una cabecera en el campo de datos de usuario (UD, *User Data*) adicional al mensaje propiamente dicho, y esto se logra poniendo a 1 el bit UDHI (*User Data Header Indicator*), del campo PDU-TYPE, mostrado en la Figura 8.

### C. Campo de datos de usuario UD

El campo UD contiene la parte de texto del mensaje SMS. Opcionalmente, el campo UD también puede contener una cabecera de datos de usuario (UDH, *User Data Header*) de 8 bits. El campo UDH está conformado de la longitud de cabecera de datos de usuario (UDHL, *User Data Header Length*) seguida de una secuencia de elementos de información. Los elementos de información tienen los siguientes propósitos:

- **Control de SMS.** En esta categoría, los elementos de información contienen algunas instrucciones de control de SMS tales como información de concatenación, direccionamiento

a puertos de aplicación, parámetros de control del SMSC, entre otras.

- **Objetos EMS básicos y extendidos.** En esta categoría los elementos de información contienen la definición de objetos EMS (*Enhanced Messaging Service*) tales como melodías, imágenes, animaciones, etc.

La estructura del campo UD se muestra en la Figura 9. El primer octeto del campo UDH, denominado UDHL, indica la longitud del UDH. Si el texto es codificado con 7 bits, entonces pueden ser necesarios bits de relleno entre el UDH y la parte restante del campo UD. Estos bits de relleno garantizan que el texto, el cual sigue al UDH, siempre empezará en el límite de un septeto. Esto es importante para permitir a los equipos celulares más antiguos, que no soporten el concepto de UDH, interpretar la parte de texto del mensaje.

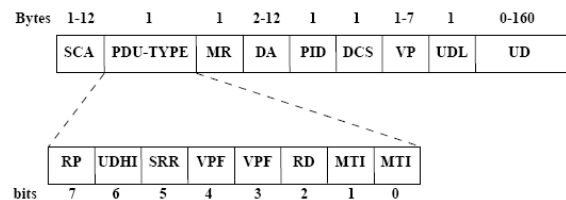


Fig. 8. Trama SMS-SUBMIT.

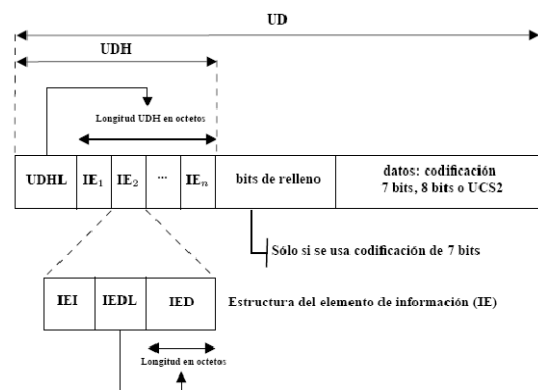


Fig. 9. Estructura del campo UD.

### D. Direccionamiento de puertos de aplicación

El direccionamiento de puertos de aplicación es una característica que permite el enrutamiento de un mensaje recibido al puerto de una aplicación identificada, la cual se encuentra corriendo en el equipo celular. El direccionamiento a puertos de aplicación puede realizarse usando dos elementos de información distintos. El primer elemento de información es usado para puertos de dirección de 8 bits mientras que el segundo elemento de información es usado para puertos de dirección de 16 bits.

Para aplicaciones con puertos de dirección de 8 bits, se usa el elemento de información mostrado en la Tabla III.

TABLA III  
ESQUEMA DE DIRECCIONAMIENTO DE PUERTOS DE APLICACIÓN,  
DIRECCIÓN DE 8 BITS.

IEI	0x04 Esquema de direccionamiento de puertos de aplicación, dirección de 8 bits
IEDL	0x02 (2 octetos)
IED	Octeto 1 <b>Puerto destino</b> Este octeto indica la dirección de 8 bits del puerto del receptor. Octeto 2 <b>Puerto origen</b> Este octeto indica la dirección de 8 bits del puerto del emisor.

TABLA IV  
ESQUEMA DE DIRECCIONAMIENTO DE PUERTOS DE APLICACIÓN,  
DIRECCIÓN DE 16 BITS

IEI	0x05 Esquema de direccionamiento de puertos de aplicación, dirección de 16 bits
IEDL	0x04 (4 octetos)
IED	Octetos 1 y 2 <b>Puerto destino</b> Estos octetos indican la dirección de 16 bits del puerto del receptor. Octetos 3 y 4 <b>Puerto origen</b> Estos octetos indican la dirección de 16 bits del puerto del emisor.

Más información respecto a las tecnologías y servicios de la mensajería móvil celular se puede encontrar en [6] e información específica referente al SMS y el formato PDU se puede encontrar en [7].

#### VII. COMUNICACIÓN CON EL MÓDULO RECEPTOR GPS

En la Figura 10 se muestra la conexión para la comunicación serial entre el microcontrolador PIC y el módulo receptor SPKGPS- GS405 cuyas principales especificaciones técnicas se presentan en la Tabla V. Se ha utilizado únicamente el pin transmisor del GPS y un pin configurado para la recepción en el microcontrolador PIC (pin 35), pues en este caso la comunicación es unidireccional ya que el microcontrolador PIC no enviará información al GPS.

La comunicación serial entre el módulo receptor GPS y el microcontrolador PIC se configuró con los siguientes parámetros, de acuerdo al protocolo de comunicación NMEA-0183, estándar definido por la *National Marine Electronics Association* (NMEA) para la comunicación entre instrumentos marinos y también receptores GPS:

- Bits por segundo: 4800
- Bits de datos: 8
- Paridad: ninguna
- Bits de parada: 1
- Control de flujo: ninguno

El microcontrolador es el encargado de analizar los mensajes NMEA-0183 provenientes del módulo receptor GPS. Específicamente se analizó el mensaje RMC (*Recommended Minimum Specific GNSS Data*) que contiene información del tiempo, fecha, posición, velocidad y rumbo, a partir de lo cual se obtienen los datos de longitud y latitud, para determinar la posición de la TCL.

La *SiRFStar III* es una tecnología que mejora considerablemente el desempeño de los receptores GPS. Sus principales ventajas son: tiempos más rápidos para determinar una posición, alta sensibilidad para adquirir

las señales de los satélites en entornos difíciles, bajo consumo de potencia para prolongar la vida de la batería. b10 m 2D RMS indica que el 98% de las lecturas del GPS se encuentran en un círculo de 10m de radio.

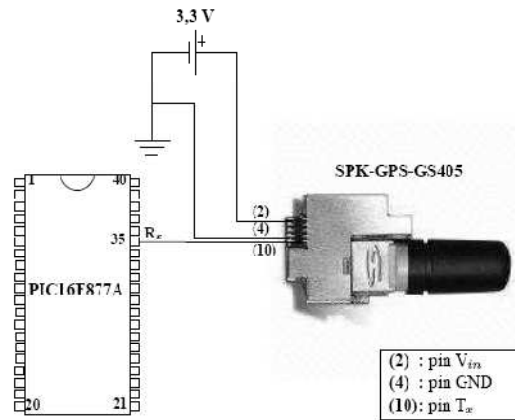


Fig. 10. Conexión entre el módulo receptor GPS y el microcontrolador PIC.

TABLA V  
ESPECIFICACIONES DEL MÓDULO RECEPTOR SPK-GPS-GS405.

	Item	Descripción
Chipset	Receptor	Tecnología <i>SiRF Star III<sup>®</sup></i>
General	Frecuencia	L1, 1575.42 MHz
	Código C/A	Tasa de chip de 1,023 MHz
	Número de canales	20
Tiempo de adquisición	Arranque en frío	42 seg. promedio
	Arranque en caliente	8 seg. promedio
Sensibilidad	Rastreo	-159 dBm
Precisión	Posicionamiento	10 m 2D RMS <sup>b</sup>
Alimentación	Voltaje de entrada	3.3V ± 5%V DC
	Consumo de potencia	inferior a 250 mW
	Consumo de corriente	~75 mA
Puerto serial	Interfaz eléctrica	Una interfaz serial full duplex UART TTL
	Mensajes de protocolo	NMEA-0183 (4800 bps) GGA, GSA, GSV, RMC /por segundo

#### VIII. INTERFAZ DE USUARIO EN J2ME

La aplicación desarrollada en el lenguaje de programación J2ME, constituye una interfaz que brinda al usuario la capacidad de configurar y administrar la TCL de una forma fácil y amigable, así como también recibir notificaciones, confirmaciones y reportes provenientes de ésta. La aplicación fue desarrollada bajo la configuración CLDC 1.0 y el perfil MIDP 2.0, explicados a continuación:

- **CLDC** (*Connected Limited Device Configuration*). Es una configuración o conjunto de APIs (*Application Programming Interface*), enfocada a una familia de dispositivos dotados de conexión y con restricciones de procesamiento y memoria, como los teléfonos celulares o PDAs.
- **MIDP** (*Mobile Information Device Profile*). Este perfil está construido sobre la configuración CLDC y establece las capacidades de un grupo más específico de dispositivos dentro de la familia definida por la configuración CLDC. MIDP está orientado a dispositivos como los teléfonos celulares

y PDAs de gama baja. Incluye APIs relacionadas con la semántica y control de la aplicación MIDP, interfaz de usuario, almacenamiento persistente, trabajo en red y temporizadores.

Las aplicaciones Java que se realizan utilizando el perfil MIDP sobre la configuración CLDC reciben el nombre de *MIDlets*. El binario de un *MIDlet* tiene la extensión *.jary* para el caso de esta aplicación su nombre es *Scl.jar* (Sistema de Control y Localización).

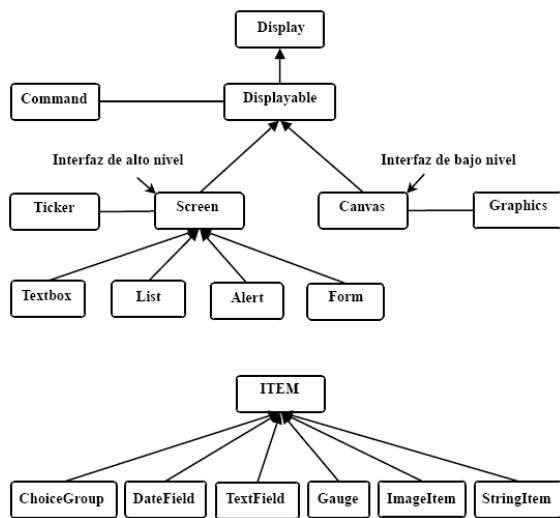


Fig. 11. Jerarquía de clases derivadas de *Displayable Item*.

Para el desarrollo de la aplicación se recurrió a las bondades de las interfaces de usuario de bajo y alto nivel definidas en J2ME, cuya jerarquía se puede ver en la Figura 11. Por lo tanto, la interfaz de usuario del sistema SCL es un conjunto de objetos de las clases *Displayable* e *Item*, entre ellos: formularios, listas y gráficos, que permiten realizar las siguientes operaciones:

1. **Autenticación de usuario.** La autenticación de usuario permite dar seguridad a la aplicación por medio de una clave que deberá ser ingresada en un formulario como el mostrado en la Figura 12, una vez que el usuario inicie la aplicación y sin la cual no podrá continuar con la visualización del menú principal presentado en la Figura 13. El valor por defecto es "123", y existen tres posibilidades de errar en la clave antes que se muestre una alerta de "Acceso Denegado" y se cierre la aplicación.

2. **Configuración.** Esta opción del menú principal despliega otro menú con las opciones de configuración del sistema SCL, las mismas que pueden apreciarse en la Figura 14 y se explican a continuación :

- **Configuración del Número del Sistema.** Permite que el usuario ingrese el número de teléfono correspondiente al módem conectado a la TCL. Además, tiene un campo para ingresar una clave de emergencia que permitirá realizar acciones de control limitadas desde un teléfono celular distinto al que contiene la aplicación J2ME. Una vez terminado el ingreso de estos dos parámetros, la aplicación procederá a enviar a la TCL el mensaje SMS respectivo con la información de configuración.

- **Configuración de etiquetas de entradas y salidas.** Permite que el usuario etiquete las entradas y salidas de la TCL, que son las que se desea controlar, con nombres familiares que le permitan tomar decisiones de control de una manera fácil.

- **Configuración de la clave de autenticación.** Permite cambiar la clave con la que se ingresa a la aplicación, cuyo valor por defecto es "123".

3. **Control del Sistema.** Permite al usuario realizar el control de las salidas de la TCL, mediante listas que le permiten seleccionar si activar o desactivar dichas salidas. Una vez que se ha terminado de seleccionar el estado de las salidas se enviará un mensaje SMS hacia la TCL con la información de control.

4. **Reporte.** Permite enviar un SMS a la TCL para solicitar información acerca del estado de las entradas y salidas de la misma.

5. **Localización.** Permite enviar un SMS a la TCL solicitando.

6. **Temperatura.** Esta opción permite enviar a la TCL un mensaje SMS solicitando la temperatura del ambiente en la que ésta se encuentra. Una vez que arribe el mensaje SMS con el valor de temperatura, se desplegará un formulario que muestra este valor en grados centígrados.

7. **Notificaciones.** Las notificaciones corresponden a los mensajes SMS que envía la TCL hacia la aplicación *Scl.jar* y que permiten que ésta se active automáticamente. Éstas contienen información de un cambio en alguna de las entradas o las respuestas a cada una de las solicitudes realizadas con las opciones del menú principal de la aplicación.

#### A. Wireless Messaging API (WMA)

La APIWMA es una extensión de las especificaciones CLDC y MIDP para el envío, la recepción y la gestión de SMS desde *MIDlets*.

Esta API está compuesta exclusivamente de interfaces ubicadas bajo el paquete *javax.wireless.messaging* es parte fundamental para el desarrollo de la interfaz de usuario del SCL, puesto que gracias a ella se logró controlar y configurar la TCL a través de mensajes SMS y además fue posible recibir la información proveniente desde ésta, para su procesamiento y poder mostrarla al usuario de una manera amigable.

#### B. La API PushRegistry

La API *PushRegistry* permite la ejecución de *MIDlets* sin intervención del usuario. Un *MIDlet* puede ser iniciado de dos formas:

- A través de una alarma o temporizador, y
- A través de una conexión entrante que puede ser una conexión TCP, un datagrama UDP o un SMS.

Esta API tiene como corazón la clase *javax.microedition.io.PushRegistry* y permite que la aplicación *Scl.jar* se active únicamente cuando arriben mensajes provenientes de la TCL, puesto que ésta envía los mensajes a un puerto específico en el que se encuentra escuchando la aplicación. Estos mensajes no podrán ser leídos como mensajes SMS regulares,

proveyendo a su vez de mayor seguridad a la información de control y localización.



Fig. 12. Formulario de autenticación de la aplicación *Scl.jar* instalada en un teléfono celular Nokia N95 8G.



Fig. 13. Menú Principal de la aplicación *Scl.jar*.



Fig. 14. Formulario con las opciones de configuración del sistema SCL.



Fig. 15. Formulario de posición de la aplicación *Scl.jar*.

### IX. IMPLEMENTACIÓN DEL SCL

En la Figura 17 se puede observar la TCL implementada y en la Figura 18 se puede observar el dispositivo de control y localización que contiene en su interior a la TCL, así como el menú principal de la aplicación J2ME corriendo en un teléfono celular Nokia N95.



Fig. 16. Pantalla del mapa de la ESPE con el resultado de una solicitud de localización.

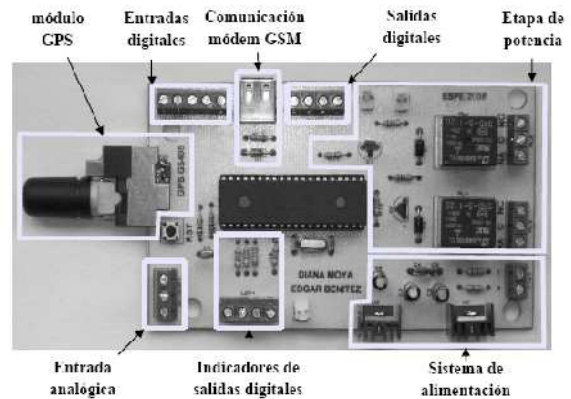


Fig. 17. Circuito implementado de la TCL.



Fig. 18. Sistema de Control y Localización.

## X. CONCLUSIONES

El formato de envío de mensajes SMS mediante tramas PDU, permite enviar información de control, adicional al texto del mensaje propiamente dicho, tal es el caso del direccionamiento del mensaje SMS hacia un puerto de aplicación específico, de manera que pueda activar una aplicación residente en el teléfono celular del usuario. Esta característica ha permitido dotar de amigabilidad al *MIDlet Scl.jar* en la interacción con el sistema.

La implementación del prototipo con salidas de potencia incorporadas, es una gran ventaja respecto a sistemas de control similares que sólo disponen de salidas digitales y dejan a cargo del usuario adecuar estas salidas a una etapa de potencia mediante el uso de relés o dispositivos que cumplan con el mismo propósito.

La API *PushRegistry* tiene disponible a partir del perfil MIDP 2.0 y permite activar *MIDlet* sin la intervención del usuario, ya sea a través de una conexión entrante o mediante la configuración de alarmas. Esto brinda la posibilidad de desarrollar una gran cantidad de aplicaciones que hagan uso de esta API, como es el caso de este proyecto.

La API *PushRegistry*, provee a la aplicación *Scl.jar* de total interactividad con la TCL, permitiendo al usuario recibir notificaciones y confirmaciones sobre los cambios en el estado del sistema de manera amigable, sin emplear códigos que tenga que memorizar.

La API WMA permite implementar el envío y recepción de mensajes SMS desde y hacia la aplicación J2ME, siendo este medio de comunicación, tan extendido y aceptado por los suscriptores de telefonía celular, la base del presente proyecto.

Es importante considerar que las operaciones de control y localización de este prototipo no se realizan en tiempo real, debido a que dependen de los retardos en la transmisión de los mensajes SMS dentro de la red GSM y la congestión en la misma.

## REFERENCIAS

- [1] World Cellular Information Service, Subscriptions by Technology, [http://www.wcisdata.com/newt/1/wcis/research/subscriptions by technology.html](http://www.wcisdata.com/newt/1/wcis/research/subscriptions%20by%20technology.html), Agosto 2008.
- [2] SPK Electronics Co., Ltd., SPK-GPS-GS405 Smart antenna, [www.spkecl.com/manufacturer/18278/18278.html](http://www.spkecl.com/manufacturer/18278/18278.html).
- [3] Microchip Technology Inc., PIC16F877A, [www.microchip.com/www.products/Devices.aspx?dDocName=en010242](http://www.microchip.com/www.products/Devices.aspx?dDocName=en010242), Octubre 2003.

- [4] Sony Ericsson, Developers Guide AT Commands Online Reference, [developer.sonyericsson.com/util/SearchCMS.do?criteria=commands](http://developer.sonyericsson.com/util/SearchCMS.do?criteria=commands), Octubre 2004.
- [5] Eveliux, Comandos AT, [eveliux.com/mx/index2.php?option=comcontent&do\\_pdf=1&id=150](http://eveliux.com/mx/index2.php?option=comcontent&do_pdf=1&id=150), Julio 2007.
- [6] Le Bodic, Gwenaël, Mobile Messaging Technologies and Services-SMS, EMS and MMS, Segunda Edición, John Wiley & Sons, Ltd, Inglaterra 2005.
- [7] DreamFabric, SMS and the PDU format, [www.dreamfabric.com/sms/](http://www.dreamfabric.com/sms/), Enero 2005.

# Análisis del desempeño de una red Ad-Hoc inalámbrica móvil MANET, empleando el software NS 2.32 bajo el estándar IEEE 802.15

Johanna Gavidia, Román Lara y Gonzalo Olmedo

**Resumen**— En este artículo se realiza el análisis de una Red Ad-Hoc MANET Móvil bajo el estándar IEEE 802.15.4 utilizando Network Simulator 2.32 (NS) en función del *Throughput* y el Tiempo Medio parametrizados por el número de nodos para una frecuencia de 2,4 GHz y una tasa de transmisión de 250 kbps. En el canal es usado el modelo de propagación de dos rayos.

**Palabras clave**— IEEE 802.15.4, Ad-Hoc, *Throughput*, Delay.

## I. INTRODUCCIÓN

UNA de las fases importantes en el desarrollo de proyectos de ingeniería es la simulación, ya que es una herramienta útil que permiten realizar pruebas antes de una implementación, facilitando su comprensión y detectando fallas de diseño.

El software utilizado para llevar a cabo las diferentes simulaciones realizadas en el presente trabajo es el NS 2.32, el mismo que ha sido diseñado para la investigación de redes tanto alámbricas, como inalámbricas, especializándose en el estudio de protocolos de transporte, aplicación, sesión, algoritmos de encaminamiento y control de congestión [1].

Durante los últimos años, se han realizado grandes esfuerzos en investigación en el campo de la redes móviles ad-hoc (MANET) [2], las mismas que son redes inalámbricas sin infraestructura, sin puntos de acceso, donde cada nodo hace el papel a la vez de nodo final y de ruteador, llamadas redes inalámbricas multi-salto (multi-hop).

El estándar 802.15 se especializa en el estudio de las redes inalámbricas área personal (WPAN) [3]. Dentro de este estándar existen cinco subdivisiones. En este trabajo analizamos el estándar 802.15.4 debido a las bondades que brinda para redes inalámbricas en ambientes caseros y en la industria preservando la vida útil de las baterías de los diferentes dispositivos por más tiempo, presentando un bajo consumo de energía, bajo poder y bajos costos. Al referirse a las aplicaciones de automatización residencial actualmente se cuenta con varios equipos a control remoto, desde televisores, teatros casa, DVD's, computadoras, impresoras, etc. El estándar *ZigBee* está

diseñado para satisfacer las especificaciones de estas aplicaciones sobre el estándar 802.15.4. Su función principal es proporcionar comunicaciones inalámbricas con bajas tasas de transmisión, bajo costo y bajo consumo de energía [4].

En este artículo se analizó el comportamiento de una red MANET mediante la implementación de nodos móviles empleando el estándar IEEE 802.15.4, en función del *Throughput* y del Tiempo Medio.

Este artículo está organizado de la siguiente manera. En la sección II está descrito el estándar IEEE 802.15.4. En la sección III describe los escenarios de simulación. Finalmente el análisis de resultados y las conclusiones son presentados en la sección IV y V, respectivamente.

## II. ESTÁNDAR IEEE 802.15.4

El estándar IEEE 802.15.4 fue creado en Diciembre del 2004, este se encarga de definir un protocolo de interconexión para dispositivos de comunicación de datos con baja tasa de datos, baja potencia y baja complejidad. El IEEE 802.15.4 se caracteriza principalmente por que define el nivel físico (PHY) y el control de acceso al medio (MAC) y de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos (LR-WPAN) [5].

Este estándar tiene la capacidad de operar en redes de gran densidad, esta característica ayuda a aumentar la confiabilidad de la comunicación, ya que entre más nodos existan dentro de una red, mayor es el número de rutas alternas que existirán para garantizar que un paquete llegue a su destino [6].

En la Fig. 1 se observa la arquitectura del estándar IEEE 802.15.4. La capa de más bajo nivel es la capa física (PHY), que en conjunto con la capa de acceso al medio (MAC), brindan los servicios de transmisión de datos por el aire, punto a punto. La capa de red (NWK) permite el correcto uso del subnivel MAC y ofrecer una interfaz adecuada para su uso por parte de la capa de aplicación. La siguiente capa es la de soporte a la aplicación que es el responsable de que el nodo se mantenga filtrando paquetes a nivel de aplicación. En el nivel conceptual más alto se encuentra la capa de aplicación que no es otra cosa que la aplicación misma y de la que se encargan los fabricantes [6]. El IEEE 802.15.4 trata las especificaciones de las dos capas inferiores, mientras que la Alianza *ZigBee* se encarga de la especificación de las capas superiores (Capa de Red y la Capa de Aplicación) de la pila del protocolo.

Johanna Gavidia, Román Lara y Gonzalo Olmedo, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Departamento de Electrónica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército, ESPE, Sangolquí, Ecuador, E-mails: joa\_gavidia@hotmail.com, ralara@espe.edu.ec, gfolmedo@espe.edu.ec

### A. Capa Física

Esta capa se basa principalmente en métodos de secuencia directa de espectro extendido (DSSS), las dos capas PHY comparten la misma estructura básica de paquetes y la principal diferencia entre ellas es la banda de frecuencias, la PHY de 2,4 GHz se maneja en todo el mundo, permite un rango de transmisión de 250 kbps soporta 16 canales y opera en la banda médica, industrial y científica (ISM), ofrece costos de manufactura mas bajos, utiliza O-QPSK, tasa de símbolo de 62,5 (ksímbolos/s).

La PHY de 868/915 MHz, la de 868 MHz disponible para Europa, con una tasa de transmisión de 20 kbps soporta un solo canal y la de 915 MHz para EEUU soporta 10 canales, tiene una tasa de transmisión de 40 kbps, ofrece una solución a la congestión y las interferencias utiliza BPSK y CSMA-CA para múltiple acceso [7].

Capas Superiores de la 3 a la 7 del Modelo OSI	
IEEE 802.15.4 LLC	Otras LLC
IEEE 802.15.4 MAC	
IEEE 802.15.4 868/915 MHz PHY	IEEE 802.15.4 2400 MHz PHY

Fig. 1. Arquitectura del IEEE 802.15.4.

El estándar IEEE 802.15.4 fue creado en diciembre del 2004, este se encarga de definir un protocolo de interconexión para dispositivos de comunicación de datos con baja tasa de datos, baja potencia y baja complejidad. El IEEE 802.15.4 se caracteriza principalmente por que define el nivel físico (PHY) y el control de acceso al medio (MAC) y de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos (LR-WPAN) [5].

### B. Capa MAC

La capa MAC controla el acceso al canal de comunicación, el flujo a través de reconocimientos y retransmisiones. Se caracteriza por la asociación y la disociación, reconocimientos de entrega de trama, mecanismos de acceso al canal, validación de trama, garantía del manejo de las ranuras de tiempo, y manejo de guías.

El estándar ZigBee define dos tipos de dispositivos, FPD (*Full FunctionDevice*), y RFD (*ReducedFunctionDevice*). Una WPAN se forma cuando al menos dos dispositivos se comunican con un

dispositivo que actúa como FPD asumiendo el papel de un coordinador. Hay tres tipos de mecanismos de transferencia de datos entre los dispositivos de ZigBee: a partir de un coordinador a un dispositivo, de un dispositivo a un coordinador y entre los dispositivos, este tipo de comunicación es la que se utiliza en las simulaciones realizadas en el presente trabajo de investigación [8].

### III. ESCENARIOS DE SIMULACIÓN

En la Tab.I se observa las características principales de cada escenario así como el número de nodos móviles de las ocho simulaciones realizadas, los datos que se describen en el número de enlaces son correspondientes a cada uno de los datos que se tiene en número de nodos móviles es decir, la simulación de 6 nodos posee 2 enlaces en los que se realiza transmisión y recepción de paquetes. Cabe recalcar que el tiempo de simulación es el mismo para todos los escenarios.

TABLA I  
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS ESCENARIOS

Número de nodos móviles	[6 12 26 40 54 70 84 100]
Protocolo de Enrutamiento	AODV
Modelo de Propagación	TwoRayGround
Tasa de Transmisión	250 kbps
Frecuencia de Transmisión	2,4 GHz
Número de Enlaces	[2 5 13 14 27 30 41 45 ]
Distancia media antes del movimiento	10 m
Tipo de Tráfico	FTP
Tiempo de Simulación	300 segundos

### IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### A. Throughput de la red vs. Número de Nodos

El *throughput* de la red,  $\eta$ , es la relación entre el número de bytes enviados y el tiempo total de simulación, y es obtenido usando la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{8Ne}{\tau} \left[ \frac{bits}{s} \right], \quad (1)$$

donde  $\eta$  es el  $Ne$  el número de bytes enviados y  $\tau$  el tiempo total de simulación.

#### B. Throughput real de la red vs. Número de Nodos

El *throughput* Real,  $\eta'$ , se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\eta' = \frac{Ne(1-r)}{\tau}, \quad (2)$$

donde  $r$  es la relación entre el número de paquetes perdidos y el número de paquetes enviados.

En la Fig.2 se observa la gráfica resultante de la relación entre el *throughput* real y el número de nodos, donde se observa que *throughput* real se incrementa con el número de nodos ya que cada nodo que ingresa incrementa datos a ser transmitidos en la red.

### C. Throughput normalizado vs. Número de Nodos

El *throughput* normalizado de la red es la relación entre el *throughput* real y el *throughput* de la red, y es dado por la siguiente expresión:

$$\frac{\eta'}{\eta} = 1 - r \quad (3)$$

La Fig. 3 muestra el *throughput* normalizado en función del número de nodos y el resultado muestra que la tasa real de transmisión considerando los paquetes perdidos, tiende a mantenerse alrededor del 89% de la tasa de transmisión.

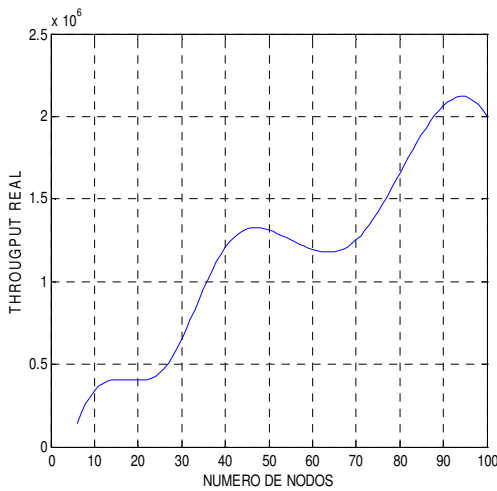


Fig. 2. Throughput Real vs. Número de nodos

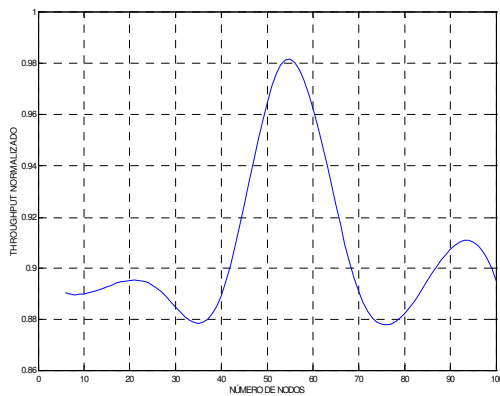


Fig. 3. Throughput Normalizado vs. Número de Nodos

### D. Throughput real vs. Número de Nodos que Transmiten

Para obtener este parámetro se divide el *throughput* real de cada simulación para el número de nodos que se encuentran transmitiendo.

La Fig. 4 muestra que el *throughput* real presenta el mejor desempeño en la región que corresponde a 40 nodos, debido a que el sistema se estabiliza en esta región por el modelo de acceso utilizado CSMA (*CarrierSenseMultiple Access*). También se puede observar que a partir de 60 nodos la interferencia producida entre los nodos al trabajar con DSSS hace que disminuya fuertemente el *throughput*.

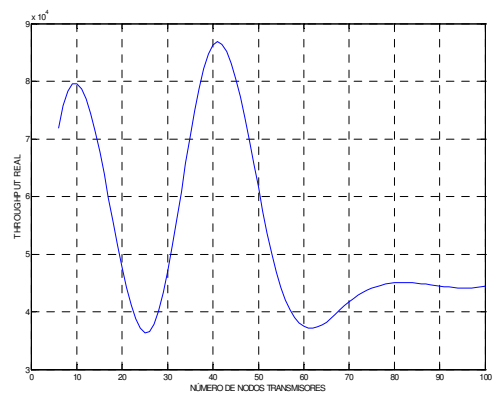


Fig. 3. Throughput real vs. Número de nodos que transmiten

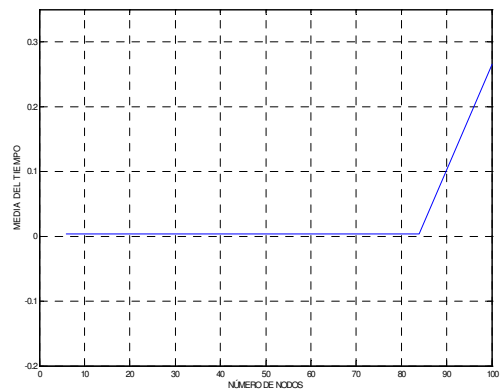


Fig. 4. Tiempo Medio vs. Número de Nodos

### E. Tiempo Medio vs. Número de Nodos

Para cada escenario se calculó el valor medio de los retrasos de transmisión, considerando varios enlaces al mismo tiempo. La Fig. 5 muestra la relación entre el tiempo medio de transmisión y el número de nodos. Se puede observar que el sistema se comporta eficientemente hasta un máximo de 80 nodos, a partir de este punto la curva tiende a una subida extrema.



## V. CONCLUSIONES

El estándar 802.15.4 representa actualmente la mejor solución para dispositivos que necesitan de bajo consumo de energía, como sensores y controladores. En el presente artículo fue analizado el estándar 802.15.4 en una red móvil, considerando una frecuencia de transmisión de 2,4 GHz y una tasa de transmisión de 250 kbps. Los resultados del *throughput* por número de nodos de transmisión mostraron que el sistema se desempeña eficientemente en un 90% con una media de 40 nodos transmitiendo a la vez, debido al sistema de acceso utilizado por el estándar. Adicionalmente, el tiempo medio de transmisión mostró que el sistema en movilidad se comporta eficientemente con un máximo de 80 nodos.

## REFERENCIAS

- [1] The Network Simulator, ns-2, feb. 2009.
- [2] Mobile Ad-hoc Networks working group, <http://www.ietf.org/>, feb. 2009
- [3] Introducción a las WPAN's, <http://catarina.udlap.mx/>, marzo 2009.
- [4] Dr. José A. Gutierrez, "IEEE Std. 802.15.4 Enabling Pervasive Wireless Sensor Networks", 25 de Febrero del 2009.
- [5] Estándar IEEE 802.15.4, [www.catarina.udlap.mx/](http://www.catarina.udlap.mx/), feb.2009.
- [6] Valverde Rebaza Jorge Carlos, "El Estándar Inalámbrico ZigBee", Trujillo, Perú, 2007.
- [7] T.H. Woon and T.C. Wilson Wan, "Performance Evaluation of IEEE 802.15.4 Ad Hoc Wireless Sensor Networks: Simulation Approach, Taipei", Taiwan Octubre 8 del 2006,
- [8] Khaled Shuaib, Maryam Alnuaimi, Mohamed Boulmalf, Imad Jawhar, Farag Sallabi and Abderrahmane Lakas, "Performance Evaluation of IEEE 802.15.4: Experimental and Simulation Results", UAE University.

# Diseño y simulación de una red WiMAX para el campus de la Escuela Politécnica del Ejército

Tatiana Apolo, Edwin Amaguaña, Román Lara y Gonzalo Olmedo

**Resumen—** En este artículo se realiza el diseño de una red con tecnología WiMAX bajo el estándar IEEE802.16-2004, a partir de un estudio topográfico del campus de la Escuela Politécnica del Ejército y la simulación de la red. Se determina el área de cobertura y el tráfico generado en distintos escenarios de propagación de la señal .

**Palabras clave—** WiMAX, IEEE 802.16-2004, SUI, FreeSpace, Shadowing, SIRENET, NETWORK SIMULATOR.

## I. INTRODUCCIÓN

DEBIDO al desarrollo que han alcanzado las nuevas tecnologías, han traído consigo la evolución de las comunicaciones inalámbricas, las mismas que han demostrado ser una solución eficaz en aquellos lugares en donde el cable es inaccesible o muy costoso.

En los últimos años se han planteado diferentes expectativas en torno al acceso de banda ancha de última milla. El cableado representa altos costos de instalación especialmente en áreas rurales o geográficamente inaccesibles. Dichas limitaciones tecnológicas y topográficas, unidas a la rápida adopción del acceso a Internet por parte del usuario, promovieron el desarrollo del estándar inalámbrico WiMAX (*WorldwideInteroperabilityforMicrowave Access*) para llegar a un mayor número de usuarios y que proporcione la introducción de nuevos y mejores servicios de telecomunicaciones [1].

En el proyecto se emplearon Sirenet[2] y Network Simulator-2 [3]. En la sección II, se describe la Tecnología WiMAX; la sección III, los Modelos de Propagación; la sección IV, se presenta un Estudio Topográfico del Campus de la ESPE; la sección V, Diseño de la Red WiMAX; la sección VI, Simulación y Análisis de Cobertura; finalizando con conclusiones del artículo en la sección VII.

## II. TECNOLOGÍA WiMAX

WiMAX permite el acceso de banda ancha sin cables en última milla, como alternativa al cable y a otras tecnologías inalámbricas como el Wi-Fi. Esta tecnología permite la conectividad entre puntos fijos, móviles y

portátiles, y la conectividad móvil de banda ancha sin necesidad de tener línea de vista con la estación base.

La tecnología inalámbrica 802.16-2004 ofrece velocidades de banda ancha para un área metropolitana, utiliza las bandas de 3,5 GHz y 10,5 GHz, válidas internacionalmente, que requieren licencia, y las de 2,4 GHz y 5,450-5,825 GHz que son bandas libres.

El tipo de modulación empleado para el protocolo IEEE 802.16 constituye la multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM). La modulación OFDM posee muchas ventajas frente a otras modulaciones. La forma de onda WiMAX OFDM permite la operación en entornos con un gran retardo de dispersión que caracteriza a los ambientes NLOS. Debido a los símbolos de tiempo OFDM y al uso de los prefijos cíclicos, la onda OFDM elimina problemas de interferencia intersimbólica (ISI), superar la dispersión de retardo y el efecto multi-camino de forma eficaz, lo cual permite tener mayores tasas de transferencias.

Una de las ventajas que proporciona WiMAX constituye su alta tasa de transferencia ya que teóricamente es de 70 Mbps y real 40 Mbps, a distancias de hasta 50 kilómetros de una estación base en ambientes sin obstrucciones, con línea de vista o planos.

## III. MODELOS DE PROPAGACIÓN

A fin de determinar el comportamiento de la red, para la simulación fueron definidos tres modelos de propagación, presentados a continuación:

### A. Modelo SUI

El modelo SUI (*Stanford University Interim Models*), es una extensión del modelo de canal desarrollado por AT&T[4], es recomendado por el estándar IEEE 802.16 para la estimación de cobertura en sistemas WiMAX.

Para calcular las pérdidas que se producen en el nivel de la señal debido a la propagación en un ambiente determinado se tiene la siguiente expresión:

$$P_L = A + 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + s \quad (1)$$

donde  $P_L$  representa las pérdidas en dB del nivel de la señal,  $A$  es una cantidad fija que representa la interferencia producida por la pérdida en *FreeSpace* y está dada por:

$$A = 20 \log\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right) \quad (2)$$

---

Tatiana Apolo, Edwin Amaguaña, Román Lara y Gonzalo Olmedo, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Departamento de Electrónica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército, ESPE, Sangolquí, Ecuador, E-mails: ralara@espe.edu.ec, gfolmedo@espe.edu.ec.

donde  $\lambda = \frac{c}{f}$  es longitud de onda,  $c$  representa la velocidad de la luz, la frecuencia  $f$  está dada en Hz, y  $d_0$  es una distancia de referencia escogida entre 100 y 1000 m.

En (1)  $\gamma$  es el coeficiente de pérdida de trayectoria que es la variable aleatoria Gaussiana que representa la cantidad de macro-celdas dentro de una categoría de terreno, dada por:

$$\gamma = \left( a - b h_b + \frac{c}{h_b} \right), \quad (3)$$

donde  $h_b$  representa la altura de la antena de estación base, cuyo rango se encuentra entre  $10 \text{ m} < h_b < 80 \text{ m}$ .  $a, b$  y  $c$  que son constantes que dependen del tipo de terreno y se presentan en la tabla I.

TABLA I  
PARÁMETROS DEL MODELO DE PROPAGACIÓN SUI

PARÁMETRO DEL MODELO	CATEGORÍA DE TERRENO		
	A (Colinas pequeñas / Moderada a alta densidad de árboles)	B (Ligera densidad de árboles o llano / Moderada densidad de árboles)	C (Plano / Ligera densidad de árboles)
a (adimensional)	4,6	4,0	3,6
b (en $\text{m}^{-1}$ )	0,0075	0,0065	0,0050
c (en m)	12,6	17,1	20,0

### B. Modelo de Propagación en espacio libre (FreeSpace)

El modelo *Free Space* básicamente representa el rango de comunicación como un círculo de radio  $d$ , alrededor del transmisor. Si un receptor se encuentra dentro del círculo, éste recibe todos los paquetes, de otra forma éste pierde todos los paquetes [3].

En condiciones de propagación el espacio libre la relación entre la potencia recibida y la transmitida (pérdida de transmisión) por dos antenas separadas una distancia des:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}, \quad (4)$$

donde  $P_t$  es la potencia de la señal de transmisión  $G_t$  y  $G_r$  son las ganancias de las antenas receptoras y respectivamente.  $L$  es la pérdida aleatoria del sistema donde ( $L \geq 1$ ).

El modelo de propagación en espacio libre representa un modelo ideal relacionado con las condiciones de propagación en el vacío, por lo que en un entorno terrestre no es muy aplicado, debido a que la curvatura de la tierra, la atmósfera y la ionosfera alteran las condiciones de propagación para enlaces reales; sin embargo resulta muy adecuado para conocer las características mínimas requeridas por los equipos para realizar los enlaces.

### C. Modelo de Propagación Shadowing

Los resultados que se obtienen con el modelo *Shadowing*, se acerca más a la realidad ya que simula tanto los desvanecimientos provocados por obstáculos así como la propagación multi-camino que se tienen en recepción, logrando de esta manera resultados más fiables y precisos.

En este modelo la potencia a una determinada distancia es un variable aleatoria, debido al efecto de propagación multi-trayecto, el cual es también conocido como efecto de desvanecimiento.

El modelo *Shadowing* está formado por dos partes. La primera se la conoce como pérdida de propagación y predice el valor principal de potencia en recepción a una distancia  $d$ , que en este caso se denota con  $\overline{P_r(d)}$ . Esta emplea una distancia  $d_0$  como referencia. En (5) se muestra la relación entre  $\overline{P_r(d)}$  y  $P_r(d)$ .

$$\frac{P_r(d_0)}{P_r(d)} = \left( \frac{d}{d_0} \right)^\beta, \quad (5)$$

donde  $\beta$  es el exponente de pérdida de propagación, y es determinada de forma empírica de acuerdo a mediciones de campo, cuyos valores referenciales se pueden observar en la tabla II, de acuerdo al tipo de entorno en donde se realicen las pruebas.

TABLA II  
VALORES TÍPICOS DEL EXPONENTE B PATHLOSS

Ambiente	$\beta$
Espacio Libre	2
Área urbana con sombra	2,7 a 5
Línea de vista	1,6 a 1,8
Obstrucción	4 a 6

La segunda parte del modelo *Shadowing* refleja la variación de la potencia de recepción a una determinada distancia como se observa en (6). Esta es una variable aleatoria log-normal, esto es una distribución Gaussiana si es medida en dB. El modelo de propagación de *Shadowing* es representado por:

$$\left[ \frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right]_{\text{dB}} = -10\beta \log \left( \frac{d}{d_0} \right) + X_{\text{dB}}, \quad (6)$$

donde  $X_{\text{dB}}$  es una variable con media igual a cero y desviación estándar  $\sigma_{\text{dB}}$ , la misma que es obtenida a través de mediciones de acuerdo al medio de propagación en el que se proyecte la señal transmitida.

En la tabla III, se muestran los valores típicos que puede asumir la desviación estándar  $\sigma_{\text{dB}}$  o *shadowing*.

TABLA III  
VALORES TÍPICOS DE DESVANECIMIENTO

Ambiente	$\sigma_{dB}$ (dB)
Ambientes exteriores	4 a 12
Oficina con alta ocupación	7
Oficina con baja ocupación	9,6
Industrial con línea de vista	3 a 6
Industrial con obstáculos	6,8

#### IV. ESTUDIO TOPOGRÁFICO DEL CAMPUS DE LA ESPE

##### A. Reconocimiento del entorno del campus de la ESPE

Para el desarrollo del proyecto resultó fundamental el estudio del entorno del campus de la Escuela Politécnica del Ejército en el cual se determinaron los parámetros topográficos y la infraestructura de la misma, que permitieron obtener resultados coherentes en las simulaciones.

##### B. Delimitación de la zona de cobertura

Con la ayuda del GPS Meridian 211836B, el cual cuenta con una precisión de  $\pm 3$  metros, se determinaron las coordenadas geográficas de los puntos extremos del campus politécnico. La tabla IV muestra las coordenadas de los límites establecidos y en la figura 1 se presenta la panorámica del campus que obtenida con la herramienta computacional Google Earth, donde la zona de cobertura tiene un área aproximada de 3,8 hectáreas y un radio aproximado de 400m.

TABLA IV  
COORDENADAS DE LOS LÍMITES DE LA ESPE

	COORDENADAS	
	Latitud	Longitud
Entrada de la ESPE	0°18'53''S	78°26'33''O
Capilla	0°18'43''S	78°26'41''O
Transportes	0°19'10''S	78°26'44''O
Mecánica	0°18'49''S	78°26'51''O

##### C. Determinación de parámetros topográficos de lugares estratégicos

Para el diseño de la red fue necesario determinar puntos estratégicos en los cuales se colocarán los equipos, para lo cual se establecieron quince de ellos con el fin de brindar la cobertura a todo el campus politécnico.

Dichos puntos corresponden a los edificios y construcciones de cada uno de los departamentos académicos, así como a los sectores administrativos, de logística y de recreación a los que se desea brindar todos los servicios aplicables a la red diseñada. En la figura 2 se observa la ubicación de cada dependencia perteneciente al campus politécnico y en la tabla V se presentan sus coordenadas geográficas y alturas respectivas.

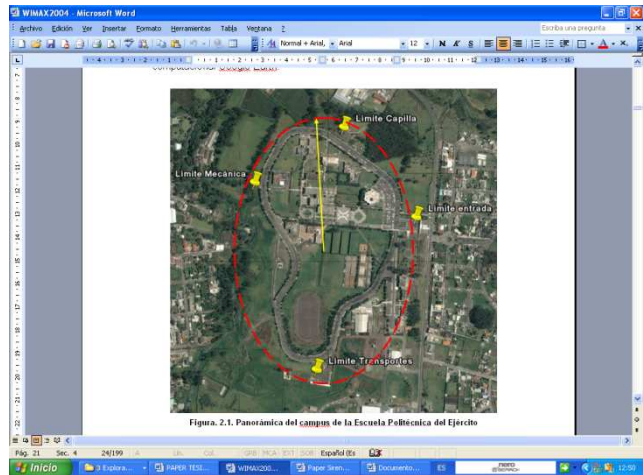


Fig. 1. Límites establecidos para el estudio del campus Politécnico

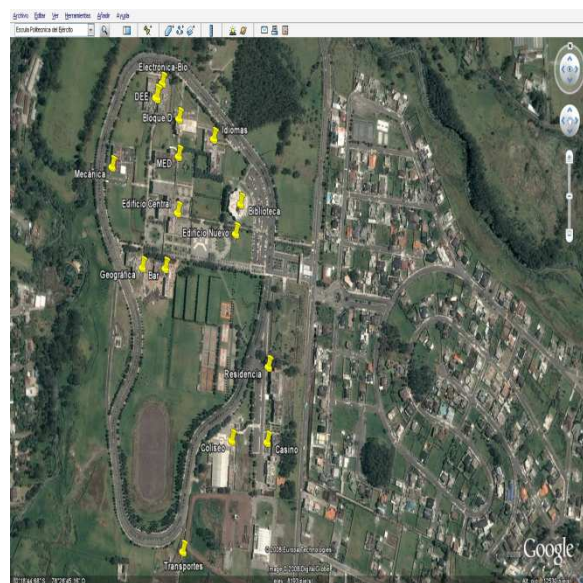


Fig. 2. Ubicación de las dependencias de la ESPE

TABLA V  
ALTURAS Y COORDENADAS DE LAS DEPENDENCIAS DE LA ESPE

			COORDENADAS	
			Latitud	Longitud
1	Edificio Administrativo	22	0°18'52''S	78°26'38''O
2	Bar	6	0°18'54''S	78°26'44''O
3	Biblioteca	8	0°18'51''S	78°26'38''O
4	Bloque D	10	0°18'46''S	78°26'43''O
5	Departamento de Eléctrica y Electrónica	5	0°18'45''S	78°26'45''O
6	Ed. Central	10	0°18'51''S	78°26'43''O
7	Elect.-Biotec.	5	0°18'45''S	78°26'45''O
8	Geográfica	7	0°18'54''S	78°26'46''O
9	Idiomas	6	0°18'47''S	78°26'40''O
10	Mecánica	7	0°18'49''S	78°26'49''O
11	Residencia	10	0°18'59''S	78°26'35''O
12	Coliseo	5	0°19'03''S	78°26'38''O
13	Casino	8	0°19'03''S	78°26'35''O
14	MED	10	0°18'48''S	78°26'43''O
15	Transportes	3,5	0°19'09''S	78°26'42''O

A. Identificación de zonas con mayor demanda del servicio

Para determinar la capacidad de los equipos a instalar fue necesario realizar un estudio de la demanda del servicio a ser proporcionado por el sistema WiMAX de acuerdo con la zona de cobertura.

A través del dimensionamiento del tráfico del sistema se pudo tener una idea más clara del ancho de banda a emplearse y de algunos parámetros relacionados con los equipos.

Para la determinación del tráfico de la red fue necesario el establecer un número de usuarios potenciales por edificio, tomando en cuenta los datos actuales de personas que tienen acceso a un computador en las diferentes dependencias dentro de los edificios y realizando una proyección adecuada de las personas que emplearán este sistema inalámbrico.

Para obtener una estimación del ancho de banda que proporcionará el sistema WiMAX se realizó un estudio independiente del tráfico que se va a generar en cada edificio, considerando que el ancho de banda entregado por el sistema no se divide para el número de estaciones subscriptoras.

En la figura 3 se puede tener una visión más clara de la estimación del número de personas (por edificación) que utilizan computadores personales en el campus politécnico.

La tabla. VI. muestra la relación existente entre la simbología de la gráfica y la densidad de usuarios que en la actualidad se encuentran utilizando servicios que abarcará la red WiMAX, de acuerdo a cada edificación. Los edificios con mayor número de personas que en la actualidad emplean PC's son: edificio Administrativo, Central, Biblioteca y MED, sobre los cuales se debe poner especial interés ya que son los puntos más importantes en cuanto al tráfico generado y para establecer un ancho de banda requerido para el correcto funcionamiento del sistema WiMAX.

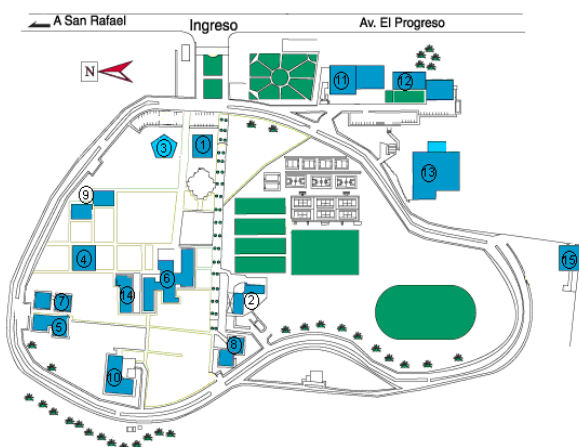


Fig. 3. Esquema del Campus Politécnico de la ESPE

No	Edificio	Personas / edificio
1	Edificio Administrativo	220
2	Bar	24
3	Biblioteca	240
4	Bloque D	60
5	Departamento de Eléctrica y Electrónica	80
6	Edificio Central	235
7	Electro-Biotecnología	24
8	Geográfica	24
9	Idiomas	45
No	Edificio	Personas / edificio
10	Mecánica	20
11	Residencia	180
12	Casino	24
13	Coliseo	45
14	MED	230
15	Transportes	10

Una vez determinadas las zonas con mayor requerimiento del sistema, se procedió al cálculo de los distintos tipos de tráfico de acuerdo al número de usuarios. [4].

Para el análisis del tráfico total en sentido descendente (*downlink*) o ascendente (*uplink*) de cada edificación, se consideraron diferentes tipos de tráfico como: Acceso a la Red Internet, Transmisión de datos, Voz sobre IP, Servidores Web y Videoconferencia y se obtiene con las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}
 Total\ uplink &= 0,7 * \sum \text{flujos ascendente s/usuario potencial (internet)} \\
 &+ \sum \text{Tráfico (datos)} + \sum \text{Tráfico (Voz sobre IP)} \\
 &+ \text{Flujos ascendente s/sector (Servidores Web)} \\
 &+ \text{Tráfico (Videoconferencia)}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 Total\ downlink &= 0,7 * \sum \text{flujos descendente /usuario potencial (internet)} \\
 &+ \sum \text{Tráfico (datos)} + \sum \text{Tráfico (Voz sobre IP)} \\
 &+ \text{Flujos descendente/sector (Servidores Web)} \\
 &+ \text{Tráfico (Videoconferencia)}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

donde 0,7 representa el 70% de los usuarios potenciales, es decir es el porcentaje de proyección de la demanda.

En la tabla. VII. se presenta un resumen de los resultados obtenidos del tráfico total empleando (7) y (8) tanto *paradownlink* como *ouplink* de cada edificio.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla. VII. se encuentra que el mayor tráfico se encuentra en la Biblioteca (9,83Mbps), lo que permite determinar las velocidades de transmisión necesarias que deben brindar los equipos a adquirir para una futura implementación de la red WiMAX en el campus politécnico.

TABLA VI

TABLA. VII.  
RESULTADOS DEL TRÁFICO POR CADA EDIFICIO

Edificio	Total downlink (Mbps)	Total uplink (Mbps)
Edificio Nuevo	9,19	7,04
Bar	2,54	4,60
Biblioteca	9,83	7,25
Bloque D	3,74	5,04
Departamento de Eléctrica y Electrónica	4,39	5,25
Edificio Central	9,67	7,20
Electrónica Biotecnología	2,54	4,60
Geográfica	2,54	4,60
Edificio	Total downlink (Mbps)	Total uplink (Mbps)
Idiomas	3,26	4,88
Mecánica	2,41	4,56
Residencia	7,70	6,41
Coliseo	3,26	4,88
Casino	2,54	4,60
MED	9,51	7,15
Transportes	2,09	4,45

### B. Selección de la banda de operación

Las características de los equipos a emplearse en la implementación de la red WiMAX constituyen parámetros fundamentales ya que permiten conocer el verdadero alcance que podrá tener la red.

Uno de los parámetros importantes para la realización de cualquier implementación de redes tanto alámbricas como inalámbricas constituye la banda de frecuencia de funcionamiento u operación, debido a que se presentan dos tipos de bandas; una en la cual para su funcionamiento se requiere licencia, mientras que la otra es una banda libre que a pesar de no requerir licencia (banda ISM) si es necesario reconocer en el CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones) los equipos que vayan a ser empleados así como parámetros técnicos de funcionamiento y la finalidad que tiene la implementación de dicha red [5].

La tecnología WiMAX opera en bandas con licencia como la de 3,5 GHz y en bandas sin licencia como la banda ISM (5,8 GHz). Dichas bandas de frecuencia son empleadas por sistemas de telecomunicaciones que requieren técnicas de Modulación Digital de Banda Ancha, con las cuales trabajan la mayoría de equipos WiMAX.

Sin embargo debido a los altos costos que implican la adjudicación de una banda licenciada, no hacen posible la utilización de este tipo de bandas para la implementación de la red en el campus politécnico de la ESPE ya que sus fines son netamente académicos, por lo

que necesariamente se debe utilizar una banda de frecuencia libre que en este caso será la de 5,450 – 5,850 GHz debido a su amplia aplicación comercial.

### VI. SIMULACIÓN DE COBERTURA

Para el análisis de cobertura fue utilizada la herramienta SIRENET [2] que permite simular redes WiMAX; sin embargo éste no cuenta con el modelo de propagación SUI por lo que para el establecimiento de este modelo se seleccionó el método de cálculo llamado *Editable Ampliado* propia del simulador; una vez seleccionada dicha opción se introducen todos los parámetros para el establecimiento del modelo SUI y de esta manera lograr resultados satisfactorios, que traten en lo posible de representar el comportamiento de la red en un entorno real.

Considerando los parámetros propios del entorno del campus politécnico se llegó a la siguiente expresión:

$$P_{L\text{modificado}} = 13,441 + 26\log(f) + 43,99\log(d) \quad (9)$$

donde  $P_L$  representa las pérdidas de la señal con el modelo SUI, el mismo que se encuentra en función de la frecuencia y distancia.

Otro parámetro utilizado en SIRENET es,  $k$  (factor de corrección del radio de curvatura de la Tierra), que depende directamente de la ubicación geográfica y de la zona climática donde se quiere realizar el estudio, en este caso se selecciona un factor  $k=4/3$  que corresponde al Ecuador.

#### A. Análisis de los resultados

A fin de conocer la cobertura de la red y una vez establecidos los parámetros de la misma, se procedió a delimitar el área de cobertura ya que resulta importante para el análisis de la red a fin de conocer la extensión de la misma dentro del área geográfica de estudio.

La figura 4 muestra el área de cobertura correspondiente al campus politécnico de la ESPE, en la cual se establecen tres zonas representadas por colores los mismos que dependen de la potencia de recepción que deben tener los equipos para identificar y procesar las señales emitidas por la estación base, dichos colores en el programa tienen la siguiente valoración:

1. Rosado ( $-66 \text{ dBm} \leq P$ )
2. Azul ( $-76 \text{ dBm} \leq P < -66 \text{ dBm}$ )
3. Rojo ( $-86 \text{ dBm} \leq P < -76 \text{ dBm}$ )

donde  $P$  representa la potencia de la señal al llegar a cada una de las distintas zonas geográficas del mapa, en otras palabras representa los niveles mínimos de sensibilidad con que debe contar el equipo suscriptor para recibir la señal y aprovechar al máximo los servicios que proporciona la red.

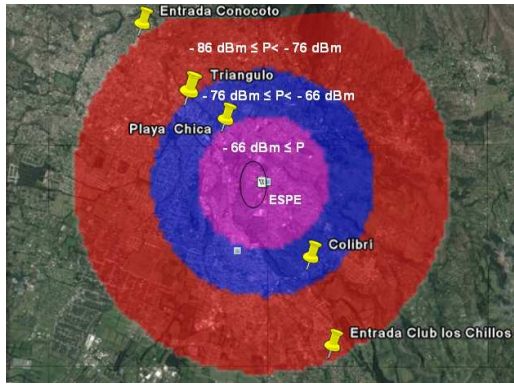


Fig. 4. Área de cobertura del Campus Politécnico

El área de interés corresponde aquella en la que se incluye el campus (área rosada), dicha área tiene un radio de cobertura de 1,42 km, la señal que se recibe en ésta área es excelente, y los equipos pueden trabajar en condiciones favorables para que los usuarios obtengan las señales transmitidas.

Se observó también el comportamiento de la red WiMAX, específicamente en referencia a sus niveles de potencia en las distintas dependencias del campus como se observa en la tabla. IX, teniendo en cuenta que la simulación emplea el modelo de propagación recomendado por la IEEE para este tipo de redes.

Como se puede observar en la tabla. IX, todos los valores obtenidos fueron muy aceptables debido a que en la simulación se incluyen la sensibilidad de los equipos receptores la misma que es muy inferior, por lo cual se puede determinar que los parámetros técnicos seleccionados fueron los más adecuados para brindar una óptima cobertura al campus.

TABLA. IX.  
NIVELES DE POTENCIA

Edificio	NIVELES DE POTENCIA (dBm)
Bar	-24,36
Biblioteca	3,63
Bloque D	-27,48
DEE	-32,28
Edificio Central	-20,09
Elec.-Biotec.	-32,29
Geográfica	-29,16
Idiomas	-21,00
Mecánica	-35,16
Residencia	-27,09
Coliseo	-33,93
Casino	-34,57
MED	-23,97
Transportes	-42,65

## VII. ANÁLISIS DEL TRÁFICO

Fue obtenido el *throughput*, definido como la relación entre el número de paquetes recibidos y el tiempo total de envío, de cada uno de los enlaces entre la estación

base y las estaciones suscriptoras, para de esta manera conocer la capacidad real que debe tener la red en cuanto a la velocidad de transmisión y ancho de banda para brindar los servicios tanto de voz, video y datos (triple play) usando Network Simulator-2 [3].

La figura 5 muestra la topología de la red WiMAX empleada en Network Simulator-2.

### A. Análisis de los resultados

Se analizará el *throughput* generado en la red de acuerdo al modelo de propagación a emplearse: *FreeSpace* y *Shadowing*. Para cada modelo se realiza un análisis con y sin interferencia. Se considera la aplicación FTP en cada enlace y se analiza el comportamiento de la red en *downlink*.

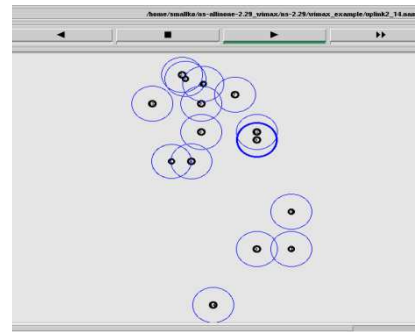


Fig. 5. Simulación de la red WiMAX en el Campus Politécnico ESPE

La figura 6 muestra el funcionamiento de la red considerando *FreeSpace* que cada nodo recibe información FTP. Se observa que el *throughput* tiene variaciones pequeñas como en el caso de los nodos 3, 4, 6 y 7, sin embargo la red en promedio tiene un *throughput* de 6,88 Mbps, que en relación a la velocidad de transmisión teórica de 10 Mbps, representa aproximadamente el 70% de la capacidad máxima de la red, por lo que los resultados son muy aceptables para una futura implementación de la red en el Campus.

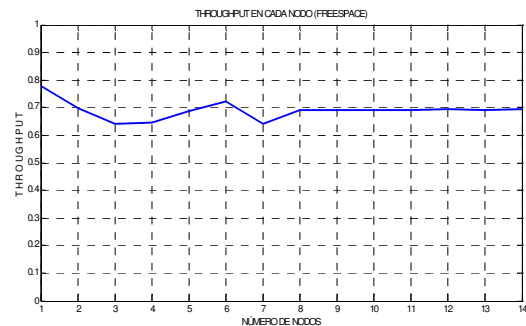


Fig. 6. Throughput de cada nodo sin interferencia

La figura 7 muestra el funcionamiento de la red considerando *Shadowing*, tomando en cuenta las

pérdidas que sufre la señal ya sea por desvanecimientos multirrayecto o la presencia de obstrucciones. Se puede observar que a pesar de las pérdidas debido al desvanecimiento de la señal, manteniendo un *throughput* aproximado de 6,30 Mbps en la mayoría de nodos, lo que en definitiva confirman los resultados obtenidos con *FreeSpace* en relación al comportamiento de la red al transmitirse sobre ella una aplicación de tipo FTP.

Como se observa en los análisis del *throughput* en los dos modelos de propagación, el comportamiento de la red no presenta variaciones significativas en cada edificio analizado, es decir para este proyecto el *throughput* independiente de la topografía, ya que la distancia entre las diferentes dependencias no es significativo con respecto a las distancias que se pueden alcanzar con la aplicación de la tecnología WiMAX y el entorno no presenta obstrucciones severas que podrían variar la velocidad de transmisión de forma drástica de un nodo a otro.

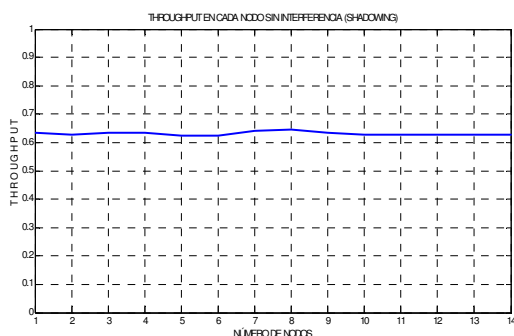


Fig. 7. Throughput de cada nodo sin interferencia

### VIII. CONCLUSIONES

La ubicación de la estación base de la red Wimax en el campus de la Escuela Politécnica del Ejército se estableció en el Edificio Administrativo, seleccionándose luego de varios estudios de campo y analíticos, debido a las ventajas que proporcionaban con respecto a otros sitios, específicamente relacionados con la cobertura y la infraestructura a ser utilizada.

Con niveles de potencia relativamente bajos con respecto a los parámetros técnicos proporcionados por los distintos fabricantes, se obtiene un área de cobertura dentro de la cual se encuentra el campus politécnico. Además los resultados obtenidos en SIRENET, tratan de representar de la forma más aproximada posible la cobertura real que puede generar la red, ya que para la misma ha sido introducido el modelo de propagación SUI, el cual es recomendado por el estándar IEEE 802.16 (WiMAX) para la representación de entornos de propagación.

Se logró establecer de acuerdo al análisis del tráfico generado por la red en el software Network Simulator, que la cantidad de información recibida por un nodo de la red en tiempo determinado (*throughput*) es independiente de la topografía que presenta el campus politécnico, ya que si bien es cierto se generan ciertas diferencias en cuanto al análisis de cada nodo, pero en términos generales la red muestra una relativa

estabilidad inclusive entre los nodos más cercanos y lejanos a la estación base.

Con el modelo de propagación *FreeSpace* es posible determinar las características mínimas requeridas por los equipos para trabajar con la tecnología WiMAX y de esta manera garantizar el funcionamiento de la red ya que solo se introduce una pérdida básica producida por la propagación electromagnética de la señal, en el caso de las simulaciones realizadas se ha determinado que con distintos escenarios con respecto al tráfico generado por la red, su capacidad disminuye de un 30 a 40% de su capacidad teórica.

El modelo de propagación *Shadowing* trata de simular las condiciones más adversas que puede enfrentar la propagación de la señal ya que introduce diferentes tipos de pérdidas debido principalmente a la presencia de obstrucciones entre la estación base y las estaciones suscriptoras, en cuyo grupo de simulaciones, al realizar el análisis como el caso anterior se determinó que la capacidad de la red disminuye aproximadamente un 45%, es decir el comportamiento de la red es bastante aceptable ya que mantiene un buen rendimiento en cuanto a las altas velocidades de transmisión que brinda, logrando de esta manera estabilizarse a pesar de ser sometida a un alto tráfico de información.

### REFERENCIAS

- [1] IEEE, 802.16 Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, <http://www.ieee802.org/16/>, 1 de Octubre del 2004, 2 de Marzo del 2008.
- [2] Intelia Consultores, Sirenet versión 3.0-Simulación de redes radioeléctricas, 2007, 8 de abril del 2008.
- [3] Thens Manual, [www.ecse.rpi.edu/Homepages/shivkuma/teaching/fall2002/ns-2/ns\\_doc.pdf](http://www.ecse.rpi.edu/Homepages/shivkuma/teaching/fall2002/ns-2/ns_doc.pdf), 10 de marzo del 2008, 10 de mayo del 2008.
- [4] Jácome Dávila Lenin, Trujillo Paredes Patricia, Estudio y Diseño de un Sistema de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha (LMDS) para un área comercial de la ciudad de Quito, junio del 2001
- [5] CONATEL, RESOLUCIÓN 337-14-CONATEL-2008 CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES.



# Estudio del comportamiento de una red Ad-Hoc MANET metropolitana basado en los protocolos de enrutamiento

Mario Garzón, Román Lara y Gonzalo Olmedo

**Resumen—** En el presente artículo se determina el comportamiento de una red de área metropolitana bajo el estándar IEEE 802.16 tanto para nodos fijos como móviles, utilizando NCTUns, considerando el comportamiento de los protocolos de enrutamiento. Mostrando en los resultados las velocidades de transmisión que se pueden obtener en redes Mesh y la distancia máxima a la cual pueden encontrarse los nodos y la estación radio base.

**Palabras clave—** IEEE 802.16, Redes de acceso metropolitano, Throughput.

## I. INTRODUCCIÓN

LA popularización de las redes de área local inalámbricas y su posible interconexión han permitido la creación potencial de redes inalámbricas, incluso móviles, con un ancho de banda de hasta 28 MHz para amplias zonas urbanas, dando lugar a redes de áreas metropolitanas.

Las redes de área metropolitana se encuentran basadas en tecnologías WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), un estándar de comunicación inalámbrico de acuerdo a la norma IEEE 802.16.

WiMAX es un protocolo parecido a Wi-Fi, pero con características mayores con respecto a la cobertura y ancho de banda [2]. Los entornos de aplicación y uso de esta tecnología los podemos citar: conectividad a Internet en zonas de fuerte dispersión de población, zonas rurales, cobertura de zonas más extensas, proporcionando un ahorro en los costos de infraestructura y tiempo, factibilidad de servicios avanzados de VoIP y video, zonas urbanas, entre otras [3].

La necesidad de conocer la existencia de factibilidad de las redes metropolitanas, se ha procedido a simularlas, con la finalidad de obtener su tasa de transmisión y la distancia máxima a la cual se puede ubicar los nodos y la radio base.

Conociendo las características del estándar IEEE 802.16, se crearon diferentes ambientes de simulación con el objetivo de obtener resultados del comportamiento que se dará en cada uno de los

ambientes.

En el presente artículo el contenido ha sido organizado: en la Sección 2. El Estándar IEEE 802.16, en la Sección 3. Escenarios de Simulación, en la Sección 4 Análisis de resultados y finalmente en la Sección 5 Las conclusiones obtenidas de las simulaciones.

## II. ESTÁNDAR IEEE 802.16

El estándar IEEE 802.16 hace referencia a un sistema BWA (*Broadband Wireless Access*), con una alta tasa de transmisión de datos y alcance de hasta 50 km, en un sistema escalable, trabajando en las bandas del espectro licenciadas y no licenciado [4]. El mismo que presenta una garantizada calidad de servicio en audio y video así como en servicios diferenciados, E1/T1 *best-effort* [5].

El estándar IEEE 802.16, ha sufrido cambios los cuales son detallados en las Tablas I y II. Para el presente trabajo fue utilizado el estándar IEEE 802.16d o también conocido como IEEE 802.16-2004.

## III. ESCENARIOS

Las topologías de las simulaciones están constituidas por radio base y nodos, a las radios base y los nodos se los representa con se muestra en la Figura 1.

Las simulaciones fueron realizadas en NCTUns 5.0, con un modelo de propagación teórico "TwoRayGround", en escenarios para simular ambientes de Downlink, Uplink, Mesh.; permitiendo obtener la tasa real de transmisión, considerando una frecuencia de 5,4 GHz, sensibilidad de transmisor de -130 dbm, potencia del transmisor de 37 dbm y tráfico CBR.

La radio base presenta la estructura descrita en Figura 2. La estación suscriptora consta con una estructura casi similar a la que presenta el radio base, como se puede observar en la Figura 3.

Las simulaciones fueron realizadas con un tiempo máximo de 300 segundos, permitiendo obtener la transmisión de información entre la radio base y los usuarios o entre usuarios. En las simulaciones de downlink y uplink, es considerada una red Mesh 4x4, separados a una distancia entre nodos fijos de 200 m. La topología utilizada se la presenta en las figuras 4 y 5, en las cuales se puede observar que la radio base en el primer caso se encuentra fuera de la red y en el segundo caso se encuentra formando parte de la red, manteniendo fijos los nodos durante toda la simulación.

Mario Garzón, Román Lara y Gonzalo Olmedo, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Departamento de Electrónica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército, ESPE, Sangolquí, Ecuador, E-mails: rlara@espe.edu.ec, golmedo@espe.edu.ec.

La figura 6, representa una topología de red *Mesh* con nodos móviles, los datos son enviados desde la radio base a los nodos destino utilizando nodos intermedios los mismos que permitirán la comunicación hacia el nodo destino.

La topología representada en la figura 7, nos permite observar las distancias máximas a la cual se encuentra los nodos para que exista una comunicación y transmisión de datos.

Los resultados en las simulaciones son la tasa real de transmisión a los nodos destinos, obteniéndose las respectivas gráficas para ser analizadas.

TABLA I  
HISTORIA DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16

Estándar	Fecha	Características
IEEE802.16	Dic. 2001	Definición de Funcionalidades Básicas en la banda 10-66 GHz
IEEE802.16c	2002	Definición de perfiles en la banda 10-66 GHz
IEEE802.16a	Ene. 2003	Extensión de la banda a 2-10 GHz Mayor capacidad OFDM
IEEE802.16-2004	2004	Compendio de las anteriores y corrección de errores. Perfiles Adicionales
IEEE802.16e	2005	Movilidad

TABLA II  
CARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR 802.16

	802.16	802.16a	802.16e
<b>Espectro</b>	10 – 66 GHz	< 11 GHz	<6 GHz
<b>Funcionamiento</b>	Línea de vista	Sin línea de vista (NLOS)	Línea de vista (NLOS)
<b>Tasa de Bit</b>	32 – 134 Mbits/s con canales de 28 MHz	Hasta 75 Mbit/s con canales de 20 MHz	Hasta 15 Mbit/s con canales de 5 Mhz
<b>Modulación</b>	QPSK, 16QAM y 64 QAM	OFDM con 256 subportadoras, QPSK, 16 QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM y 64 QAM
<b>Movilidad</b>	Sistema fijo	Sistema fijo	Movilidad pedestre
<b>Ancho de banda</b>	20, 25 y 28 MHz	Seleccionable entre 1, 25 y 20 MHz	Igual que 802.16a con los canales de subida para ahorrar potencia
<b>Radio de celda típico</b>	2 – 5 Km	5 - 10 Km (Alcance Máximo a unos 50 Km)	2 – 5 km



Fig. 1. a) Radio Base y b) Nodo

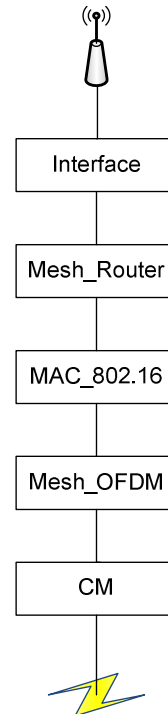


Fig. 2. Estructura Radio Base

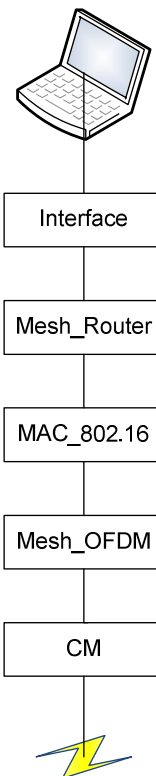


Fig. 3. Estructura Estación Suscriptor.

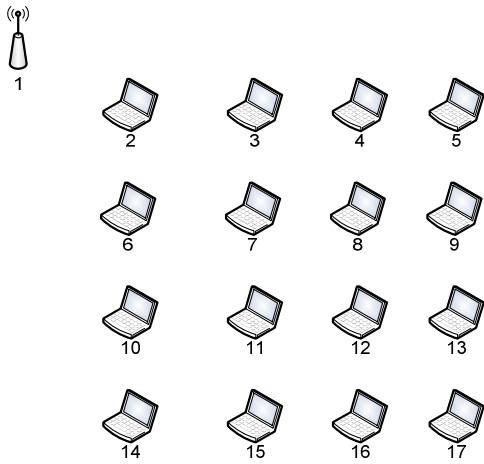


Fig. 4. Red Mesh 4x4 radio base fuera de la red

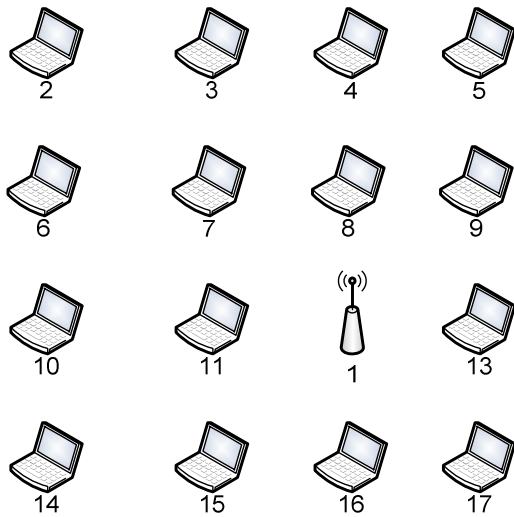


Fig. 5. Red Mesh 4x4 radio base fuera de red.

#### IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de resultados se lo ha realizado a partir de la obtención de *Throughput* en los diferentes escenarios.

El *Throughput*, es el volumen de información que se transmite de un lugar a otro en las redes de datos en un determinado período de tiempo. Los resultados obtenidos considerando una red *Mesh* 4x4 de tipo *downlink*, con su radio base externa transmitiendo a una sola estación suscriptora, se obtiene la Figura 8, en la cual se muestra un *Throughput* promedio de 550 kbytes/s, siendo casi constante en todo el intervalo de simulación.

En el caso de una red *Mesh* con una estación base incluida en la red, y transmitiendo hacia dos estaciones nodos, se muestra los resultados obtenidos sobre el nodo 2 y el nodo 10 en las figuras: Figura 9 y Figura 10, respectivamente, en cuyas gráficas se observa que su *Throughput* promedio en este topología de 560 kbytes/s, presentan en uno de los nodos una *Throughput* menor en cuatro intervalos de tiempo, mientras que en el otro se

observo que se mantiene constante durante toda la simulación. Esto se por un exceso de tráfico presente sobre la red.

En una red *Mesh* con transmisión simultánea hacia dos nodos y a una distancia máxima de 490m entre los nodos, se muestran los resultados obtenidos sobre el nodo 6 y el nodo 7, en la Figura 11 y Figura 12, respectivamente, en las cuales se observo que el *Throughput*, no presenta un valor constante, observándose que varía entre 70 y 600 kbytes/s, determinándose que afecta el número de nodos que esta conectados a un mismo nodo intermedio.

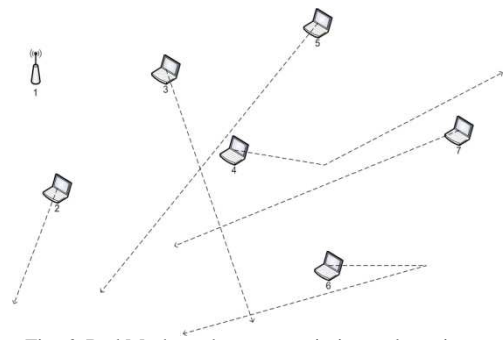


Fig. 6. Red Mesh, nodos con movimiento aleatorio

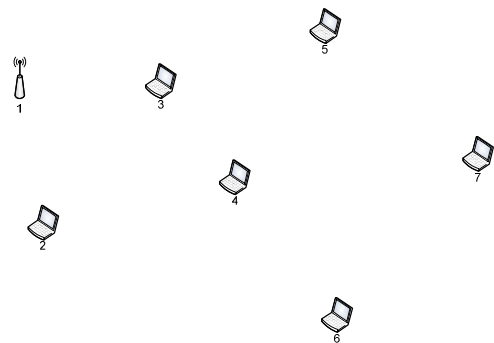


Fig. 7. Red Mesh, con los nodos ubicados a la máxima distancia de conexión.

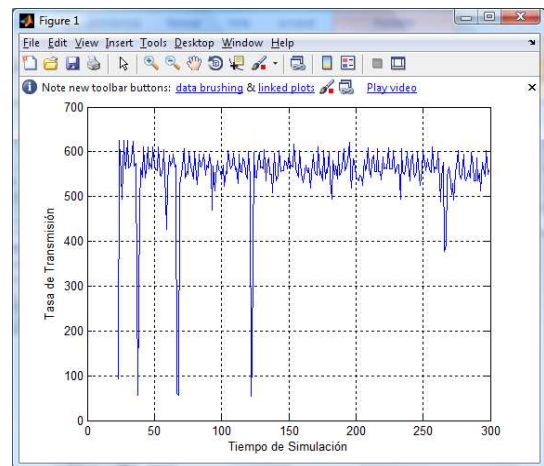


Fig. 8. Throughput de Downlink

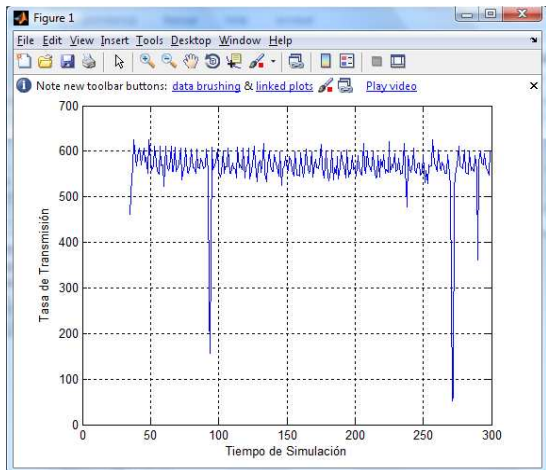


Fig. 9. Throughput del Nodo 2

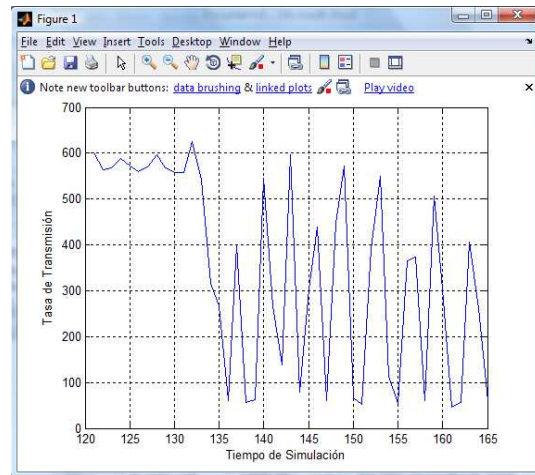


Fig. 12. Throughput delNodo 7

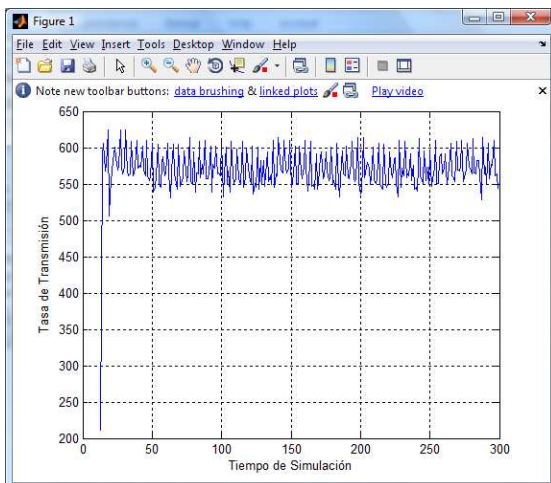


Fig. 10. Throughput del Nodo 16

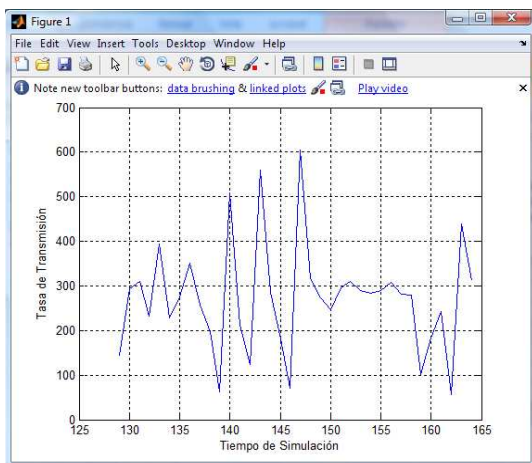


Fig. 11. Throughput del Nodo 6

## V. CONCLUSIONES

Analizados los resultados de la simulación en forma global en función del valor medio se obtuvieron las siguientes conclusiones:

La tasa de transmisión de 70 Mbps, no es posible alcanzar, debido a que a una distancia de 200m la tasa de transmisión máxima que se alcanzó es de 6,5Mbps.

La mayor distancia que debe existir entre los nodos no deberá superar los 490m al superar esta distancia no existe conexión entre los nodos que forman parte de la red *Mesh* sin poder transmitir la información.

En una transmisión simultánea existe momentos en los cuales uno de los nodos se quedara sin información debido al tráfico que se encuentra presente en la red.

En las redes *Meshen* la cual se conectan más de un usuario a un mismo nodo, presenta *Throughput*, no constante, observándose que varía entre 70 y 600 kbytes por segundo.

## REFERENCIAS

- [6] Robles Gregorio, Wireless MAN Una solución bottom-up de conectividad inalámbrica, 2002.
- [7] CreativeCommons, WiMAX - 802.16 - Interoperabilidad mundial para acceso por micro, 2008
- [8] CimadevilaLage Enrique, Wireless MAN. 802.16: El eslabón perdido en la evolución inalámbrica, 2004
- [9] Radioptica, Tabla resumen de características del estándar 802.16 (WiMAX), 2009
- [10] Baonza Clara, WiMax, alternativa de última milla, 2005
- [11] SimóReigadas Francisco Javier, WiMAX / IEEE 802.16 - WMAN y WRAN, 2008.

# Diseño de un prototipo del sistema inalámbrico para el registro de tiempos de recorrido en la transportación pública

Verónica Guerra, Daniel Altamirano, Paúl Ayala y Gonzalo Olmedo Garzón

**Resumen—** En el presente artículo es especifican el diseño y los componentes de un Sistema Inalámbrico para el Registro de Tiempos de Recorrido en la Transportación Pública, usando identificación por radio frecuencia RFID.

**Palabras clave—** RFID, AVL, Transportación Pública.

## I. INTRODUCCIÓN

EN la actualidad el mundo está inmerso en una revolución tecnológica, de la cual ningún campo social puede quedar al margen. Aún más el sector de la transportación pública, que sirve a millones de personas en nuestro país.

Existen propuestas tecnológicas para mitigar estos problemas, que son los sistemas de localización automática de vehículos (AVL - *Automatic Vehicular Localization*), los cuales por su alto costo comprendido entre equipos y servicio no han sido acogidos por la transportación pública, además que no se centran en el objetivo de reemplazar a los actuales relojes de registro.

En consecuencia, es necesario el diseño de una herramienta tecnológica y económica que permita reemplazar a los relojes de registro actuales de forma fácil y autónoma, buscando una gran acogida por la transportación pública, y un impacto mínimo en sus actividades diarias de forma que el usuario sea su principal preocupación.

El presente trabajo muestra el diseño de un sistema de registro que reemplaza a los relojes que se manejan en la actualidad, basado principalmente en dispositivos inalámbricos, que usan principios de identificación por radio frecuencia (*RFID* - *Radio Frequency Identification*), implementado en base a microcontroladores, temporizadores, memorias flash y módulos de radiofrecuencia, una etiqueta y un lector. La etiqueta cumple las funciones de identificador del punto de registro el cual reemplaza a los relojes actuales y se comunica de forma inalámbrica con un lector ubicado en el transporte, el cual se encarga de registrar el paso por las inmediaciones de una etiqueta junto con la hora de detección. Datos que serán almacenados en un

dispositivo de memoria portátil. Los registros almacenados la memoria, posteriormente podrán ser descargados en una PC y organizados en un archivo de texto, para ser administrados por el usuario que controle el sistema.

## II. SOLUCIÓN PARA EL PROTOTIPO

### A. Ventajas de la Identificación por Radiofrecuencia (RFID)

1. Se adapta a las necesidades de diseño del prototipo.
2. Menores costos.
3. Implementación sencilla.
4. Tecnología fiable y versátil de identificación automática.
5. No requiere contacto ni línea de vista con el objeto a operar.

### B. RFID Pasivo



Fig. 1. RFID Pasivo

El lector envía ondas electromagnéticas que activan al transmisor el cual no necesita de una fuente de alimentación. Después de ser activado envía la información requerida al lector, tal como se muestra en la figura 1.

### C. RFID Activo



Fig. 2. RFID Activo

La etiqueta (transmisor) requiere de una fuente de alimentación para entrar en operación.

Como se muestra en la figura 2 el transmisor siempre permanece activo, enviando un código que será reconocido únicamente por el receptor (lector). Posee

Verónica Guerra y Daniel Altamirano, Paúl Ayala y Gonzalo Olmedo, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Departamento de Electrónica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército, ESPE, Sangolquí, Ecuador, E-mails: payala@espe.edu.ec, gfolmedo@espe.edu.ec.

mayor rango de cobertura y mayor capacidad de memoria que RFI pasivo.

### III. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

Considerando para el diseño del prototipo, uno de los principios de funcionamiento de los sistemas de Identificación por Radiofrecuencia (RFID), el sistema constan básicamente de:

1. Transmisores/Etiquetas (TAG) que transmiten un constantemente código unívoco que las identifica, y poseen una fuente de alimentación auxiliar.
2. Receptores/Lectores, los cuales reciben el código de la etiqueta que está en sus proximidades.

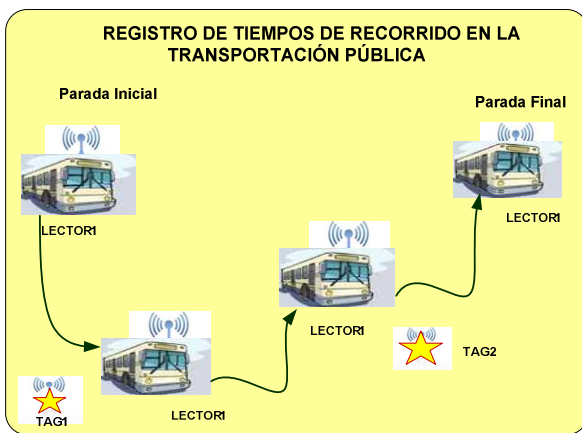


Fig. 3. Diagrama Descriptivo del Sistema

En la Figura 3 se muestra a un bus cumpliendo su recorrido, desde la Parada Inicial a la Parada Final. Durante este trayecto el bus pasa por diversos puntos de registro, donde actualmente se encuentran relojes que timbran sobre tarjetas de cartulina, la hora y fecha de paso.

En la Figura 3 los relojes son reemplazados por Etiquetas (TAG), que identifican al lugar donde este ha sido ubicado, de tal forma que al momento que un Lector ubicado en un bus pasa por el área de cobertura del TAG, este reconoce de forma inalámbrica el código identificador, permitiendo al Lector que tome de la información de hora y fecha sin necesidad de detenerse o bajarse del bus, y se la almacene en un dispositivo de memoria externa.

La figura 4 muestra el diagrama de bloques general del diseño del sistema donde se puede observar los subsistemas que forman parte tanto del transmisor como del receptor.

La figura 5 muestra el esquema de alimentación del transmisor, el cual como se había indicado se encuentra transmitiendo datos cada segundo, en espera de que el receptor los detecte, por esta razón a más del sistema de alimentación principal el cual consta de un adaptador AC/DC de 12V, se necesita de un sistema de alimentación de respaldo el cual constará de una batería que con la ayuda de un relé entrará en funcionamiento en caso de que existan cortes de energía eléctrica.

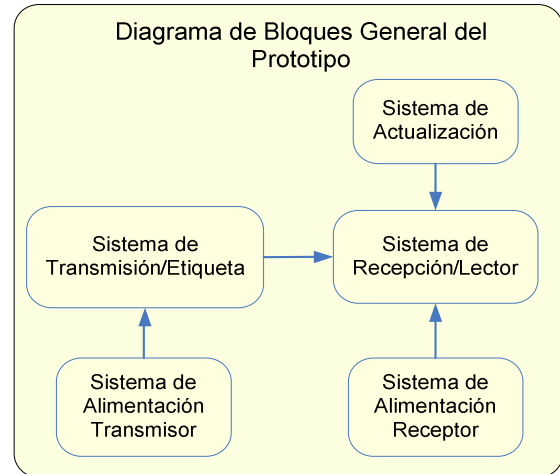


Fig. 4. Diagrama Descriptivo del Sistema

### IV. DISEÑO DEL TRANSMISOR/ETIQUETA

#### A. Sistema de Alimentación

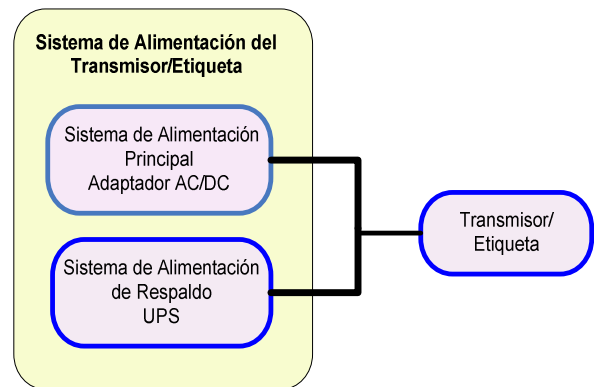


Fig. 5. Sistema de Alimentación del Transmisor

#### B. Sistema de Transmisión

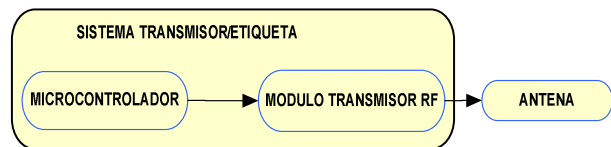


Fig. 6. Sistema de Transmisión

Consiste en el desarrollo de un módulo transmisor, que generará una etiqueta de identificación, la cual será enviada como una trama de datos correspondientes a un punto preestablecido dentro de la ruta.

Este sistema mostrado en la Figura 6 consta básicamente de:

1. Un microcontrolador, que es el encargado de generar la etiqueta que identifica el punto de registro, y enviar los datos a un modulador.

2. Un módulo de radiofrecuencia, que permite modular los datos de la etiqueta, para que sean transmitidos de forma inalámbrica.
3. Una antena, que envía los datos al medio de transmisión, que en este caso es el aire.

El Diagrama General del Circuito y el Software del Transmisor, están disponible en el Proyecto de Grado “Sistema Inalámbrico para el Registro de Tiempos de Recorrido en la Transportación Pública”, del cual ha sido extraído este Artículo.

### C. Producto Final

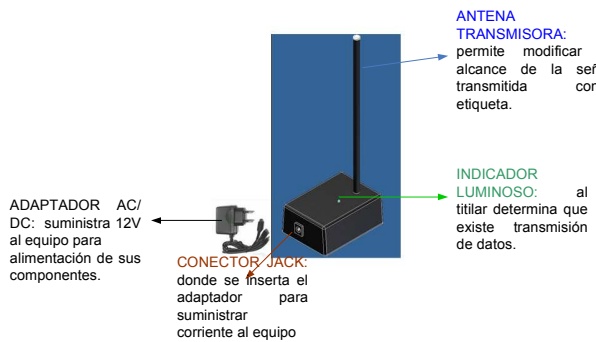


Fig. 7. Componentes del Transmisor

La figura 7 muestra los componentes necesarios para que el transmisor trabaje.

Una vez que ha sido conectado, comienza a transmitir cada segundo y de forma automática, la etiqueta que ha sido designada en el programa, para identificar al lugar donde está ubicado. El transmisor tiene un rango de cobertura que depende del voltaje que se le aplique a éste.

## V. DISEÑO DEL RECEPTOR/LECTOR

### A. Sistema de Alimentación

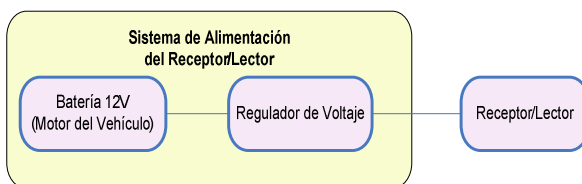


Fig. 8. Sistema de Alimentación del Receptor

Los bloques de la figura 8 muestran los componentes necesarios para la alimentación del receptor:

1. Batería del receptor: aprovecha la energía de la batería del sistema de alimentación del bus.
2. Regulador de Voltaje: permitirá la alimentación de los componentes del circuito del receptor, con el voltaje DC necesario para su operación.

### B. Sistema de Recepción/Lector

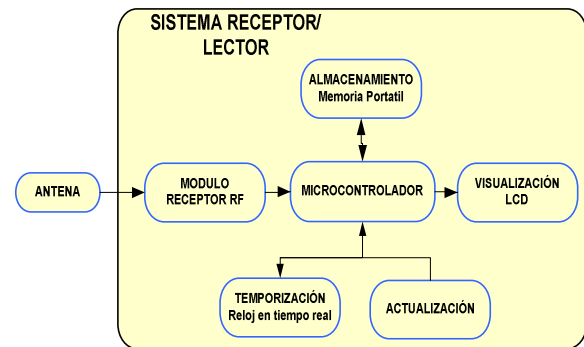


Fig. 9. Sistema de Recepción

Consiste en el desarrollo de un módulo receptor, el cual al momento de estar en los alrededores de la etiqueta, capta un código lo compara con sus registros internos y si es válido lo almacena en la memoria portátil, junto con la hora y fecha actual generados por el reloj en tiempo real, y también los presenta en una pantalla de cristal líquido LCD (*LiquidCrystalDisplay*), para la visualización instantánea del usuario.

Este sistema mostrado en la figura 9, consta básicamente de:

1. Una antena, que permite captar los datos de una etiqueta cercana.
2. Un módulo de radiofrecuencia para demodular los datos recibidos, y enviarlos al microcontrolador
3. Un microcontrolador encargado de administrar todos los procesos del sistema receptor.
4. Un reloj en tiempo real que permita la temporización del sistema, de modo que se pueda disponer de la hora y fecha actuales.
5. Una tarjeta de memoria portátil para el almacenamiento de los datos correspondientes a la etiqueta y a la hora y fecha de paso por esta.
6. Un LCD, que permita la visualización de la hora y fecha actual, además de los datos tomados en el último registro, y otra información necesaria para el usuario de acuerdo a sus necesidades.
7. Un sistema de actualización cuya aplicación será explicada en el siguiente numeral.
- 8.

El Diagrama General del Circuito y el Software del Receptor, están disponible en el Proyecto de Grado “Sistema Inalámbrico para el Registro de Tiempos de Recorrido en la Transportación Pública”, del cual ha sido extraído este Artículo.

### C. Producto Final

Las figuras 10, 11 y 12 muestran todos los componentes del receptor y aquellos materiales necesarios para su puesta en marcha.

Una vez que es conectado a la fuente del bus, cada vez que ingrese al área de cobertura del transmisor, recibe la etiqueta, la procesa y la almacena junto con la hora y fecha en la MMC/SD.

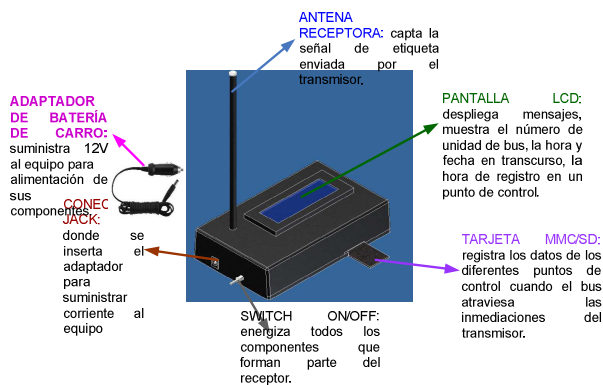


Fig. 10. Componentes del Receptor

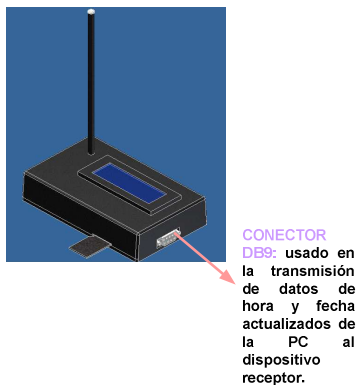


Fig. 11. Componentes del Receptor (Vista Posterior)

#### D. Visualización en el LCD

El usuario del sistema puede visualizar en el LCD los mensajes mostrados en la figura 12 de la siguiente información:

- 1 Línea 1: Identificación de la unidad.
- 2 Línea 2: Hora actual.
- 3 Línea 3: Fecha actual.
- 4 Línea 4: Hora e identificación de la última etiqueta registrada o espera de ingreso de memoria.

El mensaje de espera de ingreso de memoria se mostrará si la tarjeta de almacenamiento MMC/SD no está insertada en la ranura y el receptor no entrará en funcionamiento mientras no éste ubicada.

La hora e identificación de la última hora registrada se mostrarán cuando el receptor ingrese en la zona de cobertura del transmisor.

El mensaje de espera de ingreso de memoria se mostrará si la tarjeta de almacenamiento MMC/SD no está insertada en la ranura y el receptor no entrará en funcionamiento mientras no éste ubicada.

La hora e identificación de la última hora registrada

se mostrarán cuando el receptor ingrese en la zona de cobertura del transmisor.



Fig. 11. Componentes del Receptor (Vista Lateral)

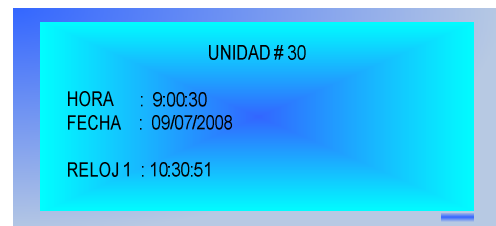


Fig. 12. Diagrama de Mensajes Desplegados en la Pantalla LCD del Receptor

#### D. Almacenamiento en MMC/SD y Transferencia de Datos a la PC

El almacenamiento del sistema se lo realiza en una tarjeta MMC/SD, lo único que debe realizar el usuario es insertar la tarjeta en la ranura, como se muestra en la figura 13.

La MMC/SD, almacena los datos de forma que sean compatibles con Windows, ya que posee una tabla de archivos en formato FAT 16, compatible con DOS. Para un mejor manejo de los datos almacenados, la tarjeta los guarda en un archivo de documento de Excel con extensión .xls. Para poder transferir estos datos a la PC, se debe retirar la tarjeta MMC/SD del receptor, y colocarlo en la ranura MMC/SD de la PC, y si esta no dispone de una ranura, se puede utilizar un adaptador de MMC/SD a USB, como se muestra en la figura 14.

Una vez insertada la tarjeta en la PC, el usuario debe copiar el archivo a la PC, para abrirlo. Los datos de hora y fecha almacenados se presentan al usuario como lo muestra la figura 15, para que el administrador del sistema haga el uso necesario de los datos recolectados.





Fig. 13. Inserción de MMC/SD en la Ranura



Fig. 14. Adaptador MMC/SD a USB

	A	B	C	D
1	Registros guardados el: 30/07/08			
2	17:23:14			
3	17:23:15			
4	17:23:16			
5	17:23:16			
6	17:23:17			
7	17:23:18			
8	17:23:19			
9	17:23:20			
10	17:23:22			
11	Registros guardados el: 06/08/08			

Fig. 15. Registros Mostrados en Excel

### F. Sistema de Actualización

El diseño de éste sistema es necesario, pues el prototipo basa su funcionamiento en el registro de tiempos exactos en los cuales un autobús se encuentra en un determinado punto de control. Para esto se diseñará un programa que permita el envío serial de datos como horas, minutos, segundos, fecha, desde la PC hacia el receptor/lector que mediante su microcontrolador se encarga de manejar el RTC, de tal manera de mantener el sistema actualizado con la hora y fecha exactas.

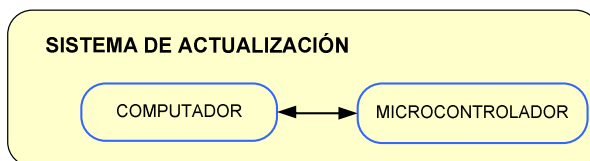
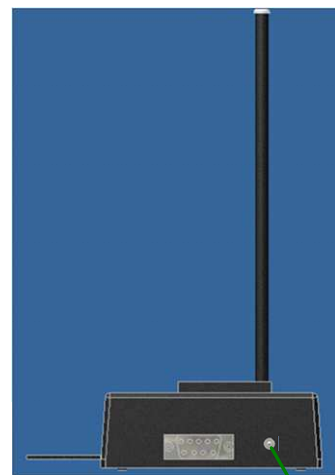


Fig. 16. Sistema de Actualización

La figura 16 muestra el esquema de envío de datos seriales desde la PC al reloj manejado por el microcontrolador del receptor.

### G. Actualización de Hora y Fecha

La actualización de hora y fecha sirve para que el administrador del sistema pueda igualar al reloj del receptor sin necesidad de reprogramar el microcontrolador. Para esto se diseñó una aplicación Visual Basic, que se comunican a través de una interfaz RS-232. Para poder actualizar el sistema se deben seguir los siguientes pasos: En la placa del receptor existe un pulsador, que permite colocar al receptor en funcionamiento normal, o en actualización como se muestra en la figura 17.



**PULSADOR ADMINISTRADOR**

Fig. 17. Modo de Actualización

El receptor debe ser conectado a la PC usando el cable mostrado en la figura 18. Abrir la aplicación Actualización SIRT, mostrado en la figura 19 autenticarse y presionar el botón actualizar. Autenticarse ingresando nombre de usuario y contraseña como se muestra en la figura 20 presionar el botón actualizar. Presionar el botón actualizar mostrado en la figura 21 y la hora y fecha del sistema de recepción estarán actualizadas.



Fig. 18. Cable Serial-USB

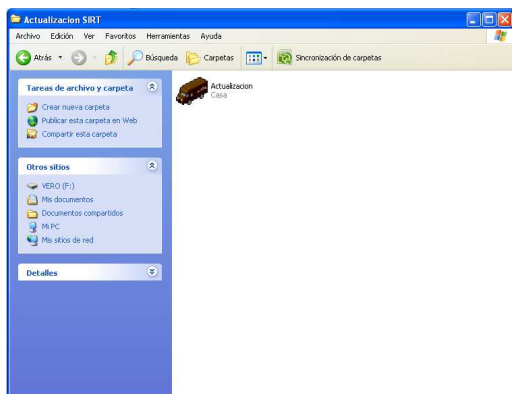


Fig. 19. Aplicación SIRT



Fig. 20. Pantalla de Autenticación



Fig. 21. Pantalla de Actualización

## VI. PRUEBAS DE COBERTURA

Se tomaron en cuenta los resultados obtenidos en tres pruebas bajo los siguientes parámetros:

### Condiciones Ambientales

- 1 Condiciones de temperatura normales 5°C a 27°C.
- 2 Altura 2800m sobre el nivel del mar.

### Protocolo de Pruebas

- 1 Ubicación de los dispositivos en diferentes medios de transporte y distintas

localizaciones para determinar el comportamiento de los mismos en la transmisión de la información.

- 2 Alimentación en el rango de 5 a 12V para obtener el voltaje que proporcione el alcance óptimo para la transmisión de la señal.
- 3 Obtenido el valor de voltaje se procede a realizar pruebas a diferentes velocidades con el fin de determinar la probabilidad de pérdida de información y el rango de velocidades en el cual se garantiza el desempeño óptimo del sistema.

### A. Primera prueba

Receptor instalado en la camioneta Mazda y Transmisor instalado en los laboratorios de electrónica.

Esta prueba sirvió para analizar el alcance de los módulos de radiofrecuencia, obteniendo los resultados mostrados en la tabla I.

TABLA I  
RESULTADOS DE LA PRIMERA PRUEBA

Condición	Alcance	Observación
Alimentación del transmisor 5 Vdc	15m +5m	Muy susceptible obstáculos, poca pérdida de etiquetas y corto alcance.
Alimentación del transmisor 9 Vdc	80m +20m	Señal robusta, pérdida de paquetes nula, mediano alcance. Ver Figura 6.1
Alimentación del transmisor 12 Vdc	180m +300m	Señal robusta, pérdida de etiquetas nula, alto alcance.

A partir de esta prueba se definió que la alimentación para el transmisor, sería regulada a 9 Vdc, por poseer un alcance adecuado para la aplicación, y una pérdida nula de etiquetas en el receptor.

### B. Segunda prueba

Receptor instalado en la camioneta Mazda y Transmisor instalado en la autopista General Rumiñahui, sector antiguo peaje.

En esta prueba se analizó el comportamiento del sistema a diferentes velocidades, en un ambiente típico al cual se orienta el diseño del sistema. La alimentación del transmisor en estas pruebas es de 9 Vdc, y se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla II, donde se puede deducir que el sistema posee un radio de alcance de 80m +20 m, y el primer paquete será receptado a esta distancia, siendo la hora de este registro la información que permitirá controlar el respeto a los tiempos de recorrido preestablecidos para la ruta.

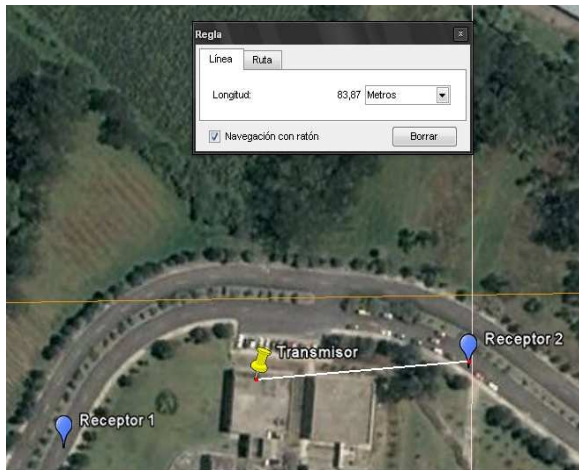


Fig. 22. Alcance a 9 Vdc

TABLA II  
RESULTADOS SEGUNDA PRUEBA

Velocidad (km/h)	Alcance 1 (m)	Alcance 2 (m)
5	91,31	86,43
10	89,24	93,98
20	83,56	95,65
40	84,22	89,74
60	82,56	80,60
80	80,07	81,87
100	82,12	82,67
120	81,89	83,34

### C. Tercera Prueba

Receptor instalado un bus de la Cooperativa de transportes “San Pedro de Amaguaña” y Transmisor instalado en la autopista General Rumiñahui, sector antiguo peaje.

La prueba tres permitió comprobar que al conectar el sistema un bus, su desempeño es el mismo respecto al radio de alcance y a las velocidades. Estas pruebas fueron realizadas durante un día de trabajo normal del bus, pudiéndose obtener los resultados mostrados en la tabla III.

TABLA III  
RESULTADOS DE LA TERCERA PRUEBA

Vuelta	Velocidad (km/h)	Alcance (m)
1	70	83
	60	84
2	85	82
	40	86
3	75	82
	40	87

## VI. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA

### A. Descripción del Sistema RFID

- 1 Tipo de Sistema RFID
- 2 Activo, Simplex, con memoria electrónica física

- 3 Banda de Frecuencia y Modulación Digital
- 4 Banda de 433,92 MHz y modulación ASK
- 5 Control de Errores y Encriptación de Datos
- 6 No se aplican en el sistema
- 7 Multi-acceso y Anticolisión
- 8 TDMA y SDMA

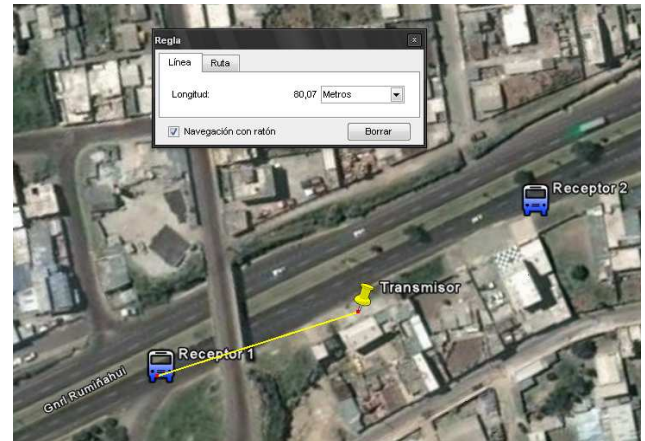


Fig. 23. Prueba en Autopista General Rumiñahui

### B. Datos Técnicos del Prototipo

- 1 Voltaje de Alimentación del Transmisor
- 2 Voltaje: 9,0 – 12,0 Vdc.
- 3 Voltaje de Alimentación del Receptor
- 4 Voltaje: 9,0 – 18,0 Vdc
- 5 Consumo de Corriente del Transmisor
- 6 Durante transmisión: 51,0 mA
- 7 Durante reposo: 35,0 mA
- 8 Consumo de Corriente del Receptor
- 9 Durante recepción: 95,5 mA
- 10 Durante reposo: 72 mA

### C. Análisis de costos

- 1 Costo directo Transmisor, 45,25 dólares
- 2 Costo directo Receptor, 112,12 dólares
- 3 Costo directo del Prototipo Total, 157,37 dólares.

Los costos directos, hacen referencia al valor para implementar un prototipo, sin contar las implicaciones en costos que trae el diseño y la instalación del sistema.

## VIII. CONCLUSIONES

Se ha diseñado e implementado un prototipo que con ayuda de la tecnología existente permite el reemplazo eficaz de los relojes de control manejados por la transportación pública, solucionando los problemas que el actual sistema ha generado.

Para la construcción del prototipo se empleó identificadores de radiofrecuencia activos, pues en el diseño es el transmisor quien inicia la comunicación, además se necesita de un alcance considerable para la transmisión y recepción de datos, características disponibles con RFID activa.

Los microcontroladores ATMEL presentan las características óptimas que se adaptan de forma eficaz a las necesidades de diseño del prototipo.

BASCOM AVR es una herramienta de desarrollo que cuenta con funciones e instrucciones que facilitan la programación de los microcontroladores y optimizan el tiempo empleado para la misma.

El diseño del sistema se basó en lograr la comunicación inalámbrica entre el transmisor y el receptor y en el almacenamiento de datos en una tarjeta MMC/SD, para lo cual fue necesario conocer las funciones de programación que permiten configurar los parámetros de los protocolos de comunicación serial RS-232, I2C, y SPI.

El programa de desarrollo en Visual Basic, se diseñó como respaldo al circuito de reloj en caso de que existan fallas.

Estudios realizados comprueban que 433 MHz es la frecuencia óptima de operación de los sistemas RFID activos, brinda mayor alcance en ambientes abarrotados.

Después de varias pruebas realizadas se determinó que un desempeño óptimo del transmisor, se da con 9 Vdc de alimentación y una antena monopolo de 50 ohms y  $\lambda/4$  que aproximadamente son 17cm de longitud.

El radio de cobertura del sistema es de 80m +20m de radio, tomando como centro la ubicación del punto de control.

El primer dato que registre el receptor será tomado como la hora de timbre y siempre se encuentra en un rango de 10m a partir de que el bus ingresa en la zona que se considera de detección de etiqueta.

Todos los datos tomados durante el tiempo que el receptor se encuentra en el área de cobertura son registrados en la tarjeta MMC/SD, ya que el tiempo de acceso a la tarjeta y escritura de datos es muy pequeño alrededor de los 0,5ms.

## IX. RECOMENDACIONES

La implementación comercial de un dispositivo que cuente con las características del prototipo diseñado para este proyecto, tomando en cuenta las mejoras que se proponen, resultaría ser muy beneficiosa para el control de tiempos de recorrido en las cooperativas de buses, pues con ayuda de la tecnología se puede evitar la actividad incomoda en la que una persona debe bajar del bus, arriesgando en muchas ocasiones su seguridad por tratar de llegar al punto de control a tiempo.

Resultaría muy interesante la difusión del conocimiento de microcontroladores ATMEL en el Departamento de Eléctrica y Electrónica, pues cuentan con herramientas de desarrollo que facilitan la programación y optimizan el tiempo que puede ser usado para el desarrollo de mayor cantidad de aplicaciones.

El funcionamiento óptimo del prototipo se garantiza a velocidades menores a 120km/h, por lo tanto se recomienda que los conductores respeten las velocidades establecidas para su circulación dentro de la ciudad.

Las pruebas realizadas mostraron que los dispositivos se comunican sin temor a pérdidas de información con el transmisor conectado en un lugar despejado y

levantado del piso unos 2m, el receptor fue ubicado en el panel del bus y del automóvil, por lo tanto para obtener un desempeño óptimo se recomienda colocar a los dispositivos de forma parecida a la descrita.

El archivo de Excel donde se almacenan los tiempos de control de las unidades de bus ofrece varias funcionalidades al administrador, quien a más de verificar el cumplimiento de tiempos, podrá usar los datos para determinar cuáles son los sitios de mayor congestión por el tiempo en el que el bus demora en retirarse de las inmediaciones del punto de control donde se encuentra ubicado el transmisor.

## REFERENCIAS

- [1] Localización Automática de Vehículos". Padilla, Jhon. Bucaramanga: s.n., 2005.
- [2] José, Angulo. Microcontroladores PIC. Diseño Práctico de Aplicaciones. s.l.: McGraw-Hill, 2006.
- [3] José, Angulo. MicrocontroladoresPIC.La Clave del Diseño. s.l.: McGraw-Hill, 2003.
- [4] Tecnología RFID. Magazine, RFiD. 2005.
- [5] José, Ciudad. Estudio, Diseño, y Simulación de un Sistema RFID basado en EPC. 2005.
- [6] Estudio, Diseño y Simulación de un Sistema RFID basado en EPC. José, Ciudad. 2005.
- [7] Jordi, Bartolomé. [En línea] 01 de 06 de 2004. [Citado el: 7 de 05 de 2008.] [www.tolaemom.com/otros/mmcard.htm](http://www.tolaemom.com/otros/mmcard.htm).
- [8] Clive, Seager. Webelectronica. [En línea] [Citado el: 08 de 05 de 2008.] [www.clubse.com.ar/download/pdf/notasrevistas08/nota01.htm](http://www.clubse.com.ar/download/pdf/notasrevistas08/nota01.htm).
- [9] MCS Electronics. [En línea] [Citado el: 26 de 05 de 2008.] [www.mcselec.com](http://www.mcselec.com).
- [10] Selecting the Optimal Frequency for GobalApplications in Active RFID. Technologies, Savi. Inc., LaipcaTechnology. Laipac. [En línea] 2007. [Citado el: 19 de 05 de 2008.] [www.laipac.com](http://www.laipac.com). \_

# Diseño e implementación de un prototipo de identificación de objetos de uso común, dirigido a personas con discapacidad visual

Franklin Pacheco, Jaime Andrango y Julio Larco

**Resumen**— El presente artículo describe el desarrollo de un dispositivo electrónico que sirve como una ayuda a las personas no videntes para la identificación de objetos, que por su naturaleza resultan difíciles de hacerlo por medio del tacto u otros sentidos. El dispositivo creado es capaz de asociar mensajes de voz a los objetos e indicar la hora de manera audible. El prototipo está compuesto por un dsPIC30F4013 que se encarga de todas las operaciones de procesamiento digital de las señales y del control del sistema, un módulo lector/escritor RFID para identificar a los tags adheridos a los objetos, un CODEC de voz para las conversiones A/D y D/A, una memoria SD para almacenar los mensajes de voz digitalizados y el circuito integrado reloj de tiempo real DS1307.

**Palabras clave**— Personas no videntes, dsPIC30F4013, RFID.

## I. INTRODUCCIÓN

DE acuerdo con datos del Consejo Nacional de Discapacidades (CONADIS), existen 363.000 personas con discapacidad visual en Ecuador, de un total de 1'600.000 personas con algún tipo de discapacidad [1].

Además, solamente 10,1% de personas con alguna discapacidad física usan ayudas técnicas mientras que el 89,9% no las usan [2]. Es más, al hablar de la población no vidente esta carencia de ayudas tecnológicas se hace más notoria puesto que mediante una entrevista realizada al CEFOCLAC (Centro de Formación y Capacitación Laboral para Ciegos) se pudo constatar que ninguno de los no videntes poseía algún tipo de dispositivo electrónico que les ayude en su desenvolvimiento diario, la mayoría solamente cuenta con un simple bastón, y uno que otro posee un reloj audible.

La mayoría de personas con discapacidad visual se desenvuelven relativamente bien dependiendo del medio en el que se encuentran. En todo el mundo se han desarrollado algunos dispositivos que sirven como ayuda a personas no videntes, tal es el caso del bastón que mediante ultrasonidos puede identificar posibles obstáculos grandes, relojes audibles, textos escritos en

lenguaje braille y hablados, etc.; además, muchas personas no videntes gracias a varios años de práctica han logrado desarrollar sus otros sentidos y perfeccionarse en el uso del bastón para identificar objetos grandes, conocer caminos, identificar fragancias, sabores, sonidos, y formas, pero sólo pueden hacerlo con objetos conocidos para ellos y que presenten una diferencia notoria entre sí para que pueda ser identificado por los sentidos del no vidente, por tal razón siempre ha sido necesaria la colaboración de otra persona para ayudarles con los objetos que resultan difíciles de identificar, pues la única forma sería si el objeto emitiera un mensaje audible.

Es pertinente indicar que en el Departamento de Eléctrica y Electrónica ya se ha desarrollado un dispositivo que permite asociar etiquetas audibles para identificar objetos. Para este dispositivo se realizaron encuestas basadas en pruebas reales del producto; estas pruebas se hicieron a usuarios no videntes, y de los cuales se determinaron limitaciones en la funcionalidad, mismas que se indican a continuación: el dispositivo permite almacenar únicamente alrededor de 80 etiquetas de voz de una duración promedio de 5 segundos, el dispositivo es muy grande por lo cual resultaba un tanto complicado su manipulación y portabilidad; además, los usuarios sugirieron que este dispositivo cuente con un reloj audible. Precisamente el objetivo del presente trabajo es diseñar un nuevo dispositivo utilizando otros chips para suplir estas limitaciones y agregar características adicionales que permitan mejorar el día a día de las personas no videntes.

## II. DISEÑO DEL SISTEMA

El sistema básicamente lo que hace es asociar mensajes de voz a *tags* RFID que serán adheridos en cada objeto a identificar. De esta manera el usuario podrá escuchar un mensaje audible que le indicará de qué objeto se trata. En la Figura 1 se muestra de manera gráfica el funcionamiento de la solución propuesta.

### A. Diseño del Hardware

De acuerdo a las necesidades identificadas en las personas no videntes, se determinaron los siguientes requerimientos.

- 1 El dispositivo debe contar con un reducido número de pulsadores para no causar una

---

Franklin Pacheco, Jaime Andrango y Julio Larco, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Departamento de Electrónica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército, ESPE, Sangolquí, Ecuador, E-mails: jandrango@espe.edu.ec, jlarco@espe.edu.ec.

complejidad en la manipulación y operación del dispositivo.

- 2 Todos los avisos deben ser audibles.
- 3 Se debe poder almacenar una gran cantidad de mensajes de voz para poder identificar una gran cantidad de objetos.
- 4 El dispositivo debe ser pequeño y portátil.
- 5 El dispositivo debe disponer de una fuente de alimentación portable y recargable.

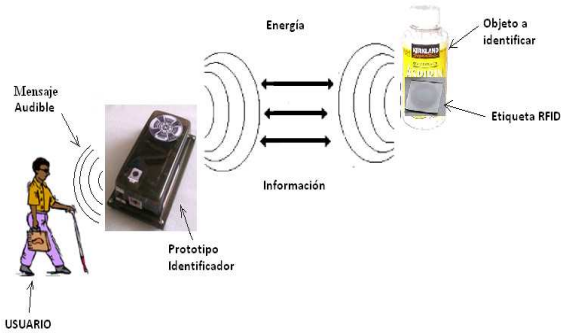


Fig. 1. Funcionamiento de la propuesta planteada

El diagrama de bloques del sistema se puede apreciar en la Figura 2. El sistema funciona de la siguiente manera:

1. Tres pulsadores son utilizados. El pulsador 1 se utiliza para identificar el objeto deseado, el pulsador 2 se utiliza para escuchar la hora y el pulsador 3 se utiliza para poder igualar la hora. Además cada pulsador tiene otras funciones adicionales, por ejemplo cuando se presiona el pulsador 1 para identificar un objeto, y el mensaje asociado se está reproduciendo, se puede eliminarlo presionando el pulsador 2 o el pulsador 3. Cuando se presiona el pulsador 3 para igualar la hora, el valor de horas y minutos se irá incrementando con el pulsador 1.
2. Se utiliza un dsPIC30F4013 para la gestión y control del sistema además del procesamiento de los datos digitales de voz.
3. Hay un módulo lector/escritor RFID para identificar a los tags adheridos a los objetos deseados.
4. Se utiliza un CODEC de voz que trae integrado conversores A/D y D/A, además de un preamplificador para micrófono, ganancias y un filtro digital pasa bajos, con lo cual se reduce bastante el tamaño de la circuitería total.
5. Para el almacenamiento de los mensajes digitalizados de voz se utiliza una tarjeta de memoria de almacenamiento masivo como la MMC o SD card.
6. Es necesario la utilización de una etapa de amplificación a la salida del CODEC debido a que se encuentra diseñado para parlantes audífonos.

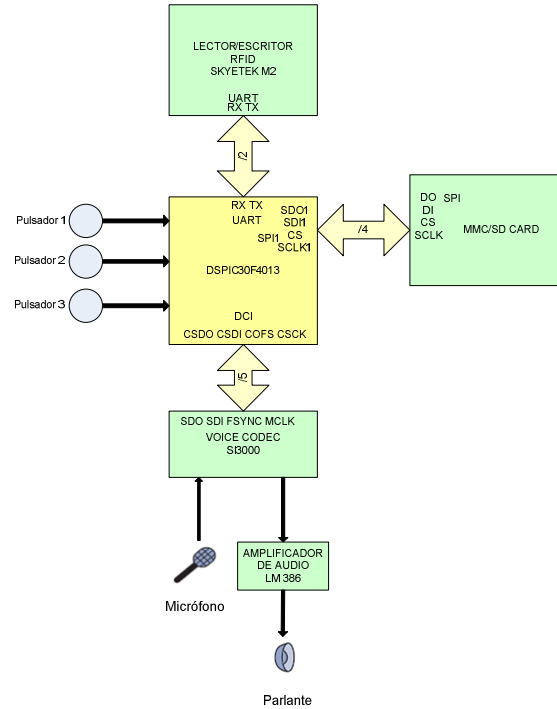


Fig. 2. Diagrama de bloques del sistema

El lector/escritor de RFID utilizado es el SkyeModule M2 de la empresa SkyeTek el cual trabaja en HF a 13.56 MHz, presenta reducidas dimensiones, excelente relación costo-beneficio y posee varias interfaces de comunicación con dispositivos externos [5].

En el presente trabajo se ha utilizado el módulo UART para la comunicación con el dsPIC, esta conexión se observa en la Figura 3.

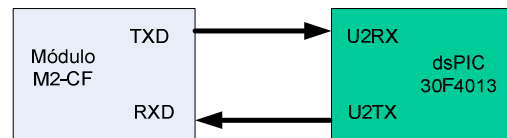


Fig. 3. Conexión entre el dsPIC y el SkyeModule

Se utilizó el Si3000 *Voice CODEC* pues integra en un solo chip un convertor A/D y un D/A de 16 bits, además dispone de un preamplificador programable para el micrófono el cual puede dar una ganancia de hasta 30 dB, adicionalmente cuenta con ganancias o atenuaciones programables para los datos digitales, incluye también un filtro pasa altos (a partir de los 100 Hz) y un filtro digital pasa bajos (3400 Hz) que puede ser FIR o IIR. [6]. Este chip es ideal para trabajar en aplicaciones de telefonía dado que fue diseñado para voz.

La comunicación entre el dsPIC y el Si3000 se hace mediante el módulo DCI y se puede apreciar en la Figura 4.

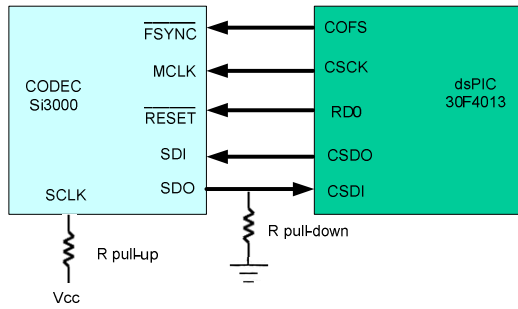


Fig. 4. Conexión entre el Si3000 y el dsPIC 30F4013

La conexión del micrófono se vuelve sencilla al utilizar el Si3000, puesto que éste incluye un MBIAS para la alimentación del micrófono. Su conexión se observa en la Figura 5.

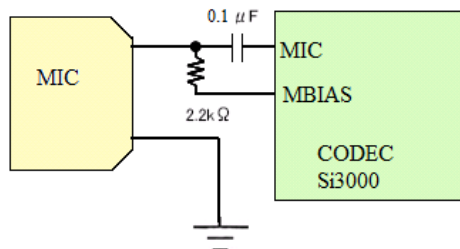


Fig. 5. Conexión del micrófono con el Si3000

Para la etapa de salida al parlante se utilizó una etapa previa de amplificación debido a que el CODEC Si3000 está diseñado específicamente para salidas de baja potencia como por ejemplo para audífonos y auriculares.

La etapa de amplificación se realizó con el circuito integrado LM386 el cual es un amplificador de potencia de audio de bajo voltaje fácil de utilizar y que requiere una circuitería pequeña. Su conexión se muestra en la Figura 6.

Se utilizó una memoria SD o MMC debido a que es muy conocida y utilizada principalmente en cámaras digitales, teléfonos celulares y PDA, por lo que se la puede adquirir con facilidad, además en la actualidad se disponen de memorias SD con capacidad de hasta 8 GB. [7].

La utilización de este tipo de memorias resulta sencilla si se utiliza el protocolo SPI pues es soportado por el dsPIC. La conexión entre los dos dispositivos se observa en la Figura 7.

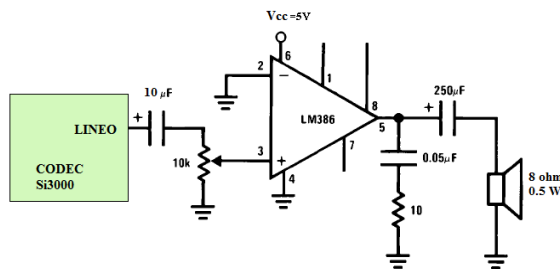


Fig. 6. Conexión entre el Si3000 y el amplificador LM386

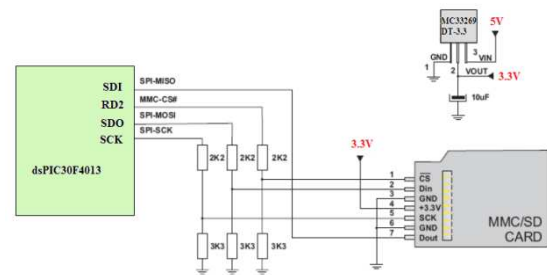


Fig. 7. Conexión entre el dsPIC y la SDcard

Es el que se encarga de todas las operaciones de control del sistema y del procesamiento digital de las señales de voz.

Los dsPIC son dispositivos DSC (*Digital SignalController*) que reúnen las características de un microcontrolador PIC de 16 bits y las de un DSP (*Digital SignalProcessor*) de gama baja. En otras palabras se parece mucho a un MCU en cuanto a la arquitectura, repertorio de instrucciones y precio, pero con el rendimiento y las prestaciones de un DSP.

Se optó por utilizar el dsPIC30F4013 debido a que es un chip que posee todas las interfaces de comunicación requeridas, es decir SPI, I<sup>2</sup>C, UART y DCI, tiene la suficiente cantidad de pines entrada/salida y además de venir en el encapsulado TQFP para montaje superficial, también viene en encapsulado PDIP para su utilización en projectboard. El dsPIC30F4013 es el modelo más básico que incluye el módulo DCI ya que los dsPIC de numeración más baja no lo poseen.

### B. Diseño del Software

La secuencia de instrucciones y procesos que debe realizar el dsPIC30F4013 se visualizan en los diagramas de flujo, los cuales se muestra en las Figuras 8, 9, 10 y 11.

En el diagrama de flujo del programa principal lo que se hace es inicializar y configurar todos los módulos utilizados como lo son el UART, SPI, DCI e I<sup>2</sup>C, además de variables, puertos e interrupciones necesarias.

En el diagrama de flujo de la interrupción externa 0 se determina la acción a realizar en base a comparaciones de los valores de las variables *Bandera 1* y *Bandera 2*, así se determina si se debe reproducir la hora, igualar la hora en caso de que no se la haya configurado previamente o eliminar un mensaje guardado cuando se lo está reproduciendo.

En el diagrama de flujo de la interrupción externa 1 se determina la acción a realizar en base a comparaciones de los valores de la variable *Bandera 1*, así se determina si se debe igualar la hora o eliminar un mensaje guardado cuando se lo está reproduciendo.

En el diagrama de flujo de la interrupción externa 2 se determina la acción a realizar en base a comparaciones de los valores de la variable *resp\_dato* y si se detectó o no un *tag* próximo, así se determina si se debe reproducir el mensaje de voz asociado al *tag*, permitir guardar un nuevo mensaje cuando se trate de un *tag* nuevo no hacer nada.

### III. PRUEBAS Y RESULTADOS

Se realizaron varios tipos de pruebas para determinar la distancia de lectura del dispositivo con distintos tipos de tags y bajo diversos tipos de interferencia como por ejemplo al interponer una placa de plástico entre el lector y el tag. También se realizaron pruebas para determinar el consumo real de corriente de cada elemento principal del sistema cuando se encuentran en estado activo y en estado de ahorro de energía.

#### A. Prueba de distancia máxima de lectura

En la prueba A se han medido las distancias máximas a las cuales pueden ser leídos distintos tipos de tags. Los resultados se muestran en la Tabla I.

#### B. Prueba de distancia máxima de escritura

En la prueba B se ha medido la distancia máxima de lectura a la cual el lector puede identificar un mismo tag cuando entre él y el lector se interpone una placa de distinto material. En este caso se usó el tag RI-TH1-CB3A-00. Los resultados de la prueba B se muestran en la Tabla II.

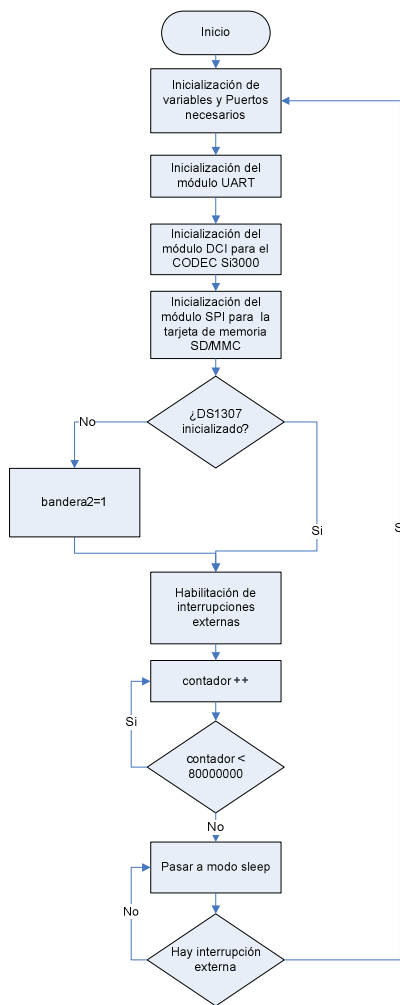


Fig. 8. Diagrama de flujo del programa principal del dsPIC30F4013

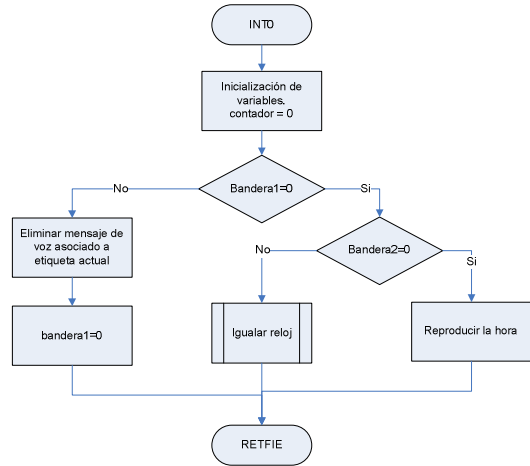


Fig. 9. Diagrama de flujo de la Int.externa 0

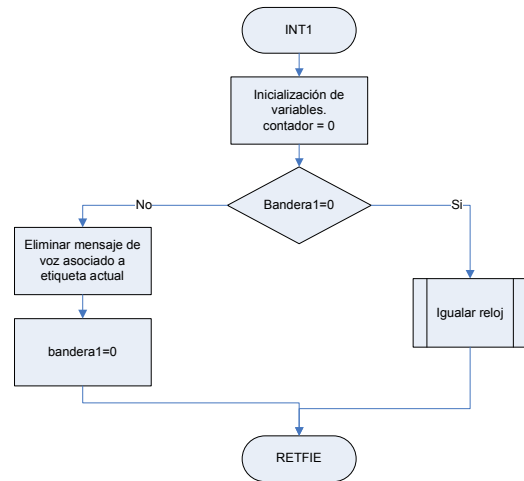


Fig. 10. Diagrama de flujo de la Int.externa 1.

TABLA I.  
RESULTADOS DE LA PRUEBA A

TAGS UTILIZADOS	DISTANCIA MÁXIMA
LRI2K-A1S/1GE	6.5 cm
RI-I17-114A-S1	3.3 cm
RF-HDT-DVBE-N0	3.7 cm
RI-I16-112A	3 cm
RI-I17-112A-03	3.8 cm
RI-I15-112B-02	4.8 cm
RI-TH1-CB3A-00	4.5 cm
RI-I17-114A-01	3.5 cm



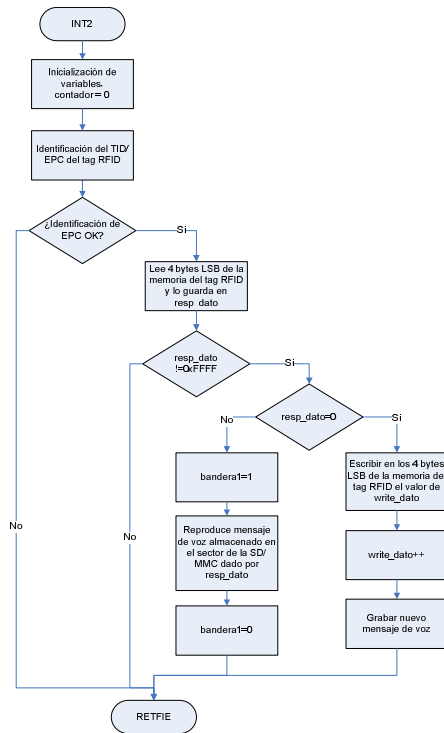


Fig. 11. Diagrama de flujo de la Int.externa 2.

TABLA II.  
RESULTADOS DE LA PRUEBA B

MATERIAL	DISTANCIA MÁXIMA
Aire	4.5 cm
Plástico	4.2 cm
Papel	4.3 cm
Cartón	4.2 cm
Madera	3.9 cm
Espuma flex	3.5 cm
vidrio	4.5 cm
tela	4.5 cm
Aluminio	0 cm
Acero	0 cm

### C. Prueba de consumo de corriente

En la Prueba C se midió el consumo de corriente real de cada uno de los componentes principales del sistema tanto en modo de operación activo, como en modo de operación de ahorro de energía. Los resultados de la Prueba C se muestran en la Tabla III.

### D. Prueba de tiempo de operación

En la Prueba D se ha medido el tiempo de operación que permite la batería utilizada tanto en modo activo continuo, es decir como si todo el tiempo se estuviese utilizando el dispositivo identificador, y en modo de

ahorro de energía. Los resultados de la Prueba D se muestran en la Tabla IV.

## IV. DISPOSITIVO CREADO

El dispositivo que se creó cumple con los requerimientos de diseño especificados anteriormente. Sus partes principales se muestran en la Figura 13.

1. Pulsador 1: Indicar la hora.
2. Pulsador 2: Identificar objeto.
3. Pulsador 3: Igualar reloj.
4. Entrada de alimentación externa. Cargador (5V).
5. Switch ON/OFF.
6. Micrófono
7. Parlante
8. Entrada de SD/MMC

TABLA III.  
RESULTADOS DE LA PRUEBA C.

COMPONENTE	CONSUMO DE CORRIENTE EN MODO ACTIVO	CONSUMO DE CORRIENTE EN MODO AHORRO DE ENERGÍA
Tarjeta de memoria SD/MMC	9.3 mA	0.8 mA
Codec Si3000	8 mA	1.2 mA
SkyeModule M2-CF	70.2 mA	2.1 mA
RTC DS1307	1.1 mA	110 $\mu$ A
LM386	19.4 mA (sólo cuando suena el parlante)	4.2 mA
Micrófono	0.2 mA	0.2 mA
dsPIC30F4013	110mA	2.4 mA
SISTEMA TOTAL	210 mA	20.2 mA

TABLA IV.  
RESULTADOS DE LA PRUEBA D.

MODO DE OPERACIÓN	TIEMPO
Activo Continuo	3h. 8min.
Ahorro de energía	32 horas

## V. CONCLUSIONES

Con el desarrollo del presente trabajo se ha conseguido dar una solución a una problemática real de un sector descuidado de la sociedad como lo es la población no vidente, así esta solución facilita la realización de sus actividades cotidianas permitiendo una mayor independencia de terceros.

El hecho de haber utilizado un CODEC de voz para la conversión analógica/digital y digital/analógica

permitió optimizar el sistema en cuanto a hardware pues se redujo enormemente la circuitería necesaria ya que de no hacerlo se habría requerido realizar un circuito preamplificador de micrófono, además de un filtro que permita solamente el paso de las señales de voz, circuitos que ventajosamente están integrados en el CODEC mencionado. Por otro lado, el software se volvió más complejo que si se hubiesen usado conversores A/D y D/A por separado pues muy pocos compiladores tienen librerías para DCI.

El CODEC de voz utilizado, el Si3000, además de los conversores A/D, D/A, filtro pasabanda digital y preamplificador, incluye también ganancias adicionales, pero a pesar de ello fue necesario realizar una etapa de amplificación de audio adicional para la salida del parlante, esto se debe a que el Si3000 está diseñado para aplicaciones de telefonía, por lo tanto maneja exclusivamente auriculares y audífonos los cuales trabajan con baja potencia. De todas maneras el circuito amplificador de audio utilizado es muy sencillo con lo cual no se incrementó significativamente el tamaño del circuito total.

Para trabajar con la tarjeta de memoria SD se utilizó el protocolo de comunicación SPI, el cual es el más sencillo de los dos permitidos por este tipo de memorias, la desventaja es que al trabajar con SPI solamente se puede utilizar la cuarta parte de la velocidad de transferencia de datos especificada. No se pudo trabajar con el protocolo propio de las memorias SD debido a que es un protocolo licenciado, es decir que hay que pagar derechos de utilización, dichos derechos cuestan alrededor de 1500 dólares americanos.

## VI. RECOMENDACIONES

Cuando se vaya a trabajar con CODECs de voz y audio, se recomienda analizar muy bien el dsPIC que se va a utilizar puesto que no todos los dsPIC manejan la interfaz de comunicación DCI, necesaria para la comunicación con CODECs. Actualmente el dsPIC más básico de la familia dsPIC30F que maneja el protocolo DCI es el dsPIC30F4013.

En el momento de almacenar un nuevo mensaje de voz se recomienda hacerlo en un entorno libre de ruidos externos puesto que éstos también serán almacenados como parte del mensaje de voz.

Para que el dispositivo identificador detecte adecuadamente a un tag RFID colocado en un objeto, se recomienda que entre ambos no se interpongan metales debido a que éstos reflejan las ondas electromagnéticas y no permiten la comunicación.

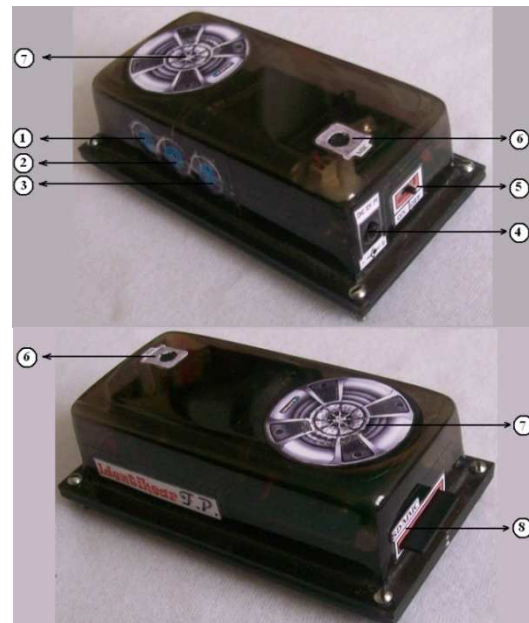


Fig. 13. Partes principales del dispositivo identificador

## REFERENCIAS

- [1] "Distribución de las personas con discapacidad por tipo de deficiencia", <http://www.conadis.gov.ec/estadisticas/principal.html>, consultado el 4 de febrero de 2008.
- [2] "Porcentaje de personas con discapacidad que usan ayudas técnicas", [http://www.conadis.gov.ec/images/g14\\_ayudastecnicas.jpg](http://www.conadis.gov.ec/images/g14_ayudastecnicas.jpg), consultado el 4 de febrero de 2008.
- [3] "Tecnología RFID: Introducción", [http://www.mas-rfid-solutions.com/docs/RFID\\_introduccion.pdf](http://www.mas-rfid-solutions.com/docs/RFID_introduccion.pdf), Fecha de publicación: 12/12/2005, consultado el 13 de marzo de 2008.
- [4] ANGULO, José María, dsPIC Diseño Práctico de Aplicaciones, Tomo 1, primera edición, editorial McGraw Hill, Publicado en España 2006
- [5] Skyetek, "SkyeModule M2", [http://www.skyetek.com/Portals/0/Documents/Products/SkyeModule\\_M2\\_DataSheet.pdf](http://www.skyetek.com/Portals/0/Documents/Products/SkyeModule_M2_DataSheet.pdf), consultado el 25 de marzo de 2008.
- [6] SiliconLaboratories, "Si3000 voicebandcodecwithmicrophone/speaker drive", <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/SiliconLaboratories/mXvtzqw.pdf>, consultado el 10 de abril de 2008.
- [7] Microchip, "dsPIC30F3014, dsPIC30F4013 Data sheet", <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70138c.pdf>, consultado el 2 de junio de 2008.

# Diseño e implementación de un prototipo de silla de ruedas eléctrica para la enseñanza en el manejo, conducción y orientación a personas con limitaciones físicas y adultos mayores

Christian Montenegro, Edwin Villagrán, Paúl Ayala, Jaime Andrago

**Resumen**— El presente proyecto se lleva a cabo con la finalidad de ayudar a personas con limitaciones físicas o adultos mayores en el proceso de independencia y reincorporación en la sociedad. Se planteó realizar el rediseño, implementación, puesta en funcionamiento y adaptación del sistema controlador al chasis para la silla de ruedas marca SUNRISE MEDICAL modelo QUICKIE Z-500. El sistema esta compuesto de módulos de manejo (local, inalámbrico). El módulo de manejo local esta encargado de interpretar las señales provenientes del joystick para así dar movimiento a la silla de ruedas en cuatro direcciones, adelante, atrás, izquierda, derecha; la velocidad de desplazamiento de la silla en cada una de las direcciones esta gobernada por el joystick local y dependerá de cuan rápido se pueda ir de acuerdo a las normas establecidas. El módulo de manejo inalámbrico cumple una función semejante al mando local con la diferencia que posee velocidades prefijadas para cada una de las direcciones, puesto que es necesario tener una mayor seguridad para el manejo. El modulo de control local se compone de diversas etapas, principalmente la etapa de control que realizara la comunicación sobre el Driver Sabertooth que corresponde a la etapa de potencia. Debido al requerimiento para dar alimentación a los componentes se utilizó 2 baterías acidas cada una de 12 Voltios.

**Palabras clave**— personas con limitaciones físicas, silla de ruedas, QUICKIE Z-500.

## I. INTRODUCCIÓN

EN la actualidad las sillas de ruedas eléctricas en el Ecuador no se las utiliza con frecuencia debido al alto costo en el mercado, se pretende desarrollar un modelo a un menor costo y con una mayor prestación.

La importancia de este proyecto radica en poner en funcionamiento a la silla cumpliendo con las condiciones de operación estándar para éste tipo desistemas y que permita al usuario desplazarse de forma libre dentro de su área de trabajo.

---

Christian Montenegro, Edwin Villagrán, Paúl Ayala y Jaime Andrago, Carrera de ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control, Departamento de Electrónica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército, ESPE, Sangolquí, Ecuador, E-mails: payala@espe.edu.ec, jandrango@espe.edu.ec.

## II. NORMAS DE SEGURIDAD PARA LAS SILLAS DE RUEDAS

- Para acompañantes
- Limite de peso
- Rampa, cuesta o montículo
- Condiciones del Terreno

## III. SELECCIÓN DE COMPONENTES

### A. Sabertooth Dual 25A Motor Driver

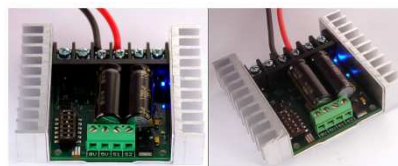


Fig. 1. Sabertooth 25A motor driver

El Sabertooth 2X25 es uno de los controladores de doble motor más versátil, eficiente y fácil de usar existente en el mercado (Figura. 1). Es adecuado para robots de alta potencia - de hasta 100 libras en combate o 300 libras de propósito general para la robótica. Fuera de la caja, Sabertooth puede suministrar corriente a dos motores de con un máximo de 25A cada uno. Soporta picos de corriente de 50A por canal durante unos pocos segundos. Cuenta con protección térmica y de sobrecarga, esto significa que no habrá que preocuparse si se atasca el motor o por conectar un motor que exija mayor corriente (superior a 25Amp). Sabertooth permite controlar dos motores mediante: voltaje analógico, radio control, comunicación serial y envío de paquetes serial. Se puede construir muchos robots de complejidad cada vez mayor con un Sabertooth. Sabertooth maneja de manera independiente, la velocidad y dirección de cada uno de los motores, convirtiéndolo en ideal para sillas de ruedas, robots y mucho más.

El modo de funcionamiento se establece con los interruptores DIP a bordo, de modo que no hay jumpers que se puedan perder o salir. Sabertooth posee conectores de terminal de tornillo lo que hace posible

construir un sistema de control sin necesidad de soldadura.

Sabertooth es el primer controlador para motores sincrónico regenerativo en su clase. La topología de regeneración significa que las baterías se recargan cada vez que se realice una inversión de giro o cuando se realiza el proceso de disminución de velocidad o paro. Sabertooth posee un tiempo de respuesta muy rápido lo que permite hacer paradas rápidas y cambiar el sentido de giro en tiempo real.

### B. Batería BOSCH S5 50Ah



Fig. 2. Baterías Bosch

La nueva línea de Baterías Bosch SilverStar cuenta con rejillas con geometría innovadora y plata en su composición, brindando alta performance en cualquier situación. Estos productos representan una evolución en baterías: son totalmente libres de mantenimiento, selladas y con la avanzada tecnología de rejillas expandidas y aleación de plata, lo que asegura alta durabilidad y un mayor rendimiento que las baterías convencionales.

### C. Cargador Schumacher SSC 1000 A

Este cargador automático de baterías, permite una carga de hasta 10 – 6 - 2 amperios autoajutable dependiendo del tipo de batería, para prevenir daños en carros, camiones y equipo agrónomo, incluye un sistema de carga para varios tipos de baterías como son las ácidas, gel y ciclo profundo.



Fig. 3. Cargador de batería SchumacherSSC 1000A

### D. Comunicación Inalámbrica

La comunicación inalámbrica es el tipo de comunicación en la que no se utiliza un medio de propagación físico alguno esto quiere decir que se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas, las cuales se

propagan por el espacio sin un medio físico que comunique cada uno de los extremos de la transmisión. En ese sentido, los dispositivos físicos sólo están presentes en los emisores y receptores de la señal, como por ejemplo: Antenas, Laptops, PDAs, Teléfonos Celulares, etc.

### E. Módulo Transmisor TLP – 434A



Fig. 4. Módulo transmisor TLP – 434A

El módulo transmisor tiene una potencia de salida de hasta 8mW a 433.92 MHz, alcanzando distancias de aproximadamente 140 metros en espacios abiertos (línea de vista) y de 60 mts en espacios internos donde se encuentran obstáculos como paredes, separadores en oficinas, etc. Este tipo de transmisor acepta señales lineales y digitales de entrada y opera con un voltaje de 3 a 12 voltios.

### F. Módulo Receptor RLP – 434



Fig. 5. Módulo Receptor RLP – 434A

El módulo receptor opera a 433.92 MHz y tiene una sensibilidad de 3 uV, opera con un voltaje de alimentación entre 4,5 y 5,5 voltios de corriente continua, posee una salida lineal y una digital, además contiene un capacitor variable para el ajuste de la frecuencia de recepción utilizando un destornillador plástico.

### G. Codificador HT – 12E



Fig. 6. Codificador HT – 12E

Loscodificadores 212 son una serie de CMOS de baja escala de integración para aplicaciones de control remoto. Tienen la capacidad de codificar información la cual consiste de N bits de direcciones y 12 – N bits de datos. Cada entrada de dirección/dato puede ser puesta

en uno de los dos estados lógicos. La dirección y datos son transmitidos juntos con los bits de cabecera vía RF o mediante transmisión infrarroja cuando se activa el habilitador TE (transmitenble), esto hace fácil de usar.

#### H. Decodificador HT – 12D



Fig. 7. Decodificador TH – 12D

Los decodificadores  $2^{12}$  son una serie de CMOS de baja escala de integración para aplicaciones de control remoto.

Los decodificadores reciben la dirección y el dato en forma serial la cual fue enviada por el codificador vía RF. Compara la entrada de datos tres veces continuamente con la dirección local. Si la dirección es la misma que la del decodificador la información recibida es decodificada y entonces transmitida a los pines de salida. El pin VT se pone en alto para indicar una transmisión válida.

#### I. Antenas

Una antena es un dispositivo diseñado con el objetivo de emitir o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre. Una antena transmisora transforma corrientes eléctricas en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa.

En el caso que las antenas estén conectadas por medio de guía de ondas, esta función de transformación se realiza en el propio emisor o receptor.

#### J. Joystick local Logitech Attack 3

La palanca de mando permite realizar movimientos en 4 direcciones: adelante, atrás, derecha e izquierda, de acuerdo a la figura 10, mientras más se presione en una dirección mayor será la rapidez de los motores de la silla, si la palanca permanece en el punto central la silla estará en reposo.



Fig. 8. Antena WLP – 434 RF, Antena tipo lámpara de cuarzo de onda

### IV. DISEÑO DE LOS MÓDULOS DE CONTROL

#### A. Controlador Principal

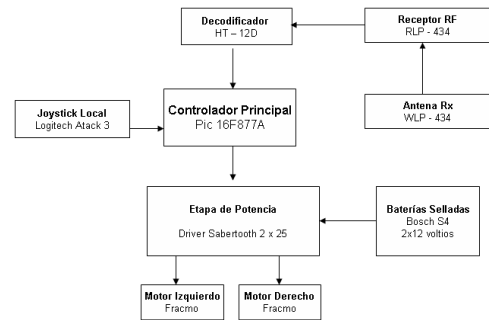


Fig. 9. Diagrama de bloques del controlador principal

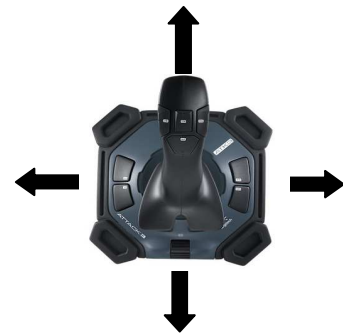


Fig. 10. Ejes de movimiento del Joystick

#### B. Etapa de Potencia Driver Sabertooth 2 x 25

El driver Sabertooth está configurado para trabajar mediante comunicación serial a 9600 bauds, como se muestra en la figura. 11, que permita realizar el control de giro y velocidad de cada motor en forma independiente, para que el driver funcione a 24V dc con baterías ácidas selladas, esto se logra posicionando adecuadamente el juego de DIP switch que contiene internamente.

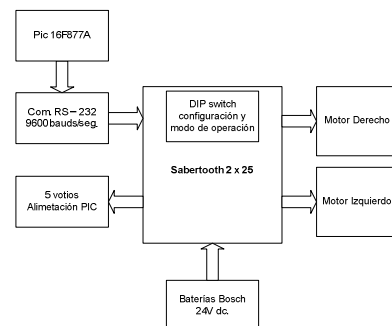


Fig. 11. Diagrama de bloques de Sabertooth 2x25

### C. Control inalámbrico

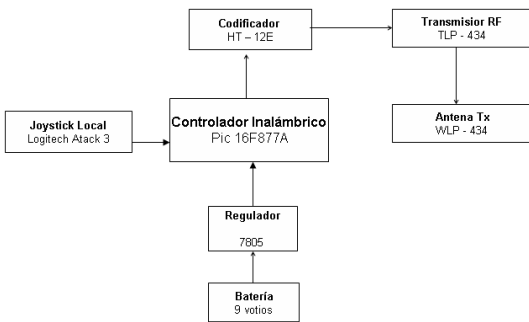


Fig. 12. Diagrama de bloques del controlador inalámbrico

### VI. CIRCUITO DE CONEXIÓN MÓDULO INALÁMBRICO

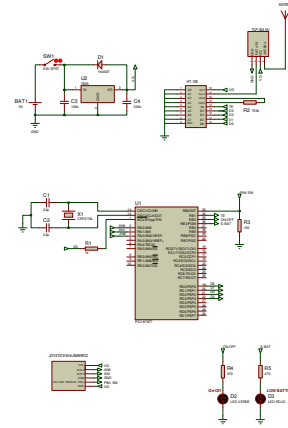


Fig. 15. Circuito de Conexión Módulo Inalámbrico

### V. CIRCUITO DE CONEXIÓN MÓDULO LOCAL

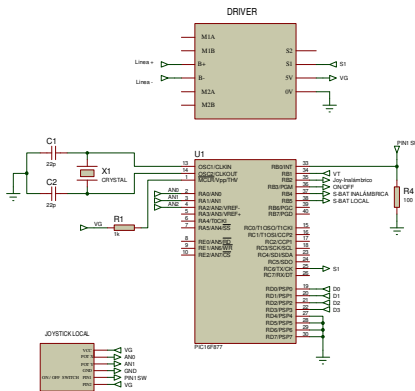


Fig. 13. Circuito de Conexión Módulo Local (1/2)

### VII. CIRCUITO DE CONEXIÓN PARA CARGA DE BATERÍAS

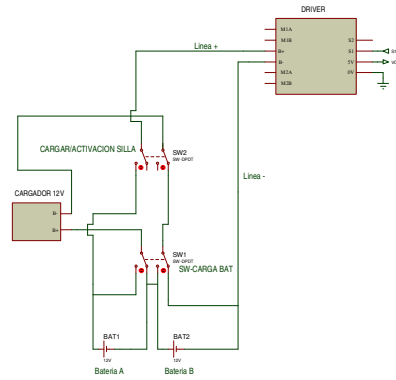


Fig. 16. Circuito de Conexión Para Carga de Baterías

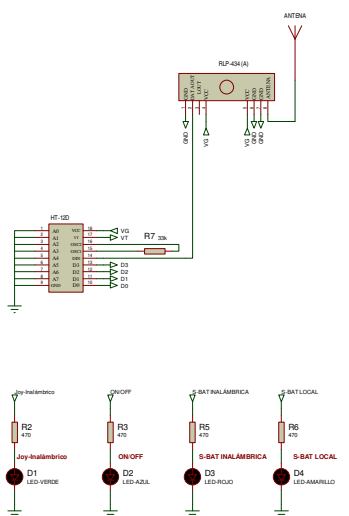


Fig. 14. Circuito de Conexión Módulo Local (2/2)

### VIII. RESULTADOS

Ya culminado el prototipo se obtiene un producto con características tales que permite competir con las sillas de ruedas del mercado, es una innovación presentar un mando inalámbrico el cual permite manejar la silla a distancia desde una ubicación remota permitiendo al usuario dejarle la responsabilidad de manejo a una persona quien será su guía.

Como los componentes adquiridos casi en su totalidad existen en el mercado nacional el costo total de la silla es relativamente menor a los modelos que se encuentran a la venta, pues estos superan los 4.000 dólares.

Se obtuvo como resultado un sistema de apoyo y ayuda a personas con limitantes físicas que cumplen con estándares y normas de seguridad. El diseño permite a la persona entrar en un proceso de rehabilitación y reincorporación en la sociedad, permitiéndole desempeñarse en varios campos como pueden ser laboral, social, deportivo entre otros ya que le brinda al usuario autonomía y libertad de desempeño.



Fig. 17. Prototipo concluido



Fig. 18. Mando inalámbrico – Mando local



Fig. 19. Cargador y Cable para Batería 9V



Fig. 20. Controlador principal y cargador



Fig. 21. Vista posterior del prototipo



Fig. 22. Entrega del prototipo en la FUNDACIÓN VISTA PARA TODOS



Fig. 23. Ceremonia de entrega, Diseñadores: Ricardo Montenegro, Javier Villagran Beneficiaria: Sra. Magali Ijujes, Autoridades: Grab. Rubén Navia Rector de la Escuela Politécnica del Ejército Vicepresidente de la Fundación Vista Para Todos - Doctor Diego Nieto

## IX. CONCLUSIONES

Una vez llevado a cabo el diseño e implementación del prototipo de silla de ruedas se ha logrado determinar que el modelo puesto en funcionamiento cumple con las características básicas y necesarias para la autonomía de personas con limitaciones físicas, brindando comodidad, seguridad, facilidad de manejo, y en si un medio para el desarrollo y superación personal.

El sistema electrónico de control y manejo se mejoro por la adición de un mando de manejo inalámbrico no solo porque es un medio que permite manipular la silla a distancias remotas sino que permite asistir, guiar y controlar los movimientos con la cual cuenta la silla.

Después del análisis pertinente en la selección de componentes, se concluyo que NO todos los elementos a utilizar en el diseño se encontraban en el mercado nacional.

Puesto que los módulos de comunicación Laipac no son diseñados para la comunicación exclusiva de datos, se opto por utilización de un codificador y decodificador para la transmisión de los datos y de esta manera evitar la interferencia y ruido en la recepción de la información.

Se estudió la manera para el manejo de la etapa de potencia, acople de la misma con la etapa de control, por un lado realizarla a través de elementos discretos como

transistores de potencia, pero mediante una investigación exhaustiva se encontró que la vía mas óptima y eficaz fue realizarla mediante el uso del driver Sabertooth pues permite el control de la velocidad y giro de los motores de una forma mas sencilla con el envío de datos seriales del microcontrolador, y a su vez posee una fuente de voltaje de 5v la cual permite alimentar directamente y sin complicaciones a toda la etapa de control. Sabertooth es el primer controlador para motores sincrónico regenerativo en su clase lo cual significa que las baterías se recargan cada vez que se realice una inversión de giro o cuando se realiza el proceso de disminución de velocidad o paro.

#### REFERENCIAS

- [1] <http://www.sigmaelectronica.net/sigma.htm>, Módulos RF
- [2] <http://todopic.mforos.com/46840/3523701-como-paro-un-servo-motor-activado-previamente-por-pwm/>, PWM
- [3] <http://todopic.mforos.com/46840/1605475-pwm-con-ccs/>, PWM con CCS
- [4] [http://szyishi.en.alibaba.com/product/200054718/200943346/Transmitting\\_board/ASK\\_Transmitter\\_YS\\_FST3\\_800\\_meter\\_.html](http://szyishi.en.alibaba.com/product/200054718/200943346/Transmitting_board/ASK_Transmitter_YS_FST3_800_meter_.html), Transmisores Saw
- [5] <http://www.bosch.com.ar/ar/autopeças/produtos/baterias/index.html>, Baterías Bosch S5
- [6] <http://www.forosdeelectronica.com/about655.html>, Foro TLP 434 y RLP 434
- [7] [http://www.ucontrol.com.ar/wiki/index.php/Comunicaci%C3%B3n\\_inal%C3%A1brica\\_entre\\_PICs](http://www.ucontrol.com.ar/wiki/index.php/Comunicaci%C3%B3n_inal%C3%A1brica_entre_PICs), Comunicación Inalámbrica entre Pics.
- [8] <http://www.isa.cie.uva.es/proyectos/servos/info/PWM/PWM.htm>, Control por PWM.



# Diseño e Implementación de Antenas de Microlínea

David Donoso, Gonzalo Olmedo y David Andrade

**Resumen—** El presente artículo presenta el diseño e implementación de antenas planas, mejor conocidas como Antenas de Microlínea para aplicaciones de Radio Frecuencia y Microonda, utilizando materiales de fácil acceso en el mercado nacional.

**Palabras clave—** antenas de microlínea, *Microstrip*, *MMIC*.

## I. INTRODUCCIÓN

Las Antenas de Microlínea - *Microstrip*, se basa en un tipo de la línea de transmisión eléctrica que puede ser fabricada usando placas de circuito impreso (PCB), y se usa para transportar señales de frecuencia de microonda. Consta de una franja conductora y un plano de tierra separados por un medio dieléctrico conocida como sustrato. Componentes de microondas como antenas, acopladores, filtros, divisores de potencia, etc. pueden ser elaborados con microstrip, el dispositivo entero es el dibujo de metalización sobre el sustrato.

De modo que con la implementación de las Antenas de Microlínea - *Microstrip* existe una reducción de costos, ya que, es más barato que la Tecnología de Guía de Onda tradicional, además de ser más ligero y más compacto. Su uso está en aumento gracias a las grandes ventajas que presenta su tecnología.

## II. CONDICIONES DE DISEÑO

Los tres parámetros esenciales para el diseño de la antena parche rectangular son:

- Frecuencia de operación ( $f_0$ ): la frecuencia de resonancia de la antena debe ser seleccionada apropiadamente, la antena debe ser diseñada para poder operar en un rango de frecuencia específico, para el estudio que se realiza mediante pruebas en el equipo de pruebas *Quick Circuit 5000*, se determina que la

frecuencia de trabajo según el modulador FSK del mismo es de 2,45 GHz.

- La constante dieléctrica del sustrato ( $\epsilon_r$ ): el material dieléctrico seleccionado para este diseño es baquelita común y tiene una constante dieléctrica de 3.36
- El alto del sustrato dieléctrico ( $h$ ): es esencial que la antena no sea voluminosa, por lo tanto el alto del sustrato dieléctrico es 1.6mm.

Por lo tanto los parámetros son los siguientes:

- $f_0 = 2.45 \text{ GHz}$
- $\epsilon_r = 3.36$
- $h = 1.6 \text{ mm}$

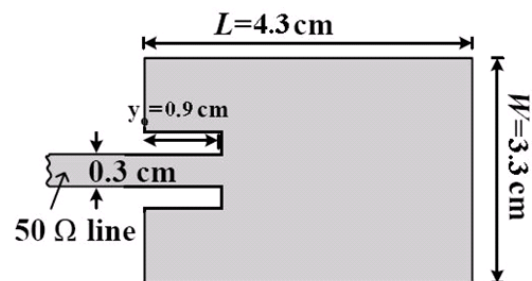


Fig. 1. Dimensiones de la Antena de Microlínea Rectangular

Para el cálculo del ancho del Parche tenemos:

$$w = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}}$$

$$w = 43 \text{ mm}$$

Cálculo de la constante dieléctrica efectiva ( $\epsilon_{\text{reff}}$ ):

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-\frac{1}{2}}$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = 3.1556$$

Cálculo de la longitud efectiva:

David Donoso, Gonzalo Olmedo y David Andrade, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Departamento de Electrónica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército, ESPE, Sangolquí, Ecuador, E-mails: gfolmedo@espe.edu.ec, dandrade@espe.edu.ec.

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_o \sqrt{\epsilon_{reff}}}$$

$$L_{eff} = 33mm$$

Calculo de las dimensiones del plano de tierra ( $L_g$  y

$w_g$ ):

$$L_g = 6h + L$$

$$L_g = 6(1.5) + 22.8 = 43mm$$

$$w_g = 6h + w$$

$$w_g = 6(1.5) + 31.1 = 52mm$$

Determinación del punto de alimentación ( $x_f$ ,  $y_f$ ):

$$G_1 = \frac{W}{120\lambda_o} \left[ 1 - \frac{1}{24} (k_o h)^2 \right]$$

$$\frac{h}{\lambda_o} < \frac{1}{10}$$

$$G_{12} = \frac{1}{120\pi^2} \int_0^\pi \left[ \frac{\sin(k_o W \cos \theta)}{\cos \theta} \right]^2 J_o(k_o L \sin \theta) \sin^3 \theta d\theta$$

$$k_o = \frac{2\pi}{\lambda_o}$$

$$R_{in} = \frac{1}{2(G_1 + G_{12})}$$

$$y_o = \frac{L}{\pi} \arccos \left( \sqrt{\frac{50}{R_{in}}} \right)$$

$$y_o = 9mm$$

### III. SOFTWARE DE DISEÑO IE3D

Este software permito dibujar el parche según las dimensiones obtenidas en el diseño analítico, como se muestra en la figura a continuación:

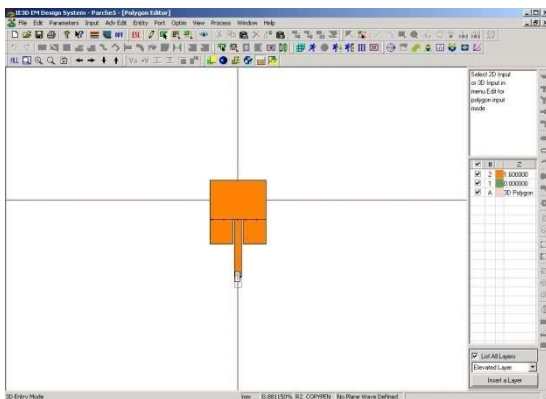


Fig. 2. Parche de Antena de Microlínea Rectangular

Dentro de las bondades de este programa tenemos la facilidad de visualizar, gráfico de dispersión, distribución de corriente y en 2D y 3D el patrón de radiación de la antena, evaluando así, su correcto funcionamiento y estimar la ganancia que tendremos.

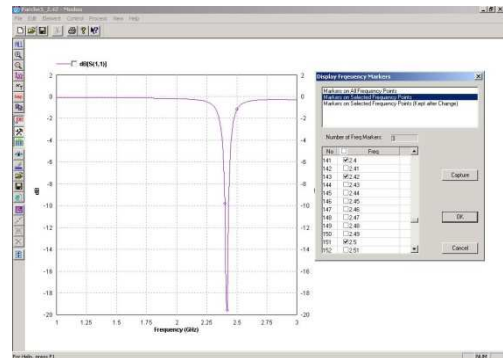


Fig. 3. Gráfico de dispersión de la Antena de Microlínea Rectangular.

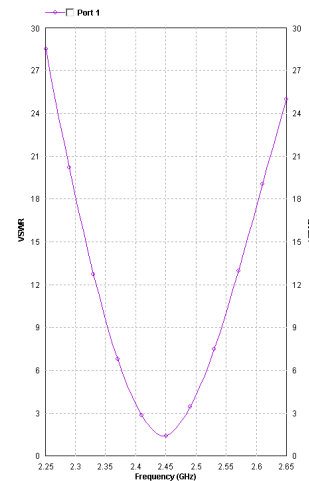


Fig. 4. Gráfico de VSWR

### IV. RESULTADOS

Los resultados obtenidos muestran la distribución de corriente en el parche, donde se verifica la correcta circulación de corriente en el parche según el diseño analizado

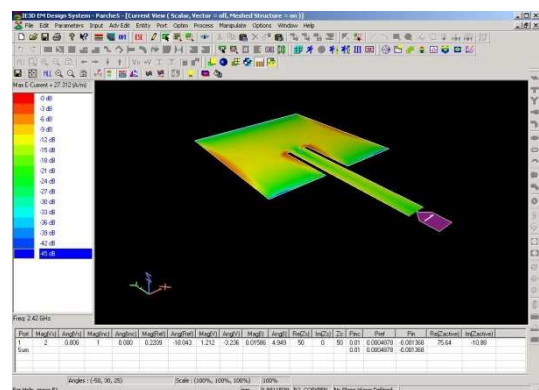


Fig. 5. Circulación de Corriente

La gráfica en 2D del Patrón de Radiación de la Antena de Microlínea Rectangular muestra la radiación

de potencia, además de los pequeños lóbulos laterales que no afectan la transmisión de datos.

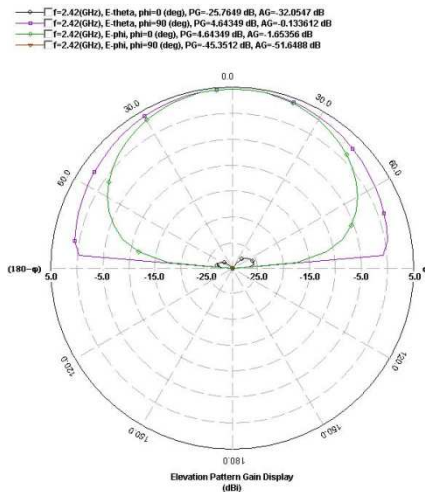


Fig. 5. Lóbulo de radiación

En la gráfica del Patrón de Radiación en 3D se aprecia de mejor manera como está irradiando el parche y la ganancia que se obtiene, de 4.6dBi

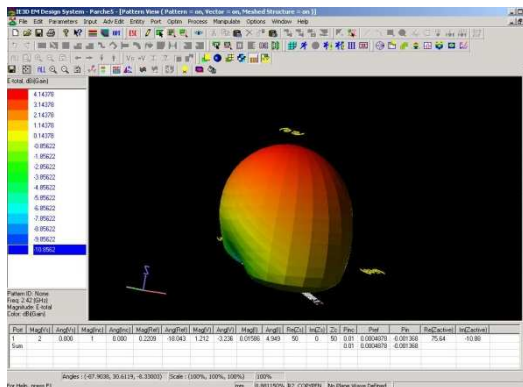


Fig. 6. Lóbulo de radiación en 3D

La mecanización de la antena se realizó de la manera esperada en la Prototipadora, con lo que los resultados obtenidos son los esperados

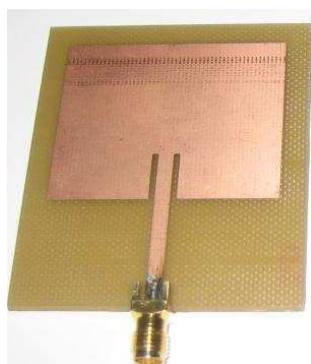


Fig. 7. Antena Diseñada

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el Analizador de Redes Anritsu 2024A

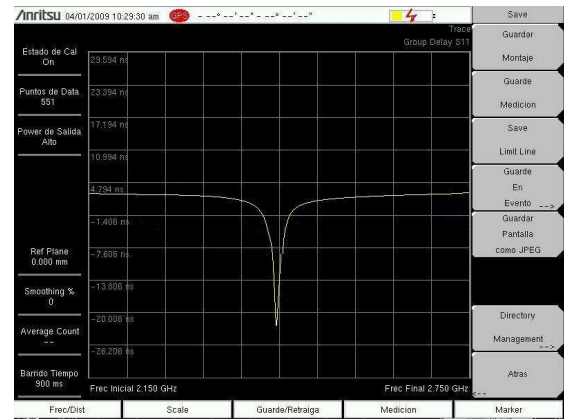


Fig. 8. Antena Diseñada, Grafica de Dispersión

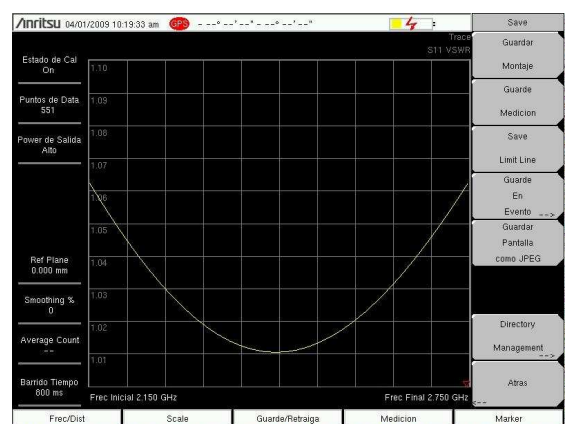


Fig. 9. Antena Diseñada, Grafica de VSWR

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para las mediciones se debe utilizar cables pequeños, con esto evitamos pérdidas considerables en los resultados.

El conocimiento cabal de la constante dieléctrica y tangente de pérdidas para materiales utilizados en la fabricación de sistemas de microlínea es un factor preponderante en el ambiente de diseño y construcción, puesto que diseños realizados para cierto tipo de materiales provocan resultados disímiles cuando se aplican en materiales semejantes pero de los que se desconoce estos parámetros.

Se debe tener un nivel intermedio – alto en el manejo de la Prototipadora por la precisión que requiere la implementación de las Antenas de Microlínea, ya que un milímetro de variación basta para que la frecuencia de resonancia varíe considerablemente.

En los resultados obtenidos en la grafica de dispersión obtenida del Analizador de redes Anritsu nos fijamos que al comparar con el resultado ideal obtenido del simulador existe un ligero desplazamiento de la frecuencia de trabajo, esto de debe principalmente a la precisión con la que trabaja la prototipadora en base al esbozo del

parche que se realizó, fallas de décimas de milímetro causan este error.

Para el caso de la gráfica del VSWR, para el caso ideal se realizó la gráfica en un rango de 200 MHz muy próximo a la frecuencia de trabajo y el analizador Anritsu lo hace en un rango de 2 GHz.

Los resultados obtenidos son muy válidos, por lo que la implementación de la antena es considerada exitosa.

#### REFERENCIAS

- [1] Microstrip Antenna Design Handbook, Ramesh Garg, PrakashBhartia, InderBahl, ApisakIttipiboon. Artech House, Boston-London  
[www.artechhouse.com](http://www.artechhouse.com)<http://www.sigmaelectronica.net/sigma.htm>, Módulos RF
- [2] <http://www.eecs.ucf.edu/~behdad/EEL6463/Tutorial%201.pdf>

# Diseño e implementación de un bloqueador de teléfonos celulares para GSM que operan en la banda B

Luis E. Mena E. Cesar Naranjo H.

**Resumen**— La telefonía móvil consiste en ofrecer un acceso “Vía radio” a un equipo de telefonía, de tal manera que pueda realizar y recibir llamadas dentro del radio de cobertura del sistema. La diversidad de servicios que en estos momentos se presenta en la telefonía celular, indica que la industria está trabajando en acelerar el desarrollo de tecnologías de comunicaciones móviles. La movilidad y los nuevos servicios de valor agregado, hacen que la telefonía celular sea el segmento de más rápido crecimiento de la industria de las telecomunicaciones. Debido al uso indiscriminado de los teléfonos celulares se ha presentado una situación problemática, en la cual el timbre o uso del celular, llega a ser molesto para las personas, y perjudicial para los equipos computarizados al interferir en su funcionamiento o generar datos erróneos, la presente investigación es orientada a resolver esta problemática al brindar áreas libres de tonos o timbres de celulares.

**Palabras clave**— telefonía celular, interferencia, IGSM.

## I. INTRODUCCIÓN

EL crecimiento de la industria de las telecomunicaciones ha provocado que en la actualidad las personas no encuentren un lugar donde se pueda garantizar el silencio y/o su seguridad, y privacidad, ya que es normal ver a una persona hablando o utilizando los servicios de un celular.

Al recibir una llamada se genera electricidad estática, que en equipos computarizados, genera datos erróneos o interfiere con su funcionamiento.

El diseño e implementación del bloqueador de teléfonos celulares (BTC), da la opción de colocar en el mercado un dispositivo que garantice áreas libre de tono de celular y así fortalecer la seguridad, privacidad, silencio requerido por personas, o lugares públicos, etc.

El método de funcionamiento del bloqueador de teléfonos celulares es comportarse como un dispositivo transmisor de una señal interferente con la banda de frecuencia B en la que opera la compañía OTECEL (Movistar).

El BTC, no dañará el teléfono celular bajo ninguna circunstancia, solamente inhabilita su recepción o transmisión de señal, razón por la cual aparecería leyendas como “Fuera del área cobertura”, “Sin servicio”, dependiendo del modelo del celular. Pero si

nos retiramos del área de cobertura del bloqueador, el celular recupera los servicios.

## II. DESCRIPCIÓN DE MATERIALES Y/O PROTOTIPO

La presente investigación se realizó en la provincia de Cotopaxi en la ciudad de Latacunga, el prototipo está diseñado para bloquear la señal GSM que opere en la banda B, considerando que es la compañía OTECEL quien tiene mayor cantidad de usuarios en esta zona.

Con la implementación del BTC, se busca brindar áreas libres de tono celular. Teniendo como objetivo el garantizar la seguridad y privacidad de personas, en lugares públicos y privados.

El BTC para GSM que opera en la banda B, es un sistema que permite anular la señal GSM de un móvil, mediante la generación de una señal interferente, haciendo uso de osciladores controlados por voltaje (VCO), en donde uno de sus lugares de residencia típicos son los sistemas generadores de sonido, pero el ámbito de su utilidad abarca incluso a las telecomunicaciones, como es en este caso. En el sentido estricto no son moduladores de frecuencia de una onda portadora central, por lo que se les considera como convertidores de voltaje a frecuencia. En principio lo que se espera es tener una onda de salida en proporción a algún parámetro de voltaje de control.(Figura 1.)

El siguiente elemento a considerar debido a su importancia, son los amplificadores de radio frecuencia, hacer un amplificador de radio frecuencia, mediante componentes discretos, es una tarea casi artesanal, complicada de calibrar por la necesidad de elementos resonantes que incluyen bobinas y transformadores. Por ello se optó por utilizar un amplificador en circuito integrado, que cumpla con los requisitos de frecuencia, ancho de banda, potencia de salida, entre otras.

Para nuestro caso el amplificador tiene la misión de amplificar la potencia de la señal (no necesariamente la tensión) y transmitirla a la antena con la máxima eficiencia. En esto coinciden con los amplificadores de baja frecuencia, pero aquí la distorsión o falta de linealidad no es importante. (Figura 2.)

## III. PROCEDIMIENTO

Para la implementación del dispositivo bloqueador, la señal de interferencia debe cumplir con normas de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, por sus siglas en inglés) la cual fue creada por la Ley de

---

Luis E. Mena E., Carrera de Ingeniería en Electrónica e Instrumentación, Departamento de Electrónica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga, Ecuador. E mails: luismena1982@hotmail.com, canaranjo@espe.edu.ec

Comunicaciones de 1934 y es una agencia independiente del gobierno de los Estados Unidos.



Fig. 1. Oscilador controlado por Voltaje

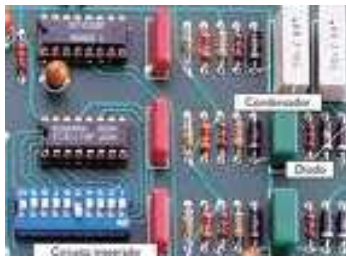


Fig. 2. Módulo Amplificador de Radio Frecuencia.

La FCC tiene a su cargo la reglamentación de las comunicaciones, así como también la aprobación de límites para la exposición segura a la energía de radiofrecuencia (RF), lo cual con la colaboración de organismos federales de salud y seguridad, como la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) establecieron como unidad de referencia a la denominada Proporción de Absorción Específica (SAR), que es una medida de la cantidad de energía de radiofrecuencia que absorbe el cuerpo cuando se usa un teléfono celular. La energía de radio frecuencia es absorbida en el cuerpo y produce calentamiento, pero el proceso homeostático termorregulatorio normal del cuerpo, disipa este calor. Todos los efectos establecidos debido a la exposición a la radiofrecuencia están relacionados con el calentamiento superficial y profunda de los tejidos de la cabeza. La FCC exige que los fabricantes de teléfonos celulares garanticen que sus teléfonos cumplan con los límites indicados para una exposición segura.

Todo teléfono celular que esté en o por debajo de los niveles SAR es un teléfono "seguro", de acuerdo a estos patrones. El límite de la FCC para la exposición pública a teléfonos celulares es un nivel SAR de 1.6 Watts por kilogramo (1.6 W/kg.).

Teniendo como objetivo el desarrollar un dispositivo de alta frecuencia que sea capaz de interferir los canales de control desde la estación base al teléfono celular.

Para ello lo que se debe alterar:

- Nivel de interferencia por canal.
- Nivel de interferencia de canal adyacente.
- Nivel de interferencia señal a ruido.

Entonces si de alguna forma se logra alterar cualquiera de estos niveles, el teléfono celular quedará

sin servicio. Para lograr esto se va a interferir los canales de control de las bandas con los cuales la estación base se comunica con el teléfono celular generando ruido sobre las frecuencias en las que trabajan dichos canales.

La Norma Internacional con la cual operan los sistemas de telefonía celular en el Ecuador es el Sistema Avanzado de Telefonía Móvil (AMPS), la cual divide el espacio geográfico en una red de celdas, de forma que las celdas adyacentes nunca usan las mismas frecuencias, para evitar interferencias, y su potencia de transmisión es relativamente pequeña, esta norma define dos bandas de frecuencias para la operación de los sistemas.

- Banda de frecuencia A: En nuestro país la banda A fue asignada a CONECEL (Porta).
- Banda de frecuencia B: En nuestro país la banda B fue asignada a OTECEL (Movistar).

La Norma Internacional con la cual operan los servicios móviles avanzados en el Ecuador es el acceso múltiple por división de código (CDMA 2000, es una familia de estándares en telecomunicaciones móviles de tercera generación) esta norma define una banda de frecuencias para la operación de los sistemas.

- Banda de frecuencia C: En nuestro país la banda C fue asignada a TELECSA (Alegro PCS).

A continuación se muestra la distribución del mercado de telefonía móvil por operadora, datos suministrados por la Superintendencia de Telecomunicaciones del Ecuador, con fecha del 30 de julio del 2008. El prototipo está diseñado para aislar a la operadora movistar.

Una vez identificadas las frecuencias a las que se debe interferir, es importante determinar la potencia que se necesitaría para dicho efecto.

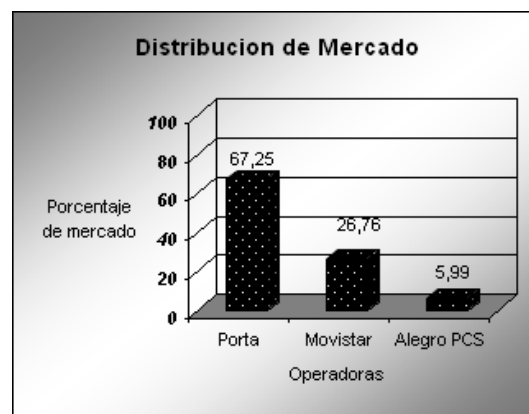


Fig. 3. Distribución del mercado de telefonía móvil por operadora.

Para ello se conoce que la relación señal a ruido para un móvil es mayor a 38 dB, y su potencia de transmisión para el mejor de los casos es de 0.6W. Tenemos:

$$S/N > 38 \text{ dB}$$

$$dB = 10 \log_{10}(S/N)$$

$$\log_{10}(S/N) = \frac{dB}{10}$$

$$S/N = 10^x \left(\frac{dB}{10}\right)$$

$$N = \frac{S}{10^x \left(\frac{dB}{10}\right)}$$

donde  $N < 95.10 \mu\text{W}$

Por lo tanto el ruido debe ser mayor que  $95.10 \mu\text{W}$ , con lo cual el teléfono no podrá enlazarse con la estación base.

Cabe recordar que el teléfono celular tiene un modo pasivo, en el cual transmite información cada cierto tiempo, por ejemplo cuando la persona cambia de sitio con el fin de iniciar la transferencia de llamada, cuando el teléfono se ha mantenido apagado y se enciende, cuando la estación base realiza un monitoreo. También existen lapsos en los que el celular no emite información y solo se mantiene censando la potencia que recibe de la estación base.

Determinada la potencia se procede a diseñar un circuito generador de rampas que proporcione a su salida, los valores de tensión, necesarios para el control del VCO, el VCO debe cubrir las frecuencias que pertenecen a la compañía Movistar, el prototipo está desarrollado para cubrir una área de  $25 \text{ m}^2$  aproximadamente, y transmitirá la señal interferente a través de una antena prediseñada.

Para cubrir todo el espectro de frecuencia de la operadora OTECEL, es necesario construir una fuente de ruido blanco, encargado de llenar las frecuencias libres dejadas por el VCO, con la diferencia que la señal producto de la fuente de ruido blanco se la amplificará hasta alcanzar los valores de frecuencia, potencia de salida, y ancho de banda de la compañía OTECEL, la etapa de transmisión viene a ser la misma.

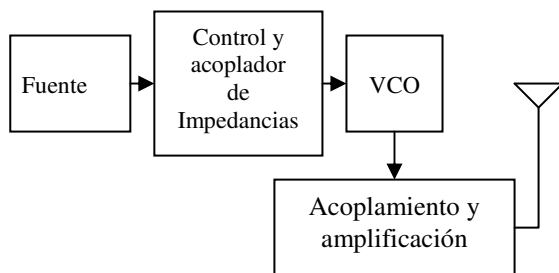


Fig. 4.- Diagrama del bloqueador de teléfonos celulares.

#### IV. RESULTADOS

(1) Se logró obtener un área libre de tono celular de la compañía OTECEL (Movistar) que opera en la frecuencia B, de  $25 \text{ m}^2$  aproximadamente. Cubriendo con ruido blando las bandas de frecuencia que el VCO, por velocidad de barrido no puede cubrir.

(2) El BTC no altera el funcionamiento de otros dispositivos electrónicos tales como computadores, marca pasos, módulos de radio frecuencia, que se encuentren dentro del área de cobertura. Así como también es inofensivo para la salud de las personas.

(3) El BTC puede ser implementado para cubrir el resto de frecuencias de las demás operadoras y para cubrir una área de aproximadamente  $150 \text{ m}^2$  se necesitará incrementar la ganancia de la antena, y una mayor potencia de salida del oscilador.

(4) Debido a que se trabaja a alta frecuencia uno de los puntos a considerar al momento de hacer la placa es la de evitar que las pistas se conviertan en fuentes de emisión de señal, es decir actúen como antenas.

#### V. CONCLUSIONES

Saber las frecuencias de operación, de las compañías de telefonía celular del país, donde se implemente el dispositivo, es esencialmente importante, para evitar el dejar frecuencias libres.

El BTC es inofensivo para otros dispositivos electrónicos y para la salud de los seres humanos.

Lo que comenzó, como un prototipo con un radio de cobertura garantizado de  $25 \text{ m}^2$  y desarrollado para una sola tecnología (GSM) que se halla presente en nuestro país, se puede desarrollar para el resto de compañías de telefonía celular, así como incrementar su área de cobertura hasta 6 veces.

Al realizar el diseño de las pistas de la placa se debe considerar el hecho de que las mismas no actúen como antenas.

#### REFERENCIAS

- [1] <http://www.conatel.gov.ec/website/conatel/conatel.php>
- [2] [http://www.conatel.gov.ec/website/baselegal/resoluciones.php?cod\\_cont=78](http://www.conatel.gov.ec/website/baselegal/resoluciones.php?cod_cont=78)
- [3] <http://www.endrich.com/es/site.php/3623?skip=100>
- [4] <http://www.fcc.gov/cgb/consumerfacts/spanish/spanish.html>
- [5] [http://www.supertel.gov.ec/telecomunicaciones/t\\_celular/operadoras.html](http://www.supertel.gov.ec/telecomunicaciones/t_celular/operadoras.html)

# Diseño e implementación de un sistema de monitoreo a bordo con conexión por radiofrecuencia para un vehículo Chevrolet Forsa 1.3 lt

Julieta T. Vásconez, Galo R. Ávila R.

**Resumen**— El hecho de que existen vehículos que no poseen sistemas de monitoreo, es la principal razón que dio origen a la investigación para desarrollar el sistema de monitoreo a bordo con conexión por radiofrecuencia. Este proyecto se presenta como una herramienta para los propietarios de este tipo de vehículos, ya que brinda la posibilidad de realizar un monitoreo al interior del mismo y a distancia. El proyecto plantea un sistema que monitorea al vehículo durante su desempeño, por lo que se presupone que su aplicabilidad específica es en competencias en circuitos; sin dejar de lado su utilización como una herramienta en grandes talleres en donde el monitoreo remoto de vehículos es de gran utilidad. El sistema supervisa los parámetros más importantes del vehículo, y los presenta al usuario a través de dos interfaces, una al interior del vehículo y otra de manera remota en un computador. Adicionalmente el sistema genera un reporte de los datos de funcionamiento del vehículo durante el monitoreo, en una hoja de cálculo en la que se pueden observar la fecha y hora de las mediciones de las características importantes del vehículo así como sus magnitudes.

**Palabras clave**— monitoreo de vehículo

## I. INTRODUCCIÓN

Los propietarios de vehículos automotores, necesitan tener un monitoreo para controlar su rendimiento y hacer de ellos un sistema más confiable y productivo.

El monitoreo de los vehículos se ha venido realizando a través de la supervisión humana, es decir, de mediciones sin la precisión y exactitud necesarias como las que un sistema electrónico hoy en día puede brindar.

En el campo de la competición, los vehículos necesitan ser monitoreados en diversos parámetros para asegurar su buen desenvolvimiento dentro de la competencia. La inexistencia de equipos que proporcionen este servicio de monitoreo repercute en abandonos que pueden ser evitados.

Dentro de este estudio, se pudo detectar que el proceso de control de los vehículos presenta los siguientes problemas:

- No existe la posibilidad de hacer monitoreo del vehículo desde un cuarto de control y en tiempo real.
- No existen reportes históricos de la información de la computadora a bordo.

Por los inconvenientes citados, surgió la necesidad de implementar una solución que facilite el monitoreo de vehículos, a través de un sistema que realiza las siguientes acciones:

- Toma de señales de los parámetros importantes del funcionamiento del motor.
- Procesamiento de señales para presentarlas en el vehículo y transmitir las a un computador por radiofrecuencia.
- Monitoreo en tiempo real y en forma remota al vehículo.
- Generación reportes históricos del funcionamiento del vehículo.

El sistema descrito anteriormente provee la información suficiente para controlar el rendimiento del vehículo lo cual permite tomar medidas correctivas en el manejo.

Las ventajas que brinda el sistema son altas con relación al costo, pues la instalación de este equipo en el vehículo permite aprovechar al máximo recursos, disminuyendo pérdidas innecesarias.

## II. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO

El Sistema de Monitoreo por Radiofrecuencia consta de tres etapas:

1. Adquisición y acondicionamiento de datos.
2. Transmisión y recepción de datos.
3. Visualización e interpretación de datos.

En la etapa de Adquisición y acondicionamiento de datos, se tomó señales de algunos sensores del vehículo, y en otros casos se instaló sensores; estas señales antes

---

Julieta T. Vásconez, Galo R. Ávila R., Carrera de Ingeniería en Electrónica e Instrumentación, Departamento de Electrónica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga, Ecuador. E mails: juliev888@hotmail.com, galoraular@yahoo.com.ar



de entrar al microcontrolador, pasan por una etapa de acondicionamiento que las ajusta al rango de 0 a 5V, voltaje admisible por el microcontrolador. Al llegar las señales se procesan para enviar los datos a la siguiente etapa del proyecto.

La etapa de Transmisión y recepción de datos se lo realiza a través de radiofrecuencia, con equipos que poseen conexión serial RS-232, un alcance de hasta 1000 pies (sin línea de vista) y que utilizan la banda de 902 a 928 MHz.

La etapa Visualización e interpretación de datos, se lo realiza de dos maneras, una en el vehículo y otra en el computador; en el vehículo la visualización se lo hace a través de un pantalla LCD, en donde se observan algunos de los parámetros monitoreados, que son de mucha utilidad para el conductor. En el computador la visualización se realiza por medio de una interface desarrollada en LabVIEW, estos datos son presentados gráficamente para mejor comprensión del personal que está monitoreando el vehículo.

Adicionalmente el sistema genera reportes históricos en hojas de cálculo, que permiten realizar un análisis del rendimiento del vehículo durante una competición.

El sistema funciona a con una alimentación de 12Vdc y tiene un consumo de 950 mA. La velocidad de transmisión del sistema es de 9600 Kbps en el modo Full Duplex y en una topología punto a punto.

### III. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Para que el sistema funcione correctamente se debe instalar en primer lugar el sistema en el vehículo, realizando las conexiones de datos y de alimentación tanto en el módulo como en el radio transmisor. En segundo lugar se debe hacer la conexión del radio receptor con el computador. Una vez hechas estas conexiones se puede ejecutar el software en el computador para realizar el monitoreo.

El sistema permite monitorear al vehículo a distancia a través de pantallas donde se pueden visualizar los parámetros más importantes de desempeño, lo que se ilustra en la figuras 1 y 2.

En la figura 1, los parámetros como el accionamiento del freno de mano, de la bomba de combustible y las revoluciones del motor se visualizan mediante instrumentos virtuales o gráficos en el computador mientras el vehículo está en movimiento, de la misma manera se hace con otras variables importantes en el desempeño del motor como temperatura del refrigerante, porcentaje de aceleración, porcentaje de combustible en el tanque, oxígeno en la salida de gases, presión de aceite, presión en el múltiple de admisión, accionamiento del pedal de freno y del embrague.

En la figura 2, se muestra el resumen del monitoreo a través de gráficos de cada uno de los parámetros con respecto al tiempo, de modo que el usuario puede visualizar de manera global el desempeño del vehículo.

Mientras se realiza el monitoreo del vehículo, el sistema genera reportes históricos de los datos de las variables monitoreadas en hojas de cálculo, a las que puede acceder el usuario (Figura 3).



Fig. 1. Pantalla de inicio del sistema

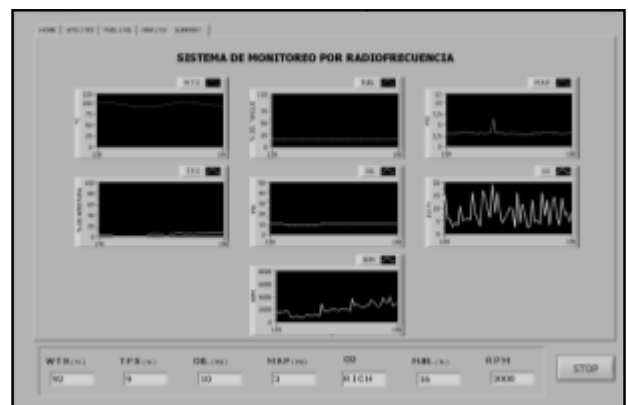


Fig. 2. Pantalla de sumario del funcionamiento del vehículo

REPORTE DE MONITOREO DEL VEHICULO CHEVROLET FORSA 1.3 LT											
PRONIA	TEMPERATURA DEL MOTOR	ACCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE COMBUSTIBLE	ACCIONAMIENTO DEL FRENO DE MANO	ACCIONAMIENTO DEL PEDAL DE FRENO	ACCIONAMIENTO DEL PEDAL DE EMBRAGUE	ACCIONAMIENTO DEL PEDAL DE ACELERACION	ACCIONAMIENTO DEL PEDAL DE FRENO	ACCIONAMIENTO DEL PEDAL DE EMBRAGUE	ACCIONAMIENTO DEL PEDAL DE ACELERACION	ACCIONAMIENTO DEL PEDAL DE FRENO	ACCIONAMIENTO DEL PEDAL DE EMBRAGUE
00:00	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:01	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:02	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:03	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:04	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:05	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:06	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:07	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:08	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:09	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:10	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:11	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:12	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:13	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:14	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:15	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:16	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:17	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:18	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:19	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:20	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:21	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:22	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:23	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:24	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:25	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:26	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:27	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:28	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:29	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:30	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:31	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:32	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:33	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:34	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:35	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:36	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:37	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:38	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:39	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:40	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:41	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:42	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:43	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:44	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:45	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:46	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:47	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:48	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:49	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:50	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:51	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:52	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:53	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:54	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:55	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:56	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:57	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:58	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:59	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 3. Reportes históricos del funcionamiento del vehículo

### IV. ALCANCES Y LIMITACIONES

El sistema como está diseñado funciona en un vehículo Chevrolet ForSA 1.3LT, pero existe la posibilidad de adaptarse a otros vehículos con las respectivas modificaciones.

El módulo de monitoreo permite al conductor del vehículo supervisar los parámetros principales del motor a fin de tomar acciones correctivas durante la marcha.

La distancia de alcance entre el vehículo y la computadora de monitoreo está dado por el alcance de los radios que es de 1000ft (300 metros aproximadamente).

Las señales que están en el ambiente como las ondas de radio y televisión, así como las de redes inalámbricas de internet pueden hacer interferencia con las que utiliza el presente proyecto, ya que no se han incluido sistemas de inmunización a interferencias debido a su alto costo, que no justifica el principio de costo-beneficio.

## V. CONCLUSIONES

Se desarrolló un prototipo de monitoreo a bordo con conexión por radiofrecuencia que será de gran ayuda para el conductor de un vehículo de competencia y para su equipo de apoyo, porque permite corregir y prevenir fallas en el desempeño del mismo en base al monitoreo y a los reportes históricos.

Los reportes generados en hojas de cálculo constituyen una herramienta para determinar el rendimiento del vehículo dentro de una competición y a la vez una base para pronosticar futuras mejoras.

La visualización del monitoreo en el interior del vehículo le permite al conductor tomar medidas en tiempo real para mejorar su desenvolvimiento dentro de una competencia.

El proyecto desarrollado tiene una arquitectura abierta, dando la oportunidad de mejorar su rendimiento y aumentar sus prestaciones.

## REFERENCIAS

- [1] SUZUKI MOTOR CORPORATION, Manual de mantenimiento y reparación del Chevrolet Forsa y Chevrolet Swift, 1990.
- [2] ANGULO José, Microcontroladores PIC 2da Parte, McGraw Hill, Segunda Edición, España, 2006.
- [3] REYES Carlos, Microcontroladores PIC, Ayerve C.A., Primera Edición, Ecuador, 2005.
- [4] [www.institucional.frc.utn.edu.ar](http://www.institucional.frc.utn.edu.ar)
- [5] [www.microchip.com](http://www.microchip.com)
- [6] [www.picyLCD\LCD 20x4Sinc.htm](http://www.picyLCD\LCD 20x4Sinc.htm).

# Diseño e implementación de un módulo didáctico de un Drive Troceador para el control de una máquina de DC en cuatro cuadrantes destinado al Laboratorio de Control Eléctrico y PLC's

Ismael Guamani M, Marcelo Silva M.

**Resumen**— En el laboratorio de Control Eléctrico y PLC's se realizó un análisis de reconocimiento de los módulos didácticos, observando que no dispone de un módulo troceador DC/DC para el control de un motor DC en 4 cuadrantes. La inexistencia de este módulo didáctico no permite; conocer en forma práctica el funcionamiento de un troceador de 4 cuadrantes, apreciar el comportamiento de las señales de voltaje y corriente de armadura por la no existencia de una tarjeta de adquisición de datos, controlar la velocidad de giro de un motor DC, realizar un frenado regenerativo controlado en cada sentido de giro de un motor DC, determinar las ventajas al utilizar los IGBT como elemento de conmutación y finalmente no permite ratificar la teoría un drive troceador DC/DC con la práctica.

**Palabras clave**— troceador de 4 cuadrantes

## I. INTRODUCCIÓN

Existen muchas aplicaciones en electrónica donde está disponible una fuente de alimentación primaria de DC fija para el manejo de una carga. Cuando la carga tiene que ser controlada, se requieren de tensiones y corrientes variables, entonces surge la necesidad de los conversores DC/DC denominados troceadores o chopper's. Estos conversores se caracterizan por realizar un proceso, mediante el cual se transforma energía de un nivel de tensión continua fija, en tensión continua variable.

La evolución de los interruptores de estado sólido para el manejo de cargas de mediana y alta potencia, permiten obtener características como: rapidez, bajo consumo de energía, confiabilidad, frecuencia de operación elevada y bajas pérdidas de conmutación.

El drive troceador DC/DC es el tema de estudio del presente proyecto, el cual involucra diferentes etapas de funcionamiento que serán tratados en cuatro secciones.

En la sección II, se describe generalidades de los semiconductores de potencia, se realiza un breve análisis de los tipos de conversores DC/DC.

En la sección III se incluye una descripción minuciosa de las especificaciones del módulo didáctico, análisis, diseño de hardware y software, así como las

características de funcionamiento del proyecto implementado.

Finalmente en la sección IV se indican las conclusiones de este proyecto

## II. ELEMENTOS SEMICONDUCTORES

### A. Diodos de potencia

Un diodo de potencia conduce cuando el voltaje de su ánodo es más positivo que el de su cátodo (polarización directa), siendo la caída de voltaje directa de un diodo ( $V_{fm}$ ) de potencia muy baja, típicamente entre 0.5 y 1.2 V. Si el voltaje de cátodo es más positivo que el voltaje de ánodo (polarización inversa), se dice que el diodo está en modo de bloqueo.

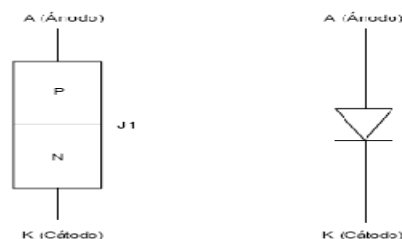


Fig. 1. Diagrama de estructura y símbolo de un diodo.

### B. Dispositivos controlables

Se denominan dispositivos controlables o de conmutación propia aquellos que permiten su activación y desactivación a través de su entrada de control.

El IGBT es un dispositivo de potencia que puede ser modelado por dos componentes discretos fundamentales: un MOSFET de canal N en la entrada y un transistor PNP en la salida.

Tiene menores pérdidas de conmutación y de conducción, puede manejar corrientes hasta 400 A, 1200 V y una frecuencia de conmutación hasta 20 kHz, tiempos de conmutación alrededor de 1  $\mu$ s.

Ismael Guamani M, Marcelo Silva M. Carrera de Ingeniería en Electrónica e Instrumentación, Departamento de Electrónica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga, Ecuador. E mails: Ismael\_guamani@hotmail.com, cmsilva@espe.edu.ec

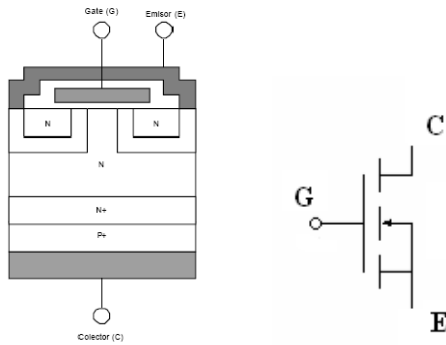


Fig. 2. Diagrama de estructura básica y símbolo de un IGBT.

### Troceadores DC/DC

El circuito troceador convierte una tensión continua fija en un voltaje que se puede variar desde 0 hasta el valor de voltaje de la fuente, se emplea cuando el suministro es una batería, un convertor AC/DC no controlado, un rectificador conectado a un voltaje alterno y cuya salida debe ser una tensión continua.

Los Troceadores se lo conoce también con el nombre de Chopper's, conversores DC/DC, o reguladores de conmutación.

El circuito troceador implica que la tensión continua será conectada y desconectada por un interruptor de estado sólido, de tal forma que dicha tensión pase hacia la carga intermitentemente a una determinada frecuencia.

Su campo de aplicación esta en cargadores de baterías, control de motores de tracción de automóviles eléctricos, tranvías eléctricos, montacargas, elevadores, control de motores de DC.

Convertidores tipo en Cuatro cuadrantes

Para aplicaciones en que se precise el control de un motor y su frenado regenerativo en los dos sentidos de giro es necesario el empleo de un convertidor de cuatro cuadrantes, La corriente y el voltaje de carga puede ser positivo o negativo.

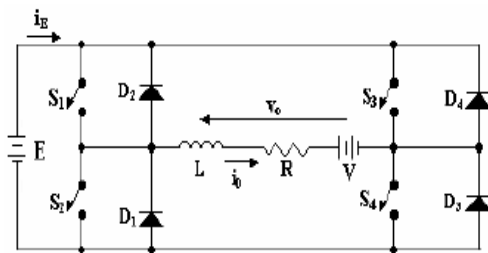


Fig. 4. Chopper para cuatro cuadrantes.

## III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

### A. Diseño de Hardware

#### Diseño de los cuadrantes del drive troceador DC/DC.

Una máquina de DC se puede trabajar como motor o como generador dependiendo de los cuadrantes de operación de la máquina.

Para el diseño del drive troceador DC/DC se ha determinado que los IGBT's de cada rama son conmutados de forma que nunca estén ambos en off, para que la corriente de salida circule de forma continua, es decir que nunca habrá instantes de tiempo en los que la corriente por el motor sea nula. Teniendo esto en cuenta, la tensión de salida del puente es determinada únicamente por el estado de los IGBT's de forma que ésta puede regularse mediante el control del ciclo de trabajo.

### Diseño de modos de conmutación

Para el funcionamiento como motor en un sentido de giro se conmutan los pares de IGBT's (Q1, Q4), mientras que los pares IGBT's (Q2, Q3) permanecen abiertos, para realizar la inversión de giro se conmutan los pares de IGBT's(Q2, Q3), mientras que los pares de IGBT's (Q1, Q4), permanecerán abiertos, como lo indica la Fig. 5 (a) y (b).

### Diseño del control de frenado

Para el control del frenado se tiene en consideración que pares de IGBT's se encuentran en estado de conmutación, cuando Q1 y Q4 están conmutando la corriente y voltaje de armadura del motor DC son positivos, para frenar se tiene que hacer conmutar al IGBT Q2 y desconectar los IGBT's Q1 y Q4, en ese instante cambia de sentido la corriente y regresa a la fuente a través de los diodos D4 y D1. Ver Fig. 6.

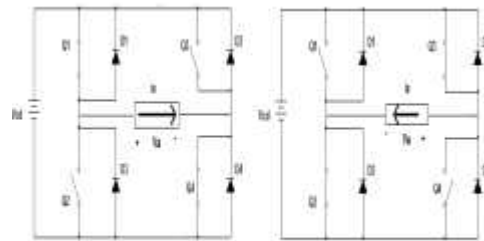


Fig. 5. (a) Circulación de corriente por Q1 y Q4 (b) Circulación de corriente por Q2 y Q3.

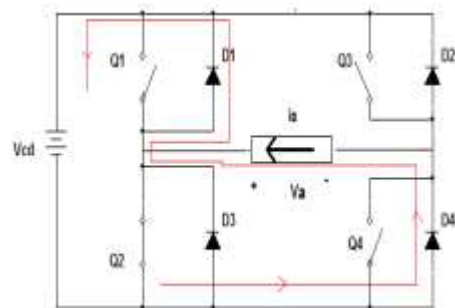


Fig. 8. Circulación de la corriente en el frenado.

Cuando Q2 y Q3 están conmutando la corriente y voltaje de armadura del motor DC son negativos, para frenar se tiene que hacer conmutar al IGBT Q4 y

desconectar los IGBT's Q2 y Q3, en ese instante cambia de sentido la corriente y regresa a la fuente a través de los diodos D3 y D2, en este instante el motor se comporta como generador. Ver Fig. 9.

*Diseño de la etapa de control.*

La etapa de control requiere de un Microprocesador ATMEL32 que genera las señales PWM a una frecuencia de 1kHz dicha señal es de control PWM unipolar que se aplica a un modo de corriente continuo. Estas señales permiten determinar el tiempo  $T_{on}$  ( tiempo de conducción ) y el  $T_{off}$  ( tiempo de apagado ), para las secuencia de conmutación de los elementos de potencia ( IGBT's), en cada uno de los cuadrantes del drive troceador DC/DC, resaltando que para el manejo de estas señales en la etapa de potencia, no se requiere programar tiempos muertos, por el empleo del C.I IR2130 que integra estos, se empleo un tiempo de 2 useg que se especifica en las hoja de datos del IR2130.

El empleo de 3 puertos bidireccionales del ATMEL3219 Portb, Portc, Portd de 8 bits cada uno (Pb7..Pb0), permite el manejo de un LCD graficable de 128 x 64 pixels, que facilitará un control visual por pantallas de presentación animadas del modo de manipulación y operación del drive troceador DC/DC en cada uno de sus cuadrantes. Además el control de la señalización del funcionamiento del drive, condiciones de conmutación de los IGBT's.

Para aislar el circuito de potencia con el de control se ha utilizado el C.I ULN2003A. Ver Fig. 10.

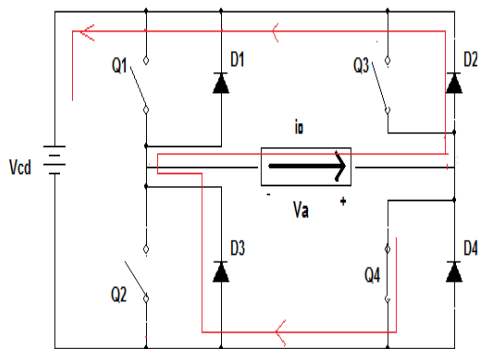


Fig. 9 Circulación de la corriente en el frenado.

*Diseño del circuito de control del puente H de IGBTs utilizando el Circuito Integrado IR2130.*

Para nuestro proyecto vamos a utilizar 4 manejadores de salida; dos de lado alto (H01, H02) y dos de lado bajo (L01, L02), los dos manejadores de lado bajo son controlados directamente por las entradas (Lin1 y Lin2), pero para los manejadores del lado alto las entradas

(Hin1, Hin2) necesitan ser cambiadas de nivel antes de ser aplicadas ya que poseen una lógica inversa.

Este circuito integrado tiene la capacidad de proveer la tierra flotante que se genera entre el emisor del IGBT de lado alto y el colector del IGBT del lado bajo Ver Fig. 11.

El IR2130 tiene un circuito de control interno que controlan a los manejadores de salida, por lo tanto cada manejador necesita una alimentación, para generar esta se ha utilizado un diodo y un capacitor bootstrap formando así una fuente bootstrap.

Para la presente aplicación estos elementos son los diodos D1, D2, D7 y los capacitores C1, C2, C4.

Cuando Vs (1, 2, 3), son colocados a tierra, los capacitores (C1, C2, C4), se cargan a través de los diodos bootstrap (D1, D2, D7) desde la fuente de alimentación de 12Vdc, obteniendo así la fuente de alimentación requerida.

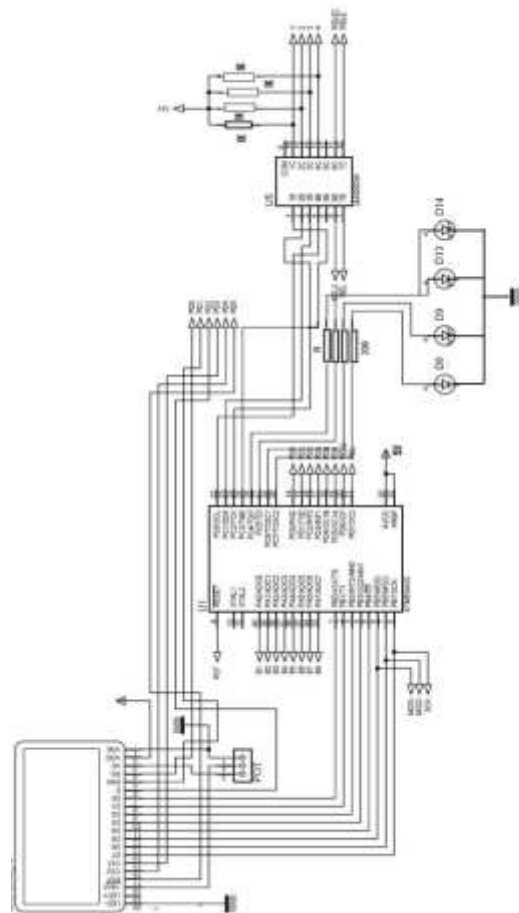


Fig. 10. Diagrama de la etapa de control

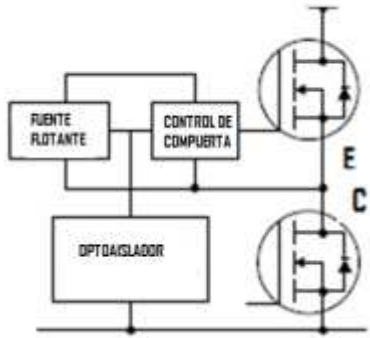


Fig. 11. Circuito de control de una rama de IGBTs.

El valor mínimo para el capacitor bootstrap se elige de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$C \geq \frac{2 \left[ 2Q_g + \frac{I_{qbs(max)}}{F} + Q_{ls} + \frac{I_{cbs(leak)}}{F} \right]}{V_{cc} - V_f - V_{Ls} - V_{min}} \quad (1)$$

Donde:

$Q_g$  = Carga de la compuerta del elemento de conmutación.

$F$  = frecuencia de operación.

$I_{cbs(leak)}$  = corriente de fuga del capacitor Bootstrap.

$I_{qbs(max)}$  = Máxima corriente del lado de alta.

$V_{cc}$  = fuente de voltaje.

$V_f$  = voltaje directo través del diodo bootstrap.

$V_{Ls}$  = voltaje a través del elemento de conmutación.

$V_{min}$  = Voltaje mínimo entre los pins  $V_b$  y  $V_s$ .

$Q_{ls}$  = nivel de carga requerido por ciclo = 5nC (500V/600V IC) o 20nC (1200V IC)

Los diodos Bootstrap son dispositivos capaces de bloquear toda la potencia, cuando los IGBT's se encuentren en estado de conmutación, este debe ser un dispositivo de rápida recuperación reversa para minimizar los cambios por carga del capacitor y produzca realimentación hacia la fuente  $V_{cc}$  de 12v. La corriente del diodo es producto de la carga del capacitor  $Q_{bs}$  y la frecuencia de switcheo.

$$Q_{bs} = 2Q_g + \frac{I_{qbs(max)}}{F} + Q_{ls} + \frac{I_{cbs(leak)}}{F} \quad (2)$$

Donde:

$Q_g$  = carga de Gate de la parte alta.

$F$  = frecuencia de operación.

$I_{qbs(max)}$  = corriente máxima en el lado de alta.

$I_{cbs(leak)}$  = Bootstrap condensador corrientes de fuga.

$Q_{ls}$  = cambio carga nivel requerido por ciclo = 5nC (500V/600V IC) o 20nC (1200V IC).

Estas consideraciones son requeridas para le diseño de los dispositivos del IR2130.

*Protección del C.I IR2130.*

*Protección de bajo voltaje (UV).*

Una condición de bajo nivel de  $V_{CC}$ , que se define como menos de 8.9V y 9.3V nominal, como aumento en  $V_{CC}$ , causa el cierre en todas sus salidas. Con  $V_{CC}$  alrededor de 9 voltios proporciona a los driver conducir voltajes adecuados para garantizar el pleno aumento de la potencia.

*Protección de sobre corriente.*

En caso de un corto circuito o una sobrecarga es deseable apagar todas las salidas. Esto se logra a través de un comparador de corriente que monitorea la caída de voltaje en una resistencia de monitoreo, instalada en el lado bajo y que es comparada con una referencia de 0.5 volts, la salida del comparador de corriente y la del circuito de protección de bajo voltaje van a comparar a una compuerta OR, de esta forma cualquiera de las dos hace actuar el circuito de falla.

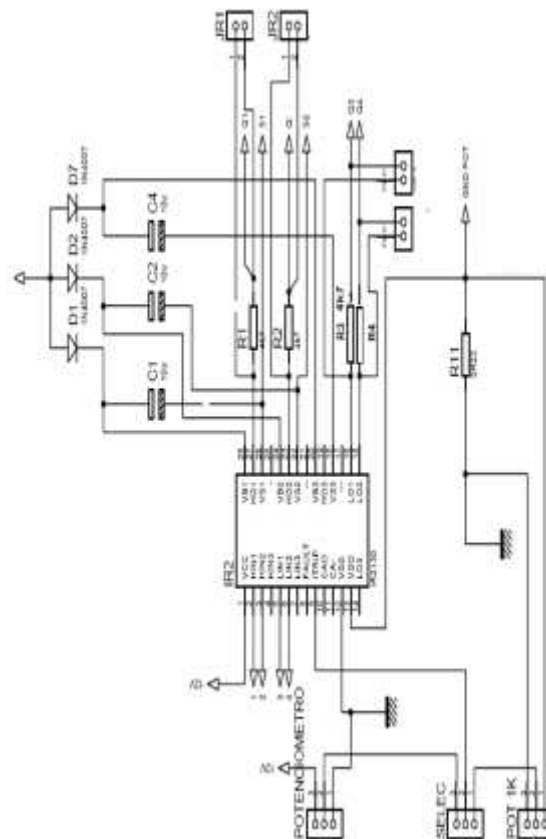


Fig. 12 Esquema del circuito implementado

*Circuito de falla.*

Este circuito consiste en un registro, el cual es puesto a 1 por cualquiera de las dos combinaciones

mencionadas anteriormente, esta condición de 1 produce dos señales de salida una de estas es usada para inhibir las seis salidas de control y la otra salida aparece como un indicador falla, esta condición se expresa como un nivel bajo. Esta condición mantendrá las salidas bloqueadas hasta que el usuario mantenga las entradas del lado bajo en un nivel lógico de 0 por más de 10 microsegundos o forzando VCC esto quiere decir eliminando la alimentación del circuito.

### Diseño de la etapa de potencia.

Para la etapa de potencia se ha utilizado cuatro IGBT's IRG4PC40UD cada uno con diodos en anti paralelo de respuesta rápida denominados diodos de libre circulación, en configuración puente H, la función de los diodos es la de habilitar un camino a la corriente del motor en los momentos en que los IGBT's entran en estado de corte, para evitar las sobre tensiones transitorias que se produce en esos instantes. Ver Fig. 13.

El drive troceador DC/DC en configuración puente H presenta una alimentación fija de 120 Vcd, la tensión de salida del troceador es una tensión cuyo valor medio es controlado en magnitud y sentido de corriente de salida, lo que permite el control del sentido de giro y de la velocidad del motor así como su frenado, permitiendo el funcionamiento en cuatro cuadrantes.

### Configuración de las mallas de protección del IGBT.

Para eliminar inductancias parásitas se requieren de elementos externos llamados mallas Snubber.

La red Snubber se utiliza para controlar transientes de tensión, oscilaciones parásitas y ruido causado por el valor de  $dv/dt$ , por la tensión admitida por el semiconductor es de 120 V, además se tomó como prioridad minimizar oscilaciones parásitas y ruido causado por  $dv/dt$  Obteniendo los siguientes valores  $C=100nF$  y  $R=100K$ , valores que se indican en la Fig. 14.

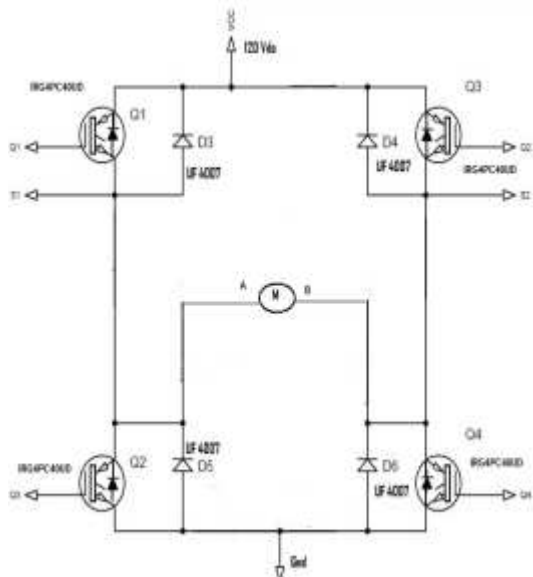


Figura 13. Puente H de IGBT's

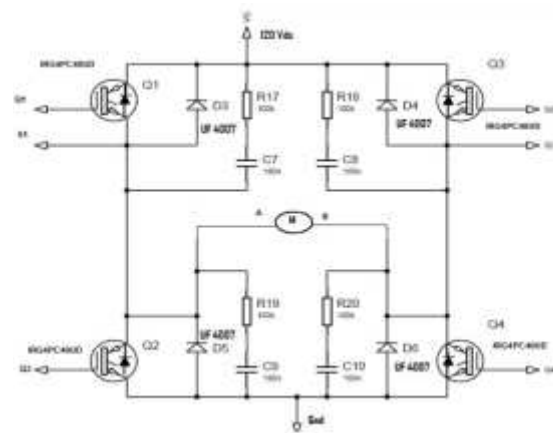


Fig. 14. Diseño de Redes Snubbers.

### B. Implementación del Hardware

El drive troceador DC/DC requiere medidas de acuerdo a módulos existentes en el laboratorio. La distribución de los componentes se realizó pensando en un uso óptimo del espacio, resguardando las distancias necesarias para los componentes de potencia, organizado en forma didáctica, manipulable para la realización de prácticas de laboratorio.

### Construcción del módulo del drive troceador.

Para la construcción del módulo del drive troceador primero se toma en cuenta los elementos que van a formar parte de la placa, para luego hacer un diseño de las pistas que van a ir en la parte conductora de la placa, estas pistas se realizó en el programa ARES 7 Profesional de Proteus. Ver Fig. 15.

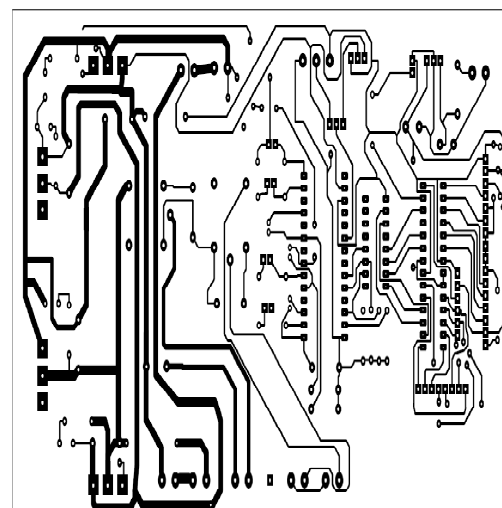


Fig. 15. Circuito impreso.

Luego de la construcción de las pistas en la placa se procede al montaje de los elementos. Ver Fig. 16.



Fig. 16. Tarjeta electrónica

En la Fig. 17 se muestra la implementación de los elementos que se emplean como interfaz entre la tarjeta electrónica y el panel de control.



Fig. 17. Panel de control del Drive.

En las Fig. 18 y 19 se visualiza la instalación de todos los elementos utilizados en el drive troceador DC/DC.



Fig. 18. Drive troceador DC/DC vista superior.



Fig.19. Drive troceador DC/DC vista frontal.

### Diseño de las presentaciones del LCD.

Para el Diseño de las pantallas de visualización del Drive Troceador DC/DC para un motor de 120 Vdc y 2.8 Amp, existentes en el Laboratorio de Control Eléctrico y PLC's se requiere de un LCD de 128 x 68 Pixel graficable, que permite un control didáctico y visual, de los sentidos de giro, velocidad, rampa de aceleración, frenado de un motor, así como pantallas que determinan en forma de gráfico las acciones que se encuentran ejecutando durante el transcurso del control del motor.

Las pantallas iniciales presentan datos informativos de los integrantes del proyecto. Ver Fig. 20, siguiendo la secuencia se visualiza una pantalla para ingresar la clave de anexo 1980. Ver Fig. 21, si la contraseña es incorrecta se presenta un gráfico que indica que falló en su intento. Ver Fig. 22, si la clave es correcta se presenta un gráfico que permite el ingreso al control del sistema. Ver Fig. 22.



Fig. 20. Presentación para ingreso clave.

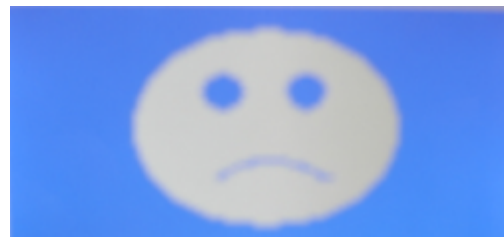


Fig. 21. Presentación ingreso clave incorrecta.



Figura 22. Presentación para clave correcta.

Luego que se ingresa al control del sistema, se describe las acciones que realiza las opciones de las pantallas presionando las teclas correspondientes presentes en el módulo.

**1: GIRO DERECHA.-** Permite el ingreso a las características de funcionamiento del motor en sentido horario, presentando opciones como incremento y decremento de velocidad, control de frenado, selección de velocidad (rampa de aceleración), salir del menú.



**GIRO IZQUIERDA.-** Permite el ingreso a las características de funcionamiento del motor en sentido anti horario, presentando opciones como incremento y decremento de velocidad, control de frenado, selección de velocidad (rampa de aceleración), salir del menú.

**SALIR MENU.-** Permite regresar a una pantalla de presentación anterior.

**A: INC VELOCIDAD.-** Incrementa la velocidad del motor desde el 0% hasta el 100% de su valor nominal en pasos de 0.7. Ver Fig. 23.

**B: DEC VELOCIDAD.-** Decrementa la velocidad del motor desde el 100% hasta el 0% de su valor nominal en pasos de 0.7. Ver Fig. 24.



Fig. 23. Pantalla del menú.

Después de haber seleccionado algún sentido de giro existe otro menú como el que se detalla. Ver Fig. 24.



Figura 24. Pantalla del submenú.

**C: CONT FRENADO.-** Ejecuta el frenado del motor en tres opciones : bajo 25% , medio 50% , alto 75% . Ver Fig. 24.

**D: SEL VELOCIDAD.-** Permite el control de la velocidad del motor en una rampa de aceleración y desaceleración. Ver Fig. 24.

**\* : SALIR MENU.-** Retorna al menú anterior . Ver Fig. 24.

**%VOLT=-** Visualiza los valores en % de las variaciones de velocidad del motor. Ver Fig. 24.

### C. Diseño de Software.

#### Diseño del analizador de armónicos.

El diseño para el analizador de armónicos del sistema del drive troceador, se lo plantea de acuerdo a los requerimientos del mismo, se implementa un software en base al programa labview que presenta facilidades en el diseño de pantallas virtuales.

Nuestro analizador virtual presenta pantallas que poseen semejanzas y apariencias de un instrumento real, analizador de armónicos monofásico, que permiten el monitoreo de las señales eléctricas de línea y armadura del motor, además datos presenta datos que ayudan a determinar el comportamiento del sistema, por medio de herramientas llamadas Vis, posee un controlador para la tarjeta DAQ USB 6009, que facilita la comunicación entre hardware y software.

## IV. PRUEBAS EXPERIMENTALES

Para las pruebas experimentales, se analizó el correcto funcionamiento de los menús y submenús de cada una de las pantallas que posee el módulo, para obtener los datos de voltaje y corriente se utilizó multímetros y amperímetros, para los datos de velocidad del motor en RPM se utilizó un tacómetro digital, la etapa de potencia fue alimentada con un voltaje de 120Vdc y el motor DC tiene una excitación independiente con una resistencia del reóstato de 360 Ohmios.

- Al trocear la señal de alimentación con el PWM, se logra variar el voltaje medio que ingresa a la armadura del motor, por lo tanto varía la velocidad del mismo.
- La frecuencia de troceado es de 1Khz, por lo tanto los armónicos aparecerán a partir de dicha frecuencia.
- Dependiendo del voltaje medio aplicado al motor se obtendrá la magnitud de los armónicos.
- Cuando se aumenta la carga en el generador el tiempo de frenado se reduce al mínimo.
- La corriente de consumo del sistema es aproximadamente de 2.2 A.

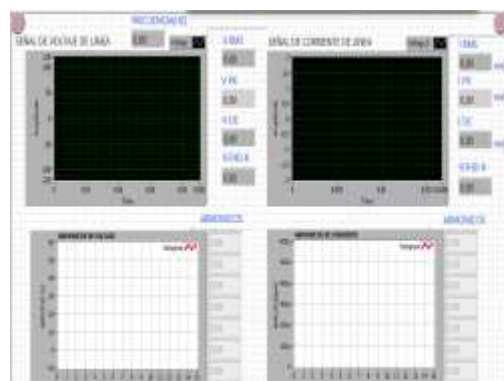


Fig. 25. Analizador de armónicos.

### A. Pruebas realizadas con el motor sin carga.

#### Giro Derecha.

Las primeras pruebas que se realizaron fueron con el motor sin carga, trabajando en vacío. Se pudo observar

que la máxima corriente que consume la carga es de 1.12 Amp con un voltaje de armadura de 106.6 V.

*Giro Izquierda.*

La inversión del giro del motor se produce cuando el voltaje y corriente son negativos. Se pudo observar que al cien por ciento del voltaje nominal del motor, provoca una corriente máxima de 1.31 Amp.

*B. Pruebas realizadas con el motor con carga.*

*Giro Derecho con una carga de 1200 ohmios.*

El voltaje y corriente de armadura del motor, tiende a reducirse cuando se incrementa la carga en el generador. La acción del frenado del motor se ve afectada por el aumento de carga. La corriente de armadura en el generador es de 0.22 A.

*Giro Izquierda con una carga de 1200 ohmios.*

Al invertir el giro del motor el generador producirá un voltaje negativo, porque también se invirtió su sentido de giro.

*Señales eléctricas del Drive Troceador DC/DC.*

En esta parte se observan los diferentes porcentajes de troceado de la señal, así como sus formas de onda de voltaje de troceado y corriente de armadura. Las formas de onda se muestran en las Fig. 26, 27, 28 y 29, donde se puede comprobar de forma práctica toda la teoría mencionada anteriormente.



Fig. 26. Corriente de armadura al 25% de voltaje a 1kHz, giro derecho



Fig. 27. Troceado al 25% de voltaje a 1kHz, giro derecho.

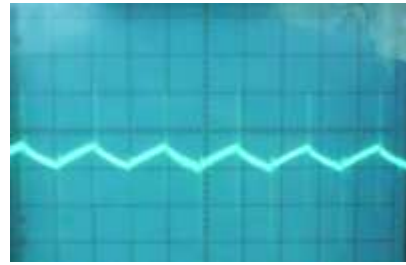


Fig. 28. Corriente de armadura al 50% de voltaje, a 1kHz, giro derecho

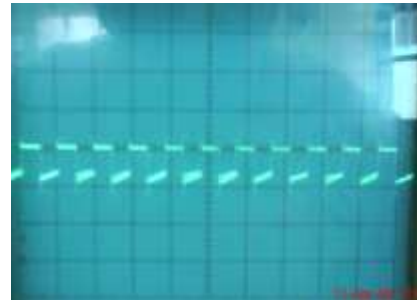


Fig. 29. Troceado al 50% de voltaje, a 1kHz, giro derecho

*Análisis de armónicas.*

Para el análisis de armónicas se utilizó el analizador monofásico fluke, y el software desarrollado en labview.

*Señales eléctricas de voltaje y corriente de línea.*

En las figuras 30 y 31 se muestran las señales adquiridas en labview de la forma de onda del voltaje y los armónicos presentes en el voltaje.

En base a todas las pruebas experimentales, podemos concluir que el Drive Troceador DC/DC para un motor de 175wattios-1800rpm-120Vdc-2.8 Amp, tiene una funcionalidad del 100% en base a los requerimientos establecidos en el proyecto.

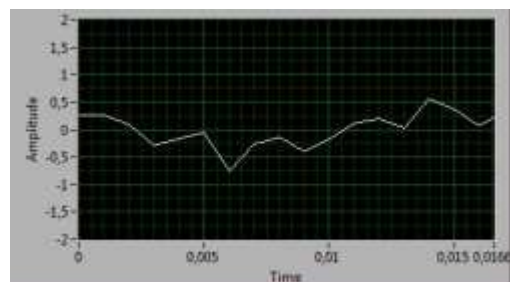
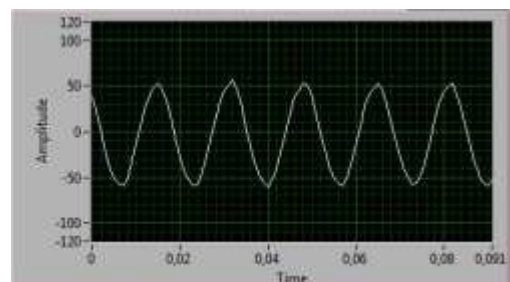


Fig. 30. Forma de onda de voltaje



Fig. 31. Armónicos presentes en el voltaje

## V. CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó un módulo didáctico de un Drive Troceador para el control de una máquina DC en cuatro cuadrantes, destinado al Laboratorio de Control Eléctrico y PLC's, cumpliendo con el objetivo establecido en un 100%.

Se determinó las etapas funcionales de un Drive Troceador las cuales son: etapa de potencia, redes *snubbers*, circuito de mando de los transistores de potencia, circuito de control y filtro.

Para nuestro proyecto se consideró óptimo la técnica de PWM, puesto que se consigue variar el voltaje y la corriente entregada a la carga y manteniendo constante la frecuencia del troceador.

Se realizaron las adecuaciones necesarias para que este módulo sea parte integral del laboratorio de Control eléctrico y PLC's, presentando un material didáctico, compacto, estándar, manipulable, para la realización de prácticas de laboratorio.

Se diseñaron adecuadamente todas las etapas que constituyen el Drive Troceador, para su correcto funcionamiento y que cumplan todos requerimientos planteados en este proyecto.

Se seleccionó cada uno de los elementos constitutivos del módulo, de tal forma que sean los óptimos para que el sistema cumpla con todos los objetivos planteados.

Se diseñó e implementó un analizador de espectros virtual para determinar el comportamiento de los datos, curvas, armónicos del Drive Troceador, comprobando el correcto funcionamiento del sistema.

Se estableció la comunicación de datos entre la parte de hardware y software mediante una tarjeta de datos

USB 6009, el software Labview y el software *MeasureAutomation*, para monitorear señales y datos mediante una PC.

Para determinar el correcto funcionamiento del equipo se realizaron pruebas experimentales.

Se elaboró y verificó una guía de práctica de laboratorio donde el estudiante encontrará toda la información requerida para el aprendizaje didáctico del un Drive Troceador DC/DC.

## REFERENCIAS

- [1] Rashid, M. (1995) "Electrónica de Potencia; Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones", Capítulo 9 "Pulsadores en CD". 2ª edición Pearson Educación.
- [2] MOHAN / UNDELAND / ROBBINS "Power electronics", 2da Edition, 1995, pág 27
- [3] CHILET SEGUI SALVADOR, SALES FRANCISCO, DIAZ CARLOS "Electrónica de Potencia Fundamentos Básicos", 1ra Edición, 2004.

# DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

## Escuela Politécnica del Ejército

El Departamento de Eléctrica y Electrónica (antigua Facultad de Ingeniería Electrónica) fue creada el 25 de abril de 1977 e inicia sus labores en octubre del mismo año en la modalidad presencial, con sus planes y programas de estudio encaminados a la formación del Ingeniero Electrónico. A partir de octubre de 1990, ofrece dos carreras con perfiles profesionales definidos: Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones e Ingeniería Electrónica en Computación. El Departamento está en condiciones de ofrecer otras alternativas en pre y posgrado.

En la propuesta actual del Departamento se integran en un sólo perfil estas aspiraciones, ofreciendo las siguientes carreras: Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control, e Ingeniería en Electrónica, Redes y Comunicación de Datos.

Además oferta los siguientes Postgrados: Maestría en Redes de Información y Conectividad y Maestría en Gerencia de Redes y Telecomunicaciones.

The background is a solid blue color with several sets of white, wavy, parallel lines that create a sense of motion and depth. These lines are arranged in a way that they appear to flow across the page, with some sets curving upwards and others downwards. The overall effect is a modern, technical, and dynamic aesthetic.

**Departamento de Eléctrica y Electrónica**  
**Escuela Politécnica del Ejército**  
**Copyright © 2011**