

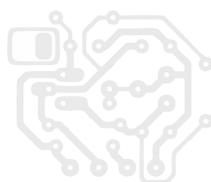
# Interfaz de potencia de estado sólido y relevadores, controlada mediante dispositivos móviles

**RESUMEN:** En la actualidad, la comunicación entre dispositivos electrónicos es una necesidad tecnológica básica, en particular los dispositivos que se encuentran a corta distancia y que normalmente se comunican entre sí por medios alambrados. Los sistemas inmersos ligados a la tecnología inalámbrica como el Bluetooth pueden utilizarse para el desarrollo de circuitos de interfaz de potencia capaces de controlar dispositivos de VCA y VCD de forma inalámbrica a bajo costo. Los relevadores, y los circuitos de control de fase representan los métodos típicos de activación de cargas de VCA y VCD.

Este artículo presenta el diseño y desarrollo de un sistema inmerso basado en un microcontrolador PIC16F887 para el control de una interfaz de potencia mediante una interfaz de datos RS232-Bluetooth y una aplicación móvil Android Os.

La interfaz de potencia diseñada es capaz de controlar hasta 6 relevadores, y controlar el ciclo de trabajo de señales de 120VCA a 60HZ y señales de VCD para la activación de cargas inductivas y resistivas.

**PALABRAS CLAVE:** PWM, control de fase, detector cruce por cero, sistema inmerso, microcontrolador, aplicación móvil, interfaz RS232-Bluetooth, CCS, App Inventor.



## Colaboración

Jacobo Gómez Agis, José Francisco Martínez Lendeche, Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo.

**ABSTRACT:** Currently, the communication between electronic devices is a basic technological need, particularly those devices that are within walking distance and normally communicate with each other by means wired. The embedded system linked to the wireless technology like Bluetooth can be used to develop power interface circuits able to control VAC and VDC devices wirelessly at low cost. Relays and AC phase control circuits represent the typical methods of activation of VAC and VDC loads.

This paper presents the design and development of an embedded system based on a PIC16F887 microcontroller for the control of a power interface using a Bluetooth - RS232 interface data and an Android Os mobile application. The designed power interface is able to control up to 6 relays and control the duty cycle in 120VAC signal at 60HZ and VCD signals for activation of inductive and resistive loads.

**KEYWORDS:** PWM, AC phase control, zero crossing detection, embedded system, microcontroller, mobile application, RS232 - Bluetooth interface, CCS, App Inventor.

## INTRODUCCIÓN

Las interfaces de potencia son circuitos de acoplamiento utilizados para la activación de actuadores eléctricos que demandan altas cantidades corrientes. Las interfaces de potencias son construidas a partir de dispositivos electrónicos de estado sólido como SCR, TRIAC, BJT, AOP y otros, así como también de dispositivos electromecánicos como relevadores y contactores.

En la actualidad, la comunicación entre dispositivos electrónicos es una necesidad tecnológica básica, en particular los dispositivos que se encuentran a corta distancia y que normalmente se comunican entre sí por medios alambrados. Debido al escenario anterior, la tendencia actual son tecnologías inalámbricas de corto alcance como el Bluetooth, que es una tecnología emergente especializada en la comunicación entre dis-

positivos fijos y móviles a distancias no más allá de 10m, permitiendo el intercambio de información inalámbrica de manera segura [1].

Hoy en día, los recursos que ofrecen los dispositivos móviles son muy diversos y accesibles como teclados táctiles, GPS, acelerómetros, reconocimiento de voz, comunicación Bluetooth y otros, convirtiendo lo anterior en una opción atractiva y económica para el control de aplicaciones electrónicas en tiempo real. Debido a estas ventajas, se han desarrollado interfaces inalámbricas para dispositivos programables [6] [7] y sistemas inmersos con dispositivos móviles [8] [10] representando un avance sustancial para el control de aplicaciones electrónicas inalámbricas y la domótica [13] [14] [15].

El objetivo de este artículo es mostrar la aplicación de los sistemas inmersos en el desarrollo de circuitos de interfaz de potencia vía inalámbrica, el cual permite su control en tiempo real mediante dispositivos móviles y manteniendo la funcionalidad del sistema sin requerir una conexión permanente entre el microcontrolador y el dispositivo móvil.

Este artículo consiste de una descripción de los diferentes componentes de la aplicación: TRIAC y control de fase, detección de cruce por cero, modulador de ancho de pulso, relevadores, transistores Darlington, el protocolo Bluetooth, el sistema inmerso desarrollado y finalmente se presentan los resultados y las conclusiones de este trabajo.

### Triac y control de fase

Un TRIAC es un dispositivo electrónico de estado sólido de tres terminales usado para controlar la corriente promedio de VCA que fluye hacia una carga [9]. Cuando el TRIAC está apagado, actúa como interruptor abierto evitando el flujo de corriente entre las terminales principales; sin embargo, cuando el TRIAC es disparado, existe un flujo de corriente de una terminal hacia la otra (MT2 y MT1), con la dirección del flujo de la polaridad del voltaje externamente aplicado. Su circuito típico de disparo se muestra en la figura 1.

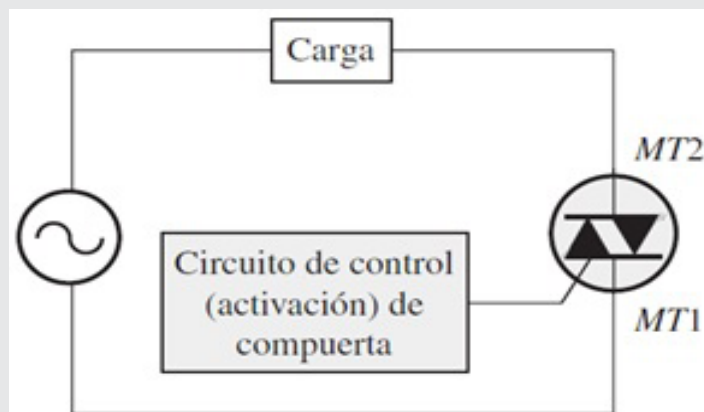


Figura 1. Circuito típico de disparo del TRIAC.

La corriente promedio suministrada a la carga se puede variar mediante el cambio de la cantidad de tiempo por ciclo que el TRIAC permanece encendido. Si permanece menor tiempo del ciclo encendido, el flujo de corriente promedio es bajo, si permanece mayor tiempo del ciclo encendido, entonces la corriente promedio será alta, tal y como se muestra en la figura 2.

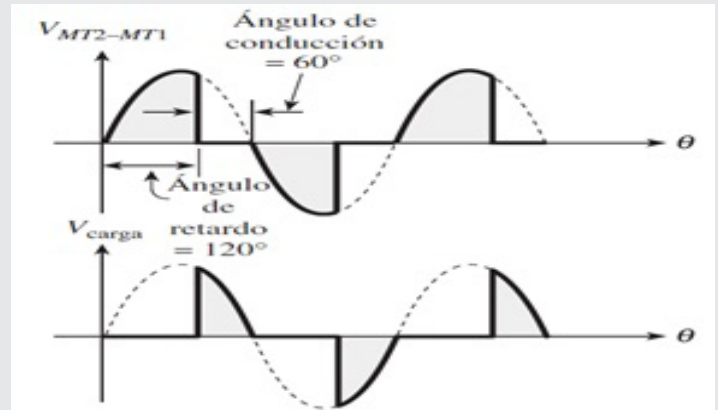


Figura 2. Formas de onda del TRIAC.

Para poder generar un voltaje de carga deseado es necesario controlar el ángulo de disparo del TRIAC por medio de una señal de PWM que se encuentre sincronizada con la señal de la línea (120VAC, 60Hz) mediante detectores de cruce por cero. Cada vez que ocurre un disparo, el TRIAC permanece en conducción hasta que la señal cruza por cero [11], [12]. De esta manera se puede controlar el disparo y el voltaje promedio que se quiere aplicar a la carga como se muestra en la figura 3.

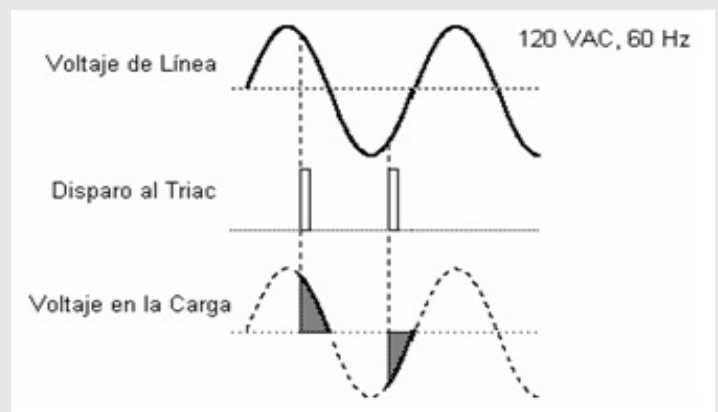


Figura 3. Señales de voltaje de línea, disparo del TRIAC, y ángulo de conducción.

### Detección de cruce por cero

Los detectores de cruce por cero, son circuitos electrónicos utilizados en señales de corriente alterna para determinar el momento preciso en que la señal alterna corta el eje, tal y como se muestra en la figura 4. Esta referencia es necesaria para poder establecer un punto de referencia a partir del cual se pueda disparar un tiristor con una señal PWM. Estos circuitos pueden ser construidos a partir de opto-acopladores o de amplificadores operacionales.

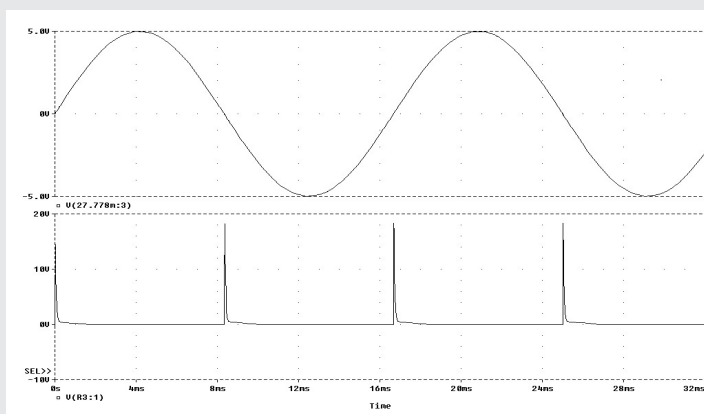


Figura 4. Señal de salida de un circuito detector de cruce por cero.

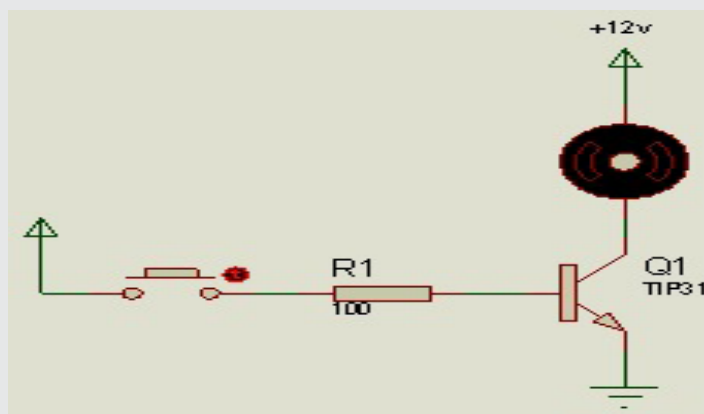


Figura 6. Circuito típico de corte o saturación de un transistor Darlington NPN.

### Modulación de ancho de pulso

La modulación de ancho de pulso (PWM, por sus siglas en inglés) es un proceso en el que una señal se transforma en una serie de pulsos con anchos que pueden variar según la frecuencia y ciclo de trabajo deseado. El ciclo de trabajo (medido en porcentaje) establece la cantidad de tiempo que la señal permanece en estado lógico alto, en proporción al tiempo total que requiere la señal para realizar un ciclo completo. La frecuencia determina que tan rápido se completa un ciclo. Algunas señales PWM con diferentes ciclos de trabajo se muestran en la figura 5.

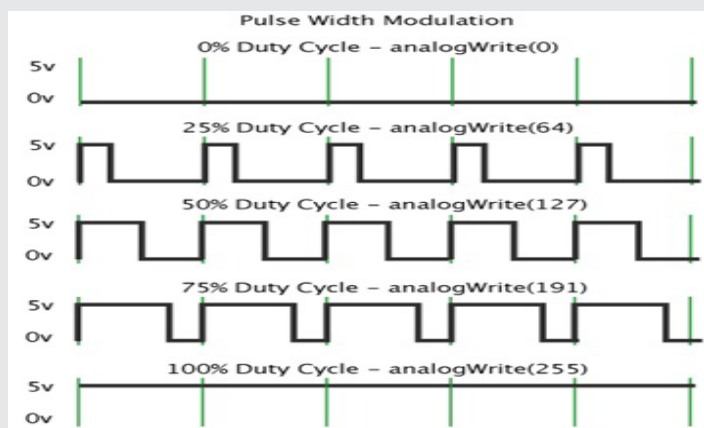


Figura 5. Señales PWM con diferentes ciclos de trabajo

### Transistores Darlington

Los transistores Darlington se caracterizan por su configuración de dos transistores conectados en cascada, cuya ganancia de corriente total es el producto de las ganancias de corriente de cada transistor. La conmutación de un transistor de potencia se da en casos en que se requiere que el transistor esté en estado de corte o saturación ante un pulso eléctrico como el circuito de la figura 6.

### Relevadores

Un relevador es un dispositivo electromagnético que permiten abrir o cerrar contactos eléctricos independientes, a partir de la activación de su circuito eléctrico que está compuesto de una bobina y un electroimán. Estos dispositivos gozan de gran aceptación para operaciones de conmutación y control de cargas con pequeñas o altas tensiones.

### Protocolo Bluetooth

Bluetooth ofrece un protocolo de comunicaciones inalámbricas de bajo consumo de potencia que opera en la banda de 2,4 GHz. Su enlace es altamente confiable en comunicaciones digitales, ya que habilita mecanismos de detección de error, ofrece una inmunidad natural a la interferencia y habilita procesos de encriptación para garantizar comunicaciones confiables y seguras [1].

### Sistema inmerso basado en microcontrolador con comunicación inalámbrica

Un sistema inmerso basado en microcontrolador puede definirse como una microcomputadora controlada por software fiable y equipada con un mínimo de componentes (RAM, ROM, puertos de entrada/salida, sensores actuadores, etc.) para operar en distintos entornos y realizar tareas o funciones específicas de forma autónoma en tiempo real [5], [2]. Si a lo anterior se añade la capacidad de comunicarse con dispositivos móviles, lo convierte en una opción atractiva y económica para el control de aplicaciones electrónicas. Esta modificación puede explotarse en la activación a distancia de actuadores eléctricos como lámparas, ventiladores, motores, bombas hidráulicas, compresores, entre otros.

### Desarrollo del sistema

El sistema inmerso descrito en este trabajo, permite a los usuarios controlar hasta 6 salidas a relevador, y 2 salidas PWM para el control de fase de cargas de VCA y VCD mediante dispositivos móviles. El sistema utiliza como interfaz de control cualquier dispositivo móvil Android o a través del protocolo de comunicación Bluetooth a una

distancia máxima de 10m. La figura 7 muestra el esquema básico del sistema inmerso desarrollado.

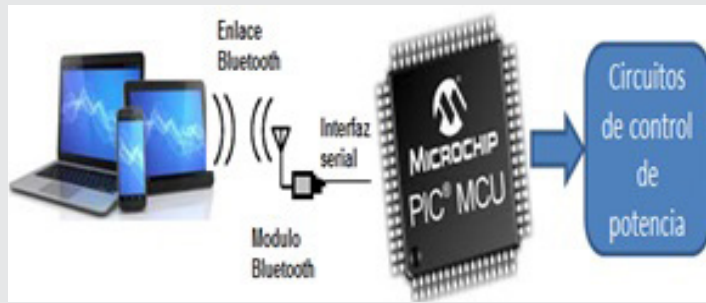


Figura 7. Esquema básico del sistema inmerso con comunicación Bluetooth.

### A. Hardware

Utilizando un microcontrolador PIC16F887, una tarjeta de relevadores, un detector de cruce por cero, un circuito de control de disparo de un TRIAC, un circuito de polarización de transistor y un módulo de comunicación Bluetooth HC-06, se realizó el diseño del sistema inmerso de la interfaz de potencia con comunicación Bluetooth.

El principio de funcionamiento del circuito de control está basado en el diagrama a bloques que se muestra en la figura 8, donde el microcontrolador manda datos directamente a una tarjeta de relevadores para el control de cargas de VCA o VCD. El microcontrolador utiliza un detector de cruce por cero para establecer un punto de referencia a partir del cual activar el circuito de control de disparo del TRIAC (mediante una salida PWM) y obtener un control de fase en cargas de VCA. Para el control de cargas de VCD, el microcontrolador envía otra salida PWM para activar un circuito de polarización de transistor. Finalmente, el microcontrolador está conectado al módulo Bluetooth para habilitar la comunicación bidireccional con dispositivos móviles.

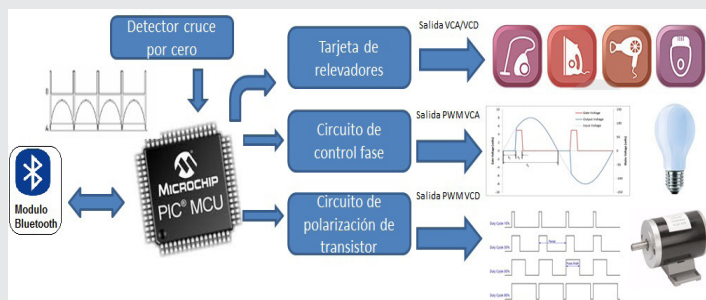


Figura 8. Diagrama a bloques del circuito de interfaz de potencia controlado mediante dispositivos móviles.

El circuito de relevadores mostrado en la figura 9 se basa en un microcontrolador que se comunica directamente con un driver ULN2803 que activa un grupo de relevadores permitiendo controlar hasta 6 cargas de VCD o VCA.

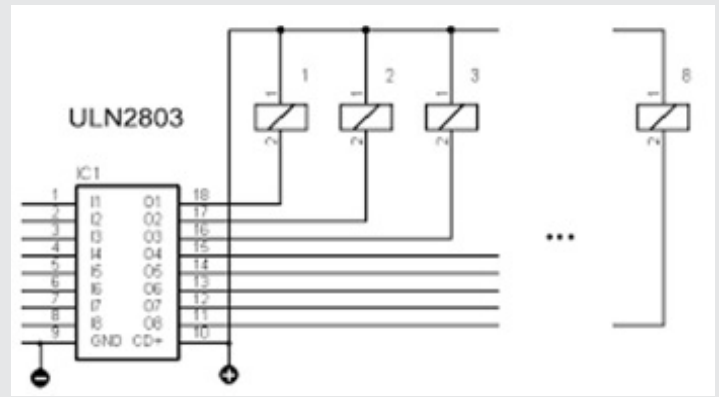


Figura 9. Diagrama esquemático de la tarjeta de relevadores.

Para el control de fase en cargas de VCA, es primordial la detección del cruce por cero de la señal de la línea de 120VAC a 60 Hz, mediante el circuito de la figura 10.

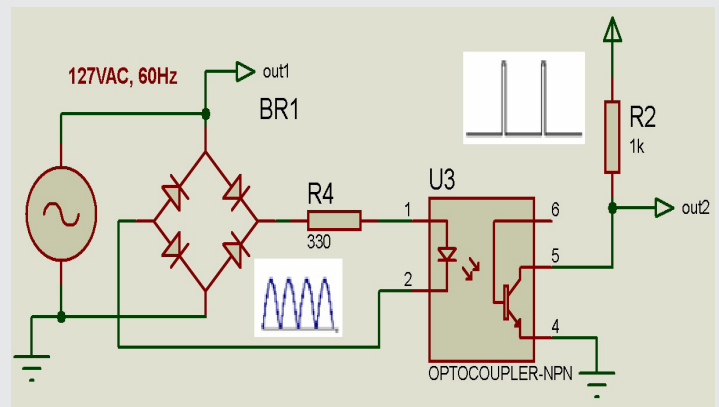


Figura 10. Circuito detector cruce por cero.

Si la frecuencia del semiciclo positivo o negativo es de 120Hz, se tiene un  $T=0.00833\text{seg}$ . Por lo tanto un ciclo de trabajo al 100% significa que el TRIAC permanece activo durante 0.00833 segundos durante cada semiciclo. Si se desea que el TRIAC controle un ciclo de trabajo deseado, se debe controlar el tiempo que permanece disparado el TRIAC cada vez que exista un cruce por cero esperando la diferencia de tiempo entre el ciclo de trabajo completo y el deseado, utilizando las Ec. 1 y 2

$$T_{\text{activo}} = 0.00833D \quad \text{Ec. (1)}$$

$$T_{\text{espera}} = 0.00833 - T_{\text{activo}} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde  $D = \%$  ciclo de trabajo deseado

Para un ciclo de trabajo de 60%, el TRIAC espera 0.0033 segundos después de detectar un cruce por cero y permanece activo 0.005 segundos; repitiendo esta acción en cada cruce por cero como se muestra en la figura 11.

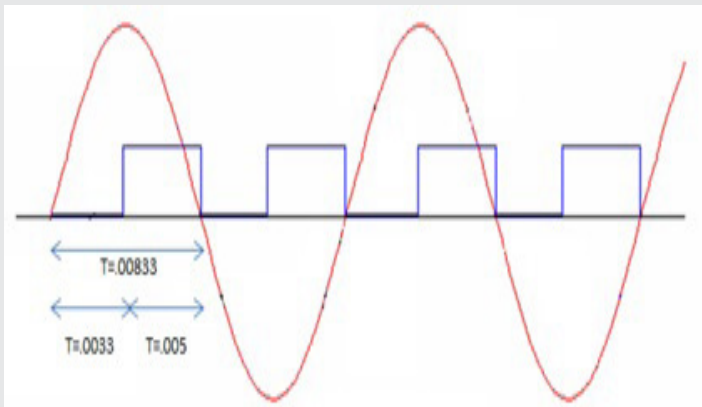


Figura 11. Grafica de señales del PWM.

El circuito de acoplamiento de potencia de VCA de la figura 12, consiste de un circuito de disparo de un TRIAC optoacoplado y de una señal de control PWM producida por el microcontrolador, permitiendo activar cargas resistivas e inductivas de 127 VCA a un ciclo de trabajo deseado.

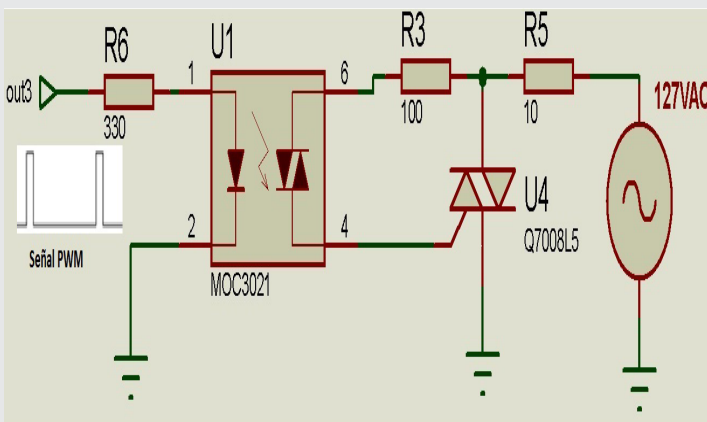


Figura 12. Circuito de disparo del TRIAC optoacoplado.

Para el circuito de acoplamiento de potencia de VCD, se utilizó el circuito de polarización de transistor mostrado en la figura 13. Este circuito recibe una señal PWM generada por el microcontrolador para trabajar el transistor en estado de corte o saturación, permitiendo activar cargas de VCD para un ciclo de trabajo deseado.

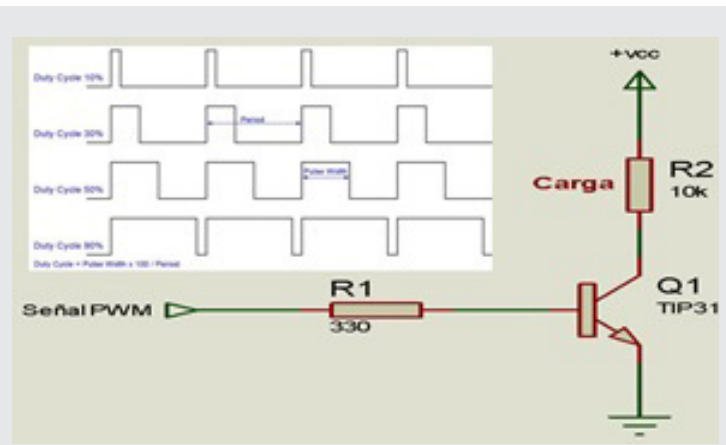


Figura 13. Circuito de polarización de transistor.

### B. Interfaz RS232-Bluetooth

Los microcontroladores poseen módulos internos de comunicación (UART, SPI, I2C, etc.) para establecer la comunicación de datos en forma serial con otros componentes o dispositivos [3]. En particular, la interfaz RS232-Bluetooth utiliza el módulo UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) con formato NRZ, y los siguientes parámetros: 9600 Baudios, 8 bits de datos, No paridad, y 1 bit de paro para la comunicación full-duplex y cuyos parámetros de configuración son los mismos con los que opera el módulo de comunicación Bluetooth HC-06 para establecer enlaces inalámbricos. De esta manera, el microcontrolador se comunica con el módulo HC-06 para el envío y recepción de datos utilizando el protocolo RS232. El módulo HC-06 se comunica con dispositivos móviles de manera bidireccional utilizando el protocolo de comunicación Bluetooth como se muestra en la figura 14.

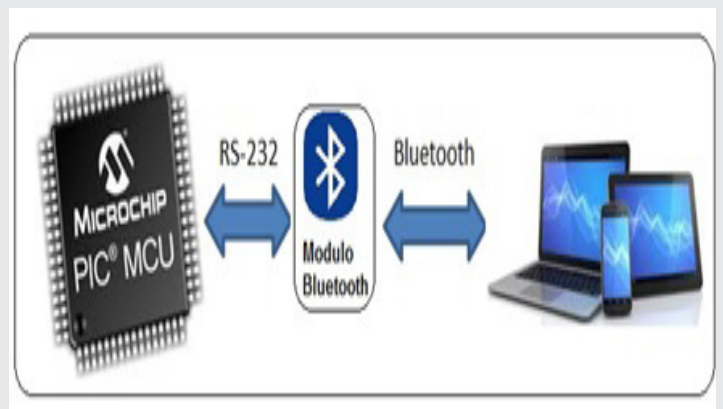


Figura 14. Interfaz RS232-Bluetooth.

### C. Software

Para el desarrollo del sistema inmerso se utilizó el IDE (integrated development environment) CCS C compiler, por su versatilidad, y por ser de distribución libre,

lo cual permite reducir los costos de desarrollo. Dispone de una amplia librería de funciones predefinidas, comandos de procesamiento, además de numerosos controladores para dispositivos electrónicos [3]. En lo que concierne el desarrollo de la aplicación móvil de control, se utilizó App Inventor. App Inventor es una aplicación web que ofrece a los usuarios un entorno de desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles Android Os, a través de un módulo Web y un editor de bloques de funciones Open Blocks de Java [4].

## RESULTADOS

Las pruebas realizadas a la interfaz de potencia permitieron cuantificar los parámetros mostrados en la tabla I. La medición de potencia consumida se realizó con equipo de medición eléctrica. Respecto a la máxima corriente y voltaje soportado por las salidas a relevador y salidas PWM (con TRIAC, y Darlington), hemos utilizado los datos de la hoja de especificaciones del fabricante. Para el uso de la aplicación desarrollada Bluetooth Control Device, se utilizó dispositivos móviles que contaran con el sistema Android O.S. versión 4.0 y superiores. Finalmente se realizaron pruebas de funcionalidad en casas habitación, laboratorios, edificios, aulas didácticas, pasillos, y espacios libres para uso público bajo condiciones no controladas de consumo eléctrico, y conexiones externas Bluetooth de dispositivos móviles.

Tabla 1. Resultados obtenidos de la interfaz de potencia.

Número de Probeta	Porcentaje de Aumento de la Rugosidad AR (%)			
	Agua Destilada Probetas PA	Cloruro de Sodio al 10% Probetas PB	Cloruro de Sodio al 16% Probetas PC	Cloruro de Sodio al 20% Probetas PD
01	10.04	26.54	107.93	80.04
02	3.88	40.26	90.47	48.59
03	7.14	10.23	71.83	104.11
04	3.36	27.94	129.51	48.31
05	1.65	41.06	90.96	43.19
06	5.39	18.87	61.01	36.08
07	2.62	24.68	38.36	76.80
08	5.76	41.10	26.60	104.72
09	6.65	10.83	158.65	84.08
10	12.07	13.64	17.36	15.48
11	7.31	23.11	126.95	35.17
12	10.12	16.05	105.21	12.99
Promedio	<b>6.33</b>	<b>24.52</b>	<b>85.40</b>	<b>57.46</b>

Mediante este sistema se realizó la comunicación entre dispositivos móviles y el PIC16F887 implementando una interfaz RS232-Bluetooth. La interfaz de potencia mostrada en la figura 15 es capaz de controlar hasta 6 relevadores (que pueden activar y desactivar todo tipo de dispositivos electrodomésticos), controlar el ciclo de trabajo (de 0 al 100%) de una señal de 120VCA y 60HZ para la activación de cargas inductivas y resistivas (lámparas, motores monofásicos), y controlar el ciclo de trabajo (de 0 al 100%) de una señal VCD para la activación de cargas pequeñas (tiras de LED, motores de CD). La distancia máxima de operación mediante el dispositivo móvil fue de 10m.

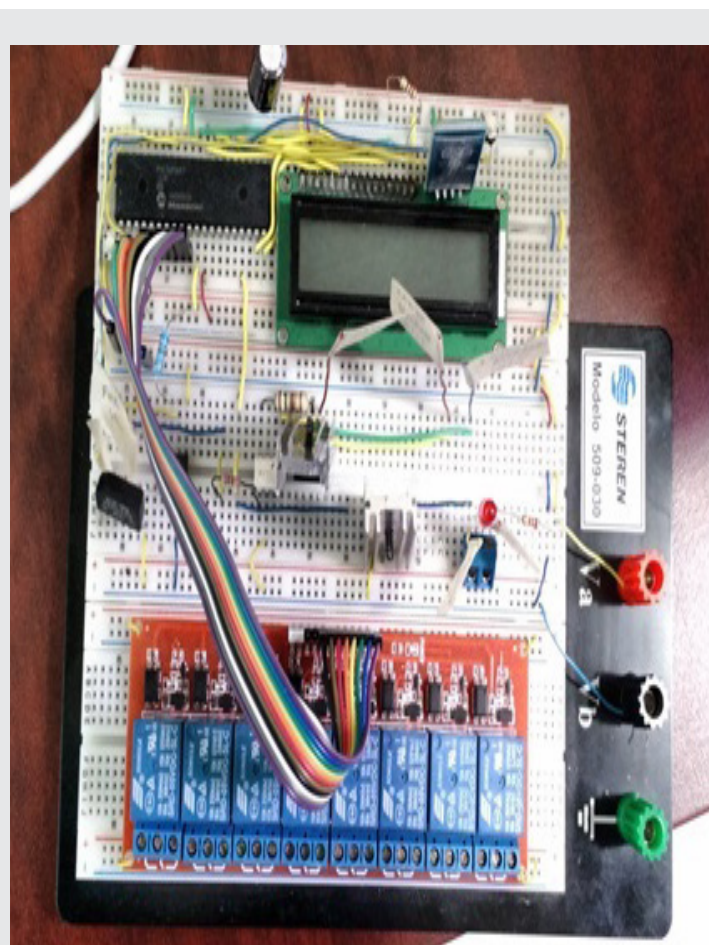


Figura 15. Interfaz de potencia controlada mediante dispositivos móviles desarrollada.

La aplicación móvil desarrollada Bluetooth Control Device que se muestra en la figura 16 presenta al usuario un conjunto de botones para interactuar con la aplicación en tiempo real y decidir que dispositivos activar o desactivar, y que ciclo de trabajo de las señales PWM VCA o PWM VCD activar y ajustar. La aplicación permite realizar la búsqueda del circuito de control Bluetooth y controlar diferentes dispositivos sin tener que realizar maniobras físicas en una estación de botones donde esté instalado el circuito de potencia.



Figura 16. Aplicación Bluetooth Control Device desarrollada.

## CONCLUSIONES

La interfaz RS232-Bluetooth implementada, permite que los microcontroladores accedan y procesen información de diferentes recursos de los dispositivos móviles como GPS, acelerómetro, reconocimiento de voz, y otros, convirtiendo lo anterior en una opción atractiva y económica para el control de aplicaciones electrónicas en tiempo real.

Con el sistema inmerso desarrollado, en conjunto con la aplicación Bluetooth Control Device, se controló una interfaz de potencia de manera inalámbrica mediante dispositivos móviles Android OS, permitiendo la activación de diferentes dispositivos a través de relevadores, y también controlar y ajustar el ciclo de trabajo de señales de VCA y VCD para la activación regulada de cargas inductivas y resistivas mediante la generación de señales de PWM. Con los resultados obtenidos se ha confirmado su adecuado funcionamiento en condiciones reales de operación. La interfaz inalámbrica con dispositivos móviles, representa una opción eficiente, económica y de fácil operación que puede ser empleada en diversas aplicaciones electrónicas.

## REFERENCIAS

- [1] Miller, B., Bisdikian, C. (2001). *Bluetooth Revealed*, (pp. 5-6, 39-49). United States: Prentice hall.
- [2] Galeano, G. (2009). *Programación de sistemas embebidos en C*, (Primera Edición, pp. 4-6). México: Alfaomega.
- [3] García, E., (2008). *Compilador C CCS y simulador Proteus para microcontroladores PIC*, (pp. 23, 167-212). México: Marcombo.
- [4] MIT App Inventor, <http://appinventor.mit.edu/explore/>
- [5] Wilmshurst, T. (2010). *Designing Embedded Systems with PIC Microcontrollers, Principles and Applications* (2nd edition, pp. 3-4). Great Britain: Newnes.
- [6] Linares R. (2004). *Implementación del protocolo Bluetooth para la conexión Inalámbrica de dispositivos electrónicos programables*. *Scientia et Technica*. Año X, No. 24, Mayo 2004. ISSN 0122-1701.
- [7] Godoy, E.P., Scorzoni, F. (2011). *Using serial bluetooth converters as a sensor link in networked control systems*. *Control and Automation (ICCA) IEEE*, pp. 461-466, Santiago.
- [8] Kanma, H., Wakabayashi, N., Kanazawa, R. (2003). *Home appliance control system over Bluetooth with a cellular phone*. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on Vol. 49, Issue 4*, pp. 1049 - 1053.
- [9] Maloney T.J. (2006). *Electrónica Industrial Moderna*, (Quinta Edición, pp. 219-224). México: Pearson Educación.
- [10] Gómez A., Martínez L. (2015). *Sistema inmerso de una matriz LED informativa controlado mediante dispositivos móviles*. *Revista Ingeniantes Año. 2., No. 1., Vol. 1., pp. 78-82. ISSN-2395-9452.*
- [11] Rashid M. (2015). *Electrónica de potencia*. (Cuarta edición, pp. 193-210). México: Pearson.
- [12] Hart D. (2011). *Power Electronics*. (Primera Edición pp.171-182). USA: Mc Graw Hill.
- [13] Shepherd R. (2001). *Bluetooth Wireless Technology in the Home*, *Electronics & Communication Engineering Journal*, vol. 13, no. 5, pp. 195-203.
- [14] Piyare R., Tazil M. (2011). *Bluetooth based home automation system using cell phone*, *Consumer Electronics (ISCE), 2011 IEEE*, pp. 192-195, Singapore.
- [15] Sriskanthan N., Tan F., Karande A. (2002). *Bluetooth based home automation system*, *Microprocessors and Microsystems*, vol. 26, no. 6, pp. 281-289, 2002.