



## Implementación de enlace de fibra óptica usando microcontrolador

Felipe Zúñiga<sup>1</sup>, César Sánchez<sup>2</sup>, Dr. Germán Vargas<sup>3</sup>  
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador  
[uzuniga@fiec.espol.edu.ec](mailto:uzuniga@fiec.espol.edu.ec) , [cmsanche@espol.edu.ec](mailto:cmsanche@espol.edu.ec)

### Resumen

*Este proyecto consiste en implementar un sistema de comunicación basado en fibra óptica utilizando para ello microcontrolador, para dicha comunicación hacemos uso de la transmisión serial. El desarrollo de este trabajo se fundamenta en la programación del PIC en lenguaje C haciendo uso del compilador MikroC PRO y el uso del software Proteus para la simulación respectiva.*

*MikroC PRO es un compilador muy empleado en la actualidad puesto que dispone de un número considerable de librerías que facilitan el trabajo del programador. Proteus en cambio es un software que permite simular el comportamiento de diferentes componentes electrónicos, de igual manera permite la fabricación de las pistas electrónicas de los circuitos y la elaboración de los diagramas esquemáticos.*

**Palabras Claves:** *Modulación, Microcontrolador, PCM, USART, tasa de datos, ancho de banda.*

### Abstract

*This project consists of implementing a fiber optics communication system based on a microcontroller. For this system we use serial transmission. The development of this work is based on PIC programming in C language using MikroC PRO Compiler and use of Proteus software for simulation respectively.*

*MikroC PRO compiler is now widely used since it has a significant number of libraries that facilitate the work of the programmer. Instead Proteus is a software that simulates the behavior of various electronic components, likewise it allows the fabrication of electronic printed circuit boards and the development of the schematics.*

**Keywords:** *Modulation, Microcontroller, PCM, USART, data rate, bandwidth.*

## 1. Introducción

La comunicación es primordial en la vida cotidiana de las personas, por esta razón se han implementado nuevas formas de comunicación basados en circuitos electrónicos con fibra óptica como el medio de transmisión de datos, puesto que este medio nos ofrece ventajas con respecto a otros medios. La fibra óptica es inmune a la interferencia EMI, por lo tanto nos asegura que nuestro enlace no se caiga por perturbaciones provocadas por la red eléctrica, por acople de impedancias, por resonancias y oscilaciones.

Además la Fibra óptica nos permite mayores velocidades de transmisión lo que nos permite enviar mayores cantidades de información en un mismo

intervalo de tiempo con respecto a otros medios de comunicación.

La fibra óptica es un medio seguro para la transmisión de la información lo que ha permitido un avance significativo en el área de las telecomunicaciones.

De igual manera los microcontroladores ocupan un lugar representativo en el campo de la electrónica ya que se encuentran en casi todos los aparatos electrónicos, algunas personas suelen llamarles circuitos integrados programables por realizar una o varias tareas, la única limitante en el uso de los microcontroladores es la práctica e imaginación por parte del programador.

## 2. Modulación

Para transmitir señales portadoras con información, se necesitan sistemas de modulación, por tal razón es importante identificar el tipo de modulación que se va a utilizar, y esto dependerá de su portadora.

### 2.1. Modulación analógica de impulsos

Este tipo de modulación se caracteriza por el cambio de la amplitud, período y duración de cada impulso en función del símbolo a transmitir.

PAM resulta ser la primer paso para lograr la conversión analógica a digital, esta técnica toma la señal analógica, la muestrea y obtiene una serie de pulsos.

### 2.2. Modulación por codificación de pulsos

Se encarga de modificar los pulsos creados por PAM y obtener una señal netamente digital, es utilizada para transmitir palabras código (1 y 0).

PCM no es más que la transmisión de la señal analógica en forma digital, se encuentra integrada de tres partes como son: muestreo, cuantización y codificación.

Refiriéndonos al muestreo no es más que la obtención de muestras de la señal analógica a intervalos de tiempo establecidos, teniendo como base el Teorema de Nyquist. En lo que respecta a la etapa de cuantización, es un proceso mediante el cual los niveles de amplitud muestreados a la señal entrante son convertidos en un conjunto de niveles discretos.

En cambio la codificación se encarga de la conversión de los pulsos cuantificados en un grupo de pulsos de forma binaria que tienen una amplitud constante.

## 3. Descripción del Proyecto

Todo enlace se encuentra comprendido de tres etapas:

1. Transmisor
2. Medio
3. Receptor

En lo que respecta al transmisor, su función es la de enviar a través del medio los datos o información, en nuestro proyecto dicha etapa esta comprendida principalmente por un microcontrolador que se encarga de digitalizar la información y de un diodo emisor de luz propio para fibra óptica.

Para utilizar el diodo mencionado es necesario emplear un manejador que cumpla con las características técnicas de dicho componente, existe varios manejadores comerciales de alta complejidad, haciendo uso de conocimientos de electrónica nos dimos a la tarea de diseñar un manejador sencillo que nos permita cumplir con nuestros requisitos para ello empleamos un transistor bjt que actúa como interruptor.

El medio es aquel que se encarga de guiar las ondas electromagnéticas en forma de luz, para nuestro proyecto basta con utilizar una fibra óptica de plástica multimodo ya que el enlace es de corta distancia.

En lo que respecta al receptor, usamos un amplificador de transimpedancia conformado por un fotodiodo y un amplificador operacional, el mismo que tiene como misión la de incrementar los bajos niveles de corriente y luego convertirla a niveles de voltaje, luego de este bloque tenemos otro microcontrolador el mismo que recibe la información expresado en voltaje y lo envía a un siguiente bloque que se encarga de la conversión analógica de los datos.

## 4. Implementación

Para realizar dicho enlace usamos la transmisión por comunicación serial, un microcontrolador hace las veces de maestro y es aquel que tiene la capacidad de empezar y culminar la transferencia además de generar la señal de reloj, el otro microcontrolador actúa como esclavo y solo se limita a recibir dicha señal de reloj y la información enviada.

### 4.1. Características del microcontrolador

Un detalle a considerar es la frecuencia que se va a inicializar el módulo USART presente en el microcontrolador, la frecuencia empleada en el microcontrolador que hace de maestro debe ser de igual valor que el esclavo.

El módulo USART también es conocido como Interfaz de Comunicación Serial "SCI", dicho módulo opera con el protocolo RS232 el cual es empleado en los computadores personales, en lo que respecta a la norma RS232 el conector más usado es el DB9, dicho conector como su nombre indica se encuentra conformado de 9 pines, cada uno de los pines cumplen una función en particular, existen aquellos que se encargan de transmitir datos, otros se encargan de recibir estos datos y por ultimo existen aquellos que controlan la comunicación.

El módulo USART puede ser configurado para permitir una comunicación asíncrona bidireccional

simultánea “full dúplex” o controlado por señal de reloj, de igual manera puede ser configurado para permitir una comunicación bidireccional no simultánea.

La misión del USART es la de transformar los bytes del bus paralelo del PC a un flujo de bits en serie.

En resumen, el microcontrolador se encarga de recibir señales externas, procesarlas y cumplir con la tarea que fueron programados.

### 4.2. Convertidor digital-analógico

Todo en la naturaleza es de tipo analógico, por ese motivo es necesario utilizar un convertidor digital-analógico, en este circuito usamos un DAC0808 por ser un convertidor que sirve de interfaces con niveles lógicos tanto CMOS como TTL.

El propósito de este tipo de convertidor es suministrar una señal analógica con cierta exactitud de la representación de la palabra digital que se aplica a la entrada.

La salida no es completamente analógica puesto que tenemos una cierta cantidad finita de valores de tensión la misma que depende del número de entradas binarias que disponga el convertidor.

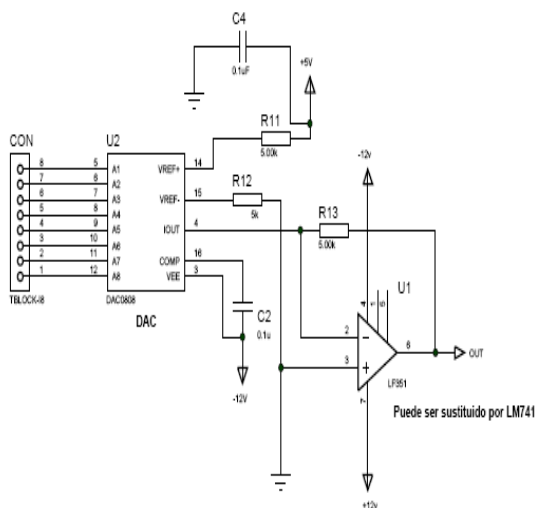


Figura 1. Convertidor digital a analógico

### 4.3. Manejador de LED

Empleamos el IF-E96 en el circuito manejador, el mismo que resulta ser un led que produce luz roja y su salida óptica se encuentra centrado en 660 nm, además hacemos uso de un integrado CMOS CD4093 el mismo que se compone de cuatro compuertas NAND Schmitt-Trigger, estas compuertas operan como compuertas normales pero poseen una propiedad llamada histéresis, dicha propiedad permite

trabajar con señales digitales no ideales y además le hace inmune al ruido.

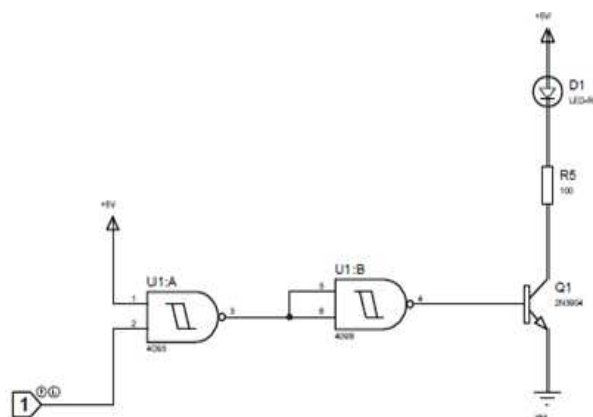


Figura 2. Circuito manejador de LED

Al enviar un cero lógico el LED no se enciende debido a que el transistor en ese momento se encuentra en zona de corte por la no presencia de corriente.

### 4.4. Filtro pasa banda

Además usamos en nuestro proyecto un filtro pasa banda cuyo rango de frecuencias esta comprendido entre 300 Hz y 3000 Hz, el filtro en mención es de tipo activo debido a que presenta algunas ventajas, a continuación las citaremos:

1. Elimina las inductancias que se presentan en baja frecuencia.
2. Permite diseñar filtros más complejos a partir de filtros simples.
3. Proporciona una ganancia considerable cuando se trabaja con señales de bajo nivel.

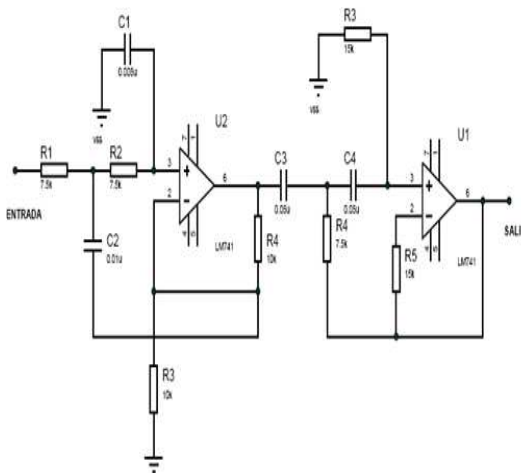


Figura 3. Diagrama esquemático del Filtro pasa banda 300 Hz – 3000 Hz

El filtro se encarga de modificar una determinada señal cuando dicha señal pasa a través de él. Este tipo de filtro permite el paso de un determinado rango de frecuencias y rechaza aquellas que están fuera de ese rango, la transición entre la banda que deseamos que pase y aquella que deseamos eliminar no es abrupta, depende del número de orden del filtro.

#### 4.5. Amplificador

Se encarga de aumentar la amplitud de la señal de entrada, dicho efecto se ve reflejado en su salida.

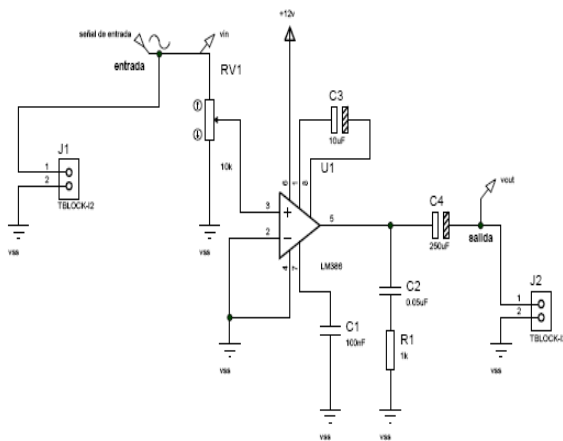


Figura 4. Diagrama esquemático del amplificador

Este tipo de circuito nos proporciona una ganancia de veinte y se encuentra presente en el manual del fabricante del amplificador operacional LM386.

#### 4.6. Demodulador

Una vez que la luz alcanza el destino es convertida en energía eléctrica manteniendo el mismo patrón de información.

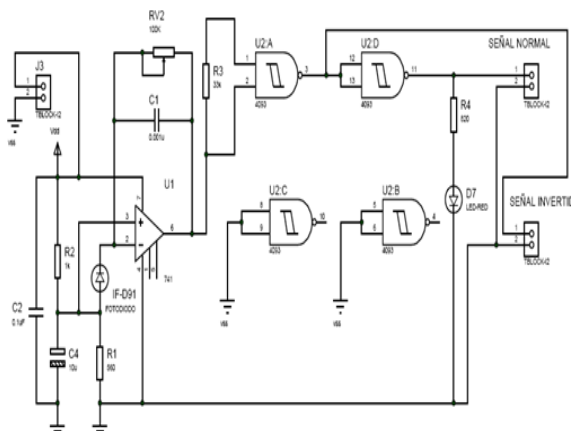


Figura 5. Diagrama esquemático del circuito detector o demodulador

El amplificador operacional LM741 es configurado de manera que se comporte como un amplificador de transimpedancia, es decir, las pequeñas corrientes que circulan por el fotodiodo son transformadas a valores de voltaje.

### 5. Simulación

Simular es vital en el diseño de circuitos ya que nos permite comprobar el funcionamiento de los mismos y modificar si no están cumpliendo con las características de diseño.

#### 5.1. Simulación del convertidor A/D y D/A

Para lograr la conversión A/D basta con utilizar el microcontrolador, puesto que dispone de un módulo dedicado a esa tarea.

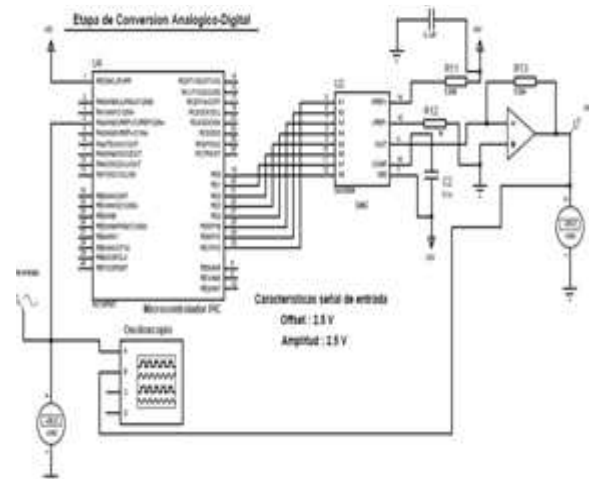


Figura 6. Diagrama esquemático del convertidor A/D y convertidor D/A

La conversión se la restringió a 8 bits con la finalidad de hacer uso de un solo puerto del microcontrolador y además porque el DAC0808 es de 8 bits.

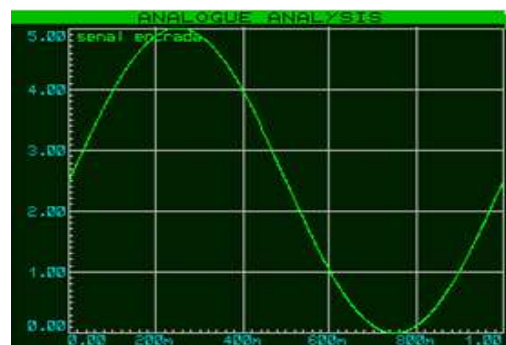


Figura 7. Señal de entrada al convertidor A/D

El convertidor trabaja con señales no mayores a 5 voltios, si ingresamos señales de mayor amplitud el convertidor se satura.

Para un correcto funcionamiento del DAC0808 es necesario conectar a su salida un amplificador operacional el mismo que se encarga de transformar corriente a voltaje

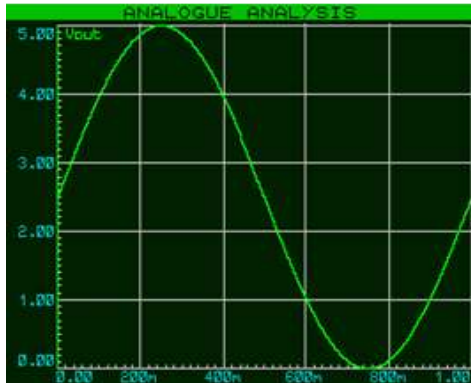


Figura 8. Señal de salida del convertidor D/A

Observamos que la señal de salida tiene las mismas características que la señal de entrada, el DAC0808 es un convertidor que utiliza la técnica de aproximaciones sucesivas, ofrece alta velocidad, precisión, dependencia mínimo a la temperatura.

### 5.2. Amplificador

El amplificador nos brinda una ganancia de veinte, el circuito electrónico esta proporcionado por el fabricante del LM386.

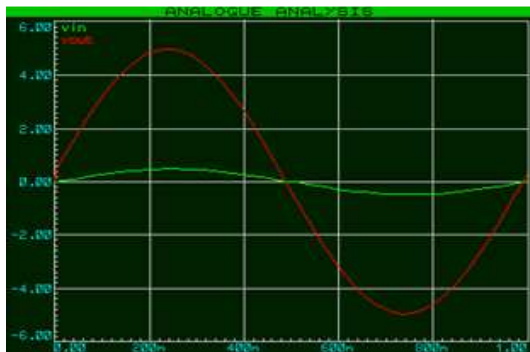


Figura 9. Señal de entrada y salida del amplificador

En la tabla 1 se muestra una lista de valores de voltaje en la entrada del amplificador y sus

respectivos valores de voltaje a la salida, se puede verificar que la ganancia se mantiene.

Voltaje de entrada (V)	Volt. de salida (V)
100 m	2
150 m	3
200 m	4
250 m	5
300 m	6
350 m	7
400 m	8
450 m	9
500 m	10

Tabla 1. Valores de voltaje en entrada y salida del amplificador

### 5.3. Manejador de LED

Aplicamos una señal TTL a la entrada del manejador con la finalidad de verificar el funcionamiento del transistor, es decir, que actúe como interruptor.

Verificamos que el diodo se encuentra en estado intermitente, lo que nos da una idea que el transistor funciona adecuadamente para nuestros propósitos.

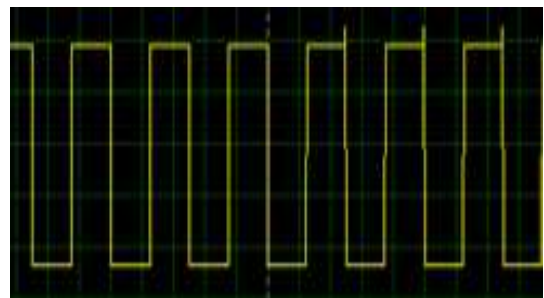


Figura 10. Señal presente en el colector

Fuimos variando la magnitud de la frecuencia y llegamos a establecer que para frecuencias mayores de 2400 Hz (4800 baudios) es circuito no responde satisfactoriamente.

El pin Tx del microcontrolador sirve de entrada para el circuito manejador, el transistor juega un papel crucial en el driver ya que pasa rápidamente de la zona de corte a la zona de saturación, en saturación se comporta como un interruptor cerrado y en corte a un interruptor abierto.

Para mantener al transistor en zona de corte es necesario no suministrar corriente eléctrica en la base, es decir, que la corriente sea nula. Cuando incrementamos la corriente en la base, llegamos a un momento en que la corriente en el colector no

incrementa, en ese momento decimos que el transistor se encuentra en zona de saturación.

Al realizar las mediciones con los instrumentos de prueba, al alimentar el circuito manejador con 5V la corriente en el colector fue de 31 mA, el valor de la corriente en el colector no debe superar a los 35 mA ya que ese valor es el de la corriente directa del IF-E96.

## 6. Conclusiones

El uso de fibra óptica plástica para corta distancia es muy propicio, ya que logramos enviar y recibir la información con pequeñas pérdidas que se podrían considerar despreciables, con este resultado podemos decir sin lugar a dudas que la fibra de plástico es equivalente a la de vidrio y reducir costos de implementación.

El diseño de un sistema de comunicación involucra diferentes variables presentes, tanto en la fibra óptica, la fuente de luz, el detector y otros circuitos electrónicos que se necesitan emplear en dicho sistema, la persona que diseña tiene la responsabilidad de escoger de manera adecuada los elementos electrónicos.

El proyecto en mención sirve de modelo para comprender temas relaciones con la transmisión de las señales, estructura de los enlaces de comunicaciones, de igual manera nos ayuda a responder interrogantes ¿Cómo se puede conducir una señal luminosa?, ¿Cómo se puede transformar energía luminosa en eléctrica y viceversa?

## 7. Agradecimientos

A Dios por haberme dado la Salud, Fuerza, Voluntad y ayuda para seguir adelante haciendo posible alcanzar una de mis metas, la profesional.

**César**

Primero a Dios por haberme dado salud y fortaleza para superar las adversidades que encontré en el camino y a mis padres por su apoyo desinteresado y sus que se ven reflejados con la culminación de mi carrera.

**Felipe**

## 8. Referencias

- [1] Dagan Ibrahim, Advanced Pic Microcontroller Projects, Elsevier, United States of America 2008.
- [2] Senior, John M., Optical Fiber Communications, Prentice Hall International, London 1985.

- [3] Govind P. Agrawal, Fiber-Optic Communications Systems, John Wiley & Sons, New York 2002.
- [4] José E. Briceño Márquez, Principios de las Comunicaciones, Publicaciones de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de los Andes, Mérida 2005.
- [5] Harry J. R. Dutton, Understanding Optical Communications, International Business Machines Corporation 1998.
- [6] Gerd Keiser, Optical Fiber Communications, Mc Graw-Hill, Singapore 1991.
- [7] Antonio Pertence Junior, Amplificadores Operacionales y Filtros Activos, McGraw-Hill, Madrid 1998.
- [8] Peyton Z. Peebles, Jr. PhD, Digital Communication Systems, Prentice-Hall International, United States of America 1987.
- [9] Kenji Kawano and Tsutomu Kitoh, Introduction to Optical Waveguide Analysis, John Wiley & Sons, New York 2001.
- [10] Behrouz A. Forouzan, Transmisión de datos y Redes de comunicaciones, McGraw-Hill, Madrid 2001.
- [11] Leon W. Couch, Digital and Analog Communication Systems, Prentice-Hall, United States of America 1993.
- [12] A. Bruce Carlson, Paul B. Crilly, Janet C. Rutledge, Communication System: An Introduction to Signals and Noise in Electrical Communication, McGraw, New York 2002.
- [13] Microchip, PIC 16F882/883/884/886/887 Datasheet, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/41291f.pdf>, fecha de consulta noviembre 2011.
- [14] Hitachi, Dox Matrix Crystal Display Controller/Driver, HD44780 (LCDII), <http://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf>, fecha de consulta enero 2012.
- [15] Mikroelektronika, MikroC PRO for PIC, [http://www.mikroe.com/pdf/mikroc\\_pic\\_pro/mikroc\\_pic\\_pro\\_manual\\_v100.pdf](http://www.mikroe.com/pdf/mikroc_pic_pro/mikroc_pic_pro_manual_v100.pdf), fecha de consulta octubre 2011.
- [16] National Semiconductor, Low Voltage Audio Power Amplifier, <http://www.nari.ee.ethz.ch/wireless/education/PPS/PPSO2/doc/LM386.pdf>
- [17] Robert L. Boylestad, Louis Nashelsky, Electrónica: Teoría de Circuitos, Prentice Hall, México 1997.
- [18] Arthur B. Williams, Amplificadores Operacionales Teoría y sus aplicaciones 2nd Ed., McGraw Hill, México 1997.
- [19] B.P. Lathi, Introducción a la teoría y sistemas de comunicación, Limusa, México 1974.
- [20] Albert Paul Malvino, Principios de Electrónica, McGraw Hill, España 1999.
- [21] Behzad Razavi, Principles of Data Conversion System Design, IEEE PRESS, New York 1995.

- [22] Larry D. Paarmann, Design and Analysis of Analogic Filters: A Signal Processing Perspective, Kluwer Academic Publishers, New York 2003.
- [23] Eduardo García Breijo, Compilador C CCS y simulador Proteus para microcontroladores PIC, Alfaomega, México 2008.
- [24] Walt Kester, The data conversion handbook, Elsevier, United States of America 2005.
- [25] M.C. Carlos E. Canto Quintal, El Puerto Serie RS232, [http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/microcontroladores/SLIDES\\_8051\\_PDF/EL\\_RS232.PDF](http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/microcontroladores/SLIDES_8051_PDF/EL_RS232.PDF), fecha de consulta noviembre 2011.
- [26] M.C. Carlos E. Canto Quintal, Convertidor Analógico Digital su conexión y aplicaciones, [http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/microprocesadores/EL\\_Z80\\_PDF\\_S/24\\_ADC.PDF](http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/microprocesadores/EL_Z80_PDF_S/24_ADC.PDF), fecha de consulta noviembre 2011.
- [27] Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Desarrollo de procedimientos para prácticas de laboratorio en optoelectrónica utilizando emisores y detectores semiconductores y fibras ópticas, 2008.
- [28] Supervy Sistemas, Instrumentos y Herramientas para Electrónica Modelo SAT-18B Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo, <http://www.supervy.com.mx/producto.aspx?modelo=SAT-18B>, fecha de consulta septiembre 2012.