



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**  
**“IMPLEMENTACIÓN DE ENLACE DE FIBRA ÓPTICA**  
**USANDO MICROCONTROLADOR”**

**TESINA DE SEMINARIO**

Previa a la obtención del título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**Presentado por:**

César Manuel Sánchez González

Luis Felipe Zúñiga Salinas

GUAYAQUIL – ECUADOR

2012

## AGRADECIMIENTO

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

César M Sánchez G.

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 consejos que se ven reflejados con la culminación de mi carrera.

Luis Felipe Zúñiga S.

## DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a Dios por habernos ayudado a salir adelante , a nuestros padres quienes fueron inspiración y motivación de superación , a nuestros hermanos quien nos daban ánimo , amigos y profesores por impartir conocimientos y consejos durante nuestra formación académica, al Ing. Germán Vargas por su incondicional ayuda prestada.

## **TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

Ing. Germán Vargas

PROFESOR DEL SEMINARIO DE GRADUACIÓN

---

Ing. Luis Vásquez

PROFESOR DELEGADO POR LA UNIDAD ACADÉMICA

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido, hechos, ideas expuestas en esta Tesina, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

César Manuel Sánchez González.

---

Luis Felipe Zúñiga Salinas.

## RESUMEN

El proyecto de la tesina consiste en implementar un sistema de comunicación con fibra óptica basado en microcontroladores, la comunicación se la puede realizar de manera serial.

El objetivo de este proyecto es plasmar los conocimientos adquiridos en cursos previos, cursos como: comunicaciones ópticas, microcontroladores, laboratorio de electrónica entre otros.

El desarrollo de este trabajo se basa en programación en Lenguaje C haciendo uso para ello del compilador MikroC Pro el mismo que incluye un considerable número de librerías que nos facilitan la programación del microcontrolador.

De igual forma empleamos una herramienta muy popular entre los estudiantes e ingenieros electrónicos como es Proteus por su versatilidad en el manejo y por contener muchos componentes que se pueden simular y verificar su funcionamiento.

El sistema de comunicación por fibra óptica esta comprendido por tres etapas:

- 1.- En esta etapa creamos la señal óptica por medio de un transmisor.
- 2.- Transmisión a lo largo del canal (fibra óptica)
- 3.- La recepción de la señal óptica y su respectiva conversión a señal eléctrica.

La tesina empieza haciendo un ligero repaso sobre la fibra óptica, seguido de los conceptos referentes a técnicas de modulación, además hacemos una revisión de criterios para el diseño del transmisor y receptor basado en microcontrolador.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ABREVIATURAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	XVII
CAPÍTULO 1	
MARCO TEÓRICO	
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Fibra Óptica y sus características.....	3
1.2.1. Componentes de la fibra óptica.....	3
1.2.2. Clasificación de las fibras ópticas.....	4
1.2.3. Propiedades de la transmisión en la fibra óptica.....	6
1.3. OTDR.....	10
1.4. Factores que contribuyen al ensanchamiento en una F.O.....	11
1.4.1. Dispersión Intermodal.....	11
1.4.2. Dispersión Intramodal.....	12
1.5. Comparación de la Fibra con otros medios de transmisión.....	12

## CAPÍTULO 2

### MODULACIÓN

2.1. Técnicas de Modulación.....	14
2.1.1. Modulación de Señales Continuas.....	15
2.1.2. Modulación analógica de Impulsos.....	17
2.1.3. Modulación por codificación de pulsos.....	18
2.1.3.1. Características de la PCM .....	19

## CAPÍTULO 3

### IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE DE FIBRA ÓPTICA EMPLEANDO MICROCONTROLADORES

3.1. Criterios para diseñar el transmisor óptico.....	21
3.2. Criterios para diseñar el receptor óptico.....	23
3.3. Características del microcontrolador.....	25
3.3.1. Descripción de los Puertos.....	28
3.4. Características del módulo LCD HD44780 de Hitachi.....	31
3.4.1. Asignación de terminales para un módulo LCD 2x16 .....	33
3.5. Programación del PIC y Librerías de MikroC PRO.....	34
3.5.1. ADC Library.....	36
3.5.2. UART Library.....	39

3.5.3. LCD Library.....	39
3.6. Descripción del circuito.....	40
3.6.1. Conversión Analógico-Digital.....	42
3.6.2. Conversión Digital-Analógico.....	44
3.7. Transferencia de datos digitales .....	46

## CAPÍTULO 4

### SIMULACIÓN Y RESULTADOS PRÁCTICOS.

4.1. Breve explicación del software Proteus.....	48
4.1.1. Conversión A/D y Conversión D/A.....	49
4.1.2. Filtro Pasa banda.....	53
4.1.3. Amplificador.....	55
4.1.4. Fuente de Alimentación.....	60
4.1.5. Comunicación Serial.....	62
4.1.6. Convertidor Digital – Analógico.....	64
4.1.7. Driver LED.....	67
4.2. Resultados Prácticos del Sistema de Comunicación.....	70
4.2.1. Resultado Práctico del Convertidor Analógico-Digital.....	70
4.2.2. Resultado Práctico del Amplificador.....	77
4.2.3. Resultado Práctico del Driver de Led.....	80
4.2.4. Resultado Práctico del Receptor.....	85
4.2.5. Resultado Práctico del Convertidor Digital-Analógico.....	89

## ABREVIATURAS

$\theta_c$	Ángulo crítico
$v_g$	Velocidad de Grupo
A	Atenuación
AM	Amplitud modulada
Cu	Cobre
dB	Decibelios
DCE	Data Communications Equipment
DSB/SC	Doble Banda Lateral con o sin Portadora
DTE	Data Terminal Equipment
FM	Frecuencia modulada
FO	Fibra óptica
GHz	Giga Hertz
ILD	Diodo inyección de laser
Km	Kilometro

Led	Light Emitter Diode (Diodo emisor de luz)
m (t)	Mensaje
MHz	Mega Hertz
NA	Apertura numérica
OTDR	Reflectómetro óptico en dominio del tiempo
PAM	Modulación por amplitud de pulsos
PM	Modulación de fase
QAM	Modulación ortogonal o en cuadratura
Si	Silicio
SSB	Banda lateral única
Tad	Tiempo de adquisición de datos
um	Micrómetro
USART	Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter
WB	Ancho de Banda

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Estructura de Fibra Óptica .....	4
Figura 1.2	Propagación de luz en fibra multimodo .....	5
Figura 1.3	Propagación de luz en fibra monomodo.....	5
Figura 1.4	Amplitud numérica en una Fibra óptica .....	7
Figura 1.5	Coeficientes de atenuación en una fibra .....	9
Figura 1.6	OTDR Reflectómetro Óptico .....	11
Figura 1.7	Dispersión Intermodal de fibra óptica .....	12
Figura 2.1	Filtro Pasabanda .....	16
Figura 3.1	Diagrama de Bloque del Transmisor .....	22
Figura 3.2	Diagrama de Bloque del Receptor .....	24
Figura 3.3	Diagrama Físico del Microcontrolador 16F887.....	27
Figura 3.4	Diagrama de Bloque del UART.....	30
Figura 3.5	Módulo LCD HD44780 de HITACHI .....	32
Figura 3.6	Periodo de Muestreo .....	37
Figura 3.7	Conversión ADC.....	38
Figura 3.8	Diagrama de Bloque de un DAC .....	45
Figura 4.1	Diagrama esquemático del A/D y D/A .....	50
Figura 4.2	Señal de entrada A/D .....	51

Figura 4.3	Señal de salida D/A.....	52
Figura 4.4	Diagrama Esquemático del Filtro Pasa-Banda.....	53
Figura 4.5	Señal del Filtro Pasa Bajo .....	54
Figura 4.6	Señal del Filtro Pasa Banda.....	55
Figura 4.7	Diagrama Esquemático del amplificador .....	56
Figura 4.8	Señales de entrada y salida del amplificador .....	58
Figura 4.9	Análisis analógico del amplificador.....	59
Figura 4.10	Respuesta en frecuencia del amplificador.....	59
Figura 4.11	Fuente de alimentación.....	61
Figura 4.12	Voltaje de salida de la fuente de alimentación.....	62
Figura 4.13	Tren de pulsos en la comunicación serial .....	63
Figura 4.14	Señal de salida del Convertidor Digital-Analógico .....	63
Figura 4.15	Convertidor Digital-Analógico de 8 bits .....	65
Figura 4.16	Circuito manejador de Led.....	68
Figura 4.17	Salida de la señal en el colector .....	69
Figura 4.18	Diagrama de Flujo del Convertidor Analógico-Digital.....	71
Figura 4.19	Señal de entrada del CAD.....	73
Figura 4.20	Señal de salida en RB0.....	74
Figura 4.21	Señal de salida en RB1.....	74

Figura 4.22 Señal de salida en RB2.....	74
Figura 4.23 Señal de salida en RB3.....	75
Figura 4.24 Señal de salida en RB4.....	75
Figura 4.25 Señal de salida en RB5.....	75
Figura 4.26 Señal de salida en RB6.....	76
Figura 4.27 Señal de salida en RB7.....	76
Figura 4.28 Señal de salida en el pin Tx del PIC.....	77
Figura 4.29 Señal de entrada del amplificador.....	78
Figura 4.30 Señal de Salida del amplificador.....	79
Figura 4.31 Diagrama de Flujo para el Transmisor.....	81
Figura 4.32 Señal aplicada a la entrada del Driver .....	83
Figura 4.33 Señal en el colector del transistor 2N3904 .....	84
Figura 4.34 Señal en la base del transistor 2N3904 .....	84
Figura 4.35 Diagrama de Flujo del Receptor .....	87
Figura 4.36 Señal a la Salida del Detector.....	89
Figura 4.37 Señal de entrada CAD y de salida DAC .....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Comparación de fibra óptica vs Cable Coaxial .....	13
Tabla 3.1	Descripción de los Pines del LCD 2x16 .....	33
Tabla 4.1	Valores de voltaje de entrada y su salida.....	57
Tabla 4.2	Valores binarios de entrada al DAC .....	66

## INTRODUCCIÓN

Actualmente en el Ecuador, las Telecomunicaciones se ha extendido, motivo la cual hay muchas empresas Públicas y Privadas que están incursionando para tener una eficiencia que puedan brindar al público en general.

Se ha implementado nuevas formas de comunicación, basadas en circuitos electrónicos con fibra óptica como el medio de transmisión de datos, motivo la cual este trabajo estará basado en la aplicación e implementación.

Debería tenerse en cuenta el tipo de comunicación entre ellos, la modulación, parámetros que pudieran afectar su funcionamiento, así como el sistema de transmitir y recibir los datos, recordando que el circuito eléctrico envía datos en forma de corriente y la fibra envía datos en forma de luz.

En cuanto al valor económico tratamos de reducirlo empleando nuevas tecnologías en lo que corresponde a transmisiones ópticas. Para ello hacemos uso de Fibra óptica de plástico en la que podemos verificar que sus características se asemejan de muy buena manera a las características que podemos encontrar en las fibras que son hechas de vidrio.

Como cualquier tipo de transmisión, aquella que basa su funcionamiento en fibra óptica resulta ser una forma de transmitir información desde un lugar a otro enviando para ello señales de luz.

# **CAPÍTULO 1**

## **MARCO TEÓRICO**

### **1.1. Antecedentes**

La tecnología va cambiando a un ritmo acelerado, el tema de fibra óptica es nuevo en nuestra sociedad, no obstante en otros lugares existe mucho estudio sobre este medio de comunicación.

Años anteriores se consideraba la utilización del láser de forma limitada ya que no se conocía sistemas y canales adecuados para hacer viajar las ondas electromagnéticas emitidas en forma de fotones originadas por la fuente denominada láser.

En los años 1966 se empezó a utilizar una guía óptica de comunicación, debido a que años anteriores tanto científicos como

técnicos especializados en óptica diseñaron un canal por el cual podían enviar datos en forma de luz, a este medio se lo llamó fibra óptica, de ahí en adelante ha sido un sistema de tecnología más avanzada y confiable para transmitir información.

Esto ha revolucionado en las Telecomunicaciones, debido a que con el uso de la fibra óptica se logra una mayor velocidad de transmisión y una reducción considerable en lo que respecta a ruido e interferencia que usualmente están presentes en los sistemas de comunicaciones.

Para la elaboración de nuestro proyecto se ha tomado como referencia principal una tesina relatada por estudiantes de ESPOL en años anteriores, la misma que nos brinda un conocimiento mayor sobre la utilización y aplicación de la fibra óptica en el área específicamente de las Telecomunicaciones, dando énfasis a los sistemas de transmisión y recepción de señales analógicos y digitales, en si es una propuesta para ser utilizado por estudiantes en Laboratorios de Telecomunicaciones en ESPOL.

## **1.2. Fibra óptica y sus características**

La Fibra óptica es considerada un medio de transmisión utilizado en gran parte en el campo de las Telecomunicaciones, se presenta como un hilo muy fino usualmente de un material transparente de plástico o vidrio, a diferencia de los cables de cobre, la fibra recibe y envía los datos en forma de haz de luz, dicha luz queda confinada y se propaga en su interior formando un ángulo conocido como ángulo de reflexión. Cabe mencionar que la fuente de luz puede ser láser o un diodo emisor de luz.

Debido a que la información es en forma de luz, hace posible enviar una gran cantidad de datos a velocidades similares a las de radio o cable, con la particularidad de ser inmunes a las interferencias electromagnéticas.

### **1.2.1. Componentes de la fibra Óptica**

- Núcleo.-Constituido de silicio, cuarzo fundido y usualmente diseñado por plástico, en ella se propagan las ondas ópticas, teniendo un diámetro de 50-62.5  $\mu\text{m}$ , en fibras tipo multimodo y 9  $\mu\text{m}$  en la fibra monomodo.

- Cubrimiento o Funda Óptica.-Usualmente de los mismos materiales que el núcleo, a diferencia de aditivos que hacen que tenga un mayor índice de reflexión.
- Revestimiento de Protección.-Es diseñado de plástico asegurando su protección al momento de manipular la fibra.

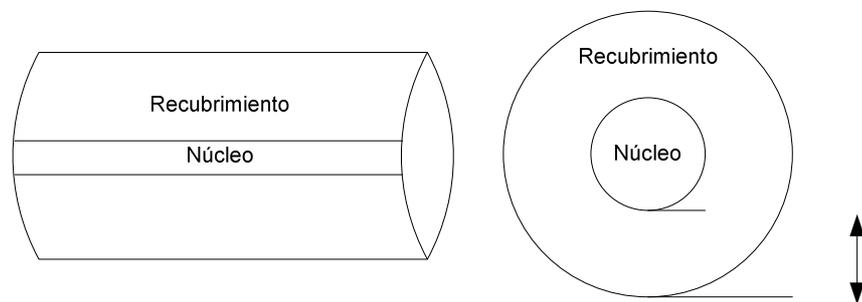


Figura 1.1 Estructura de Fibra Óptica [2]

En la figura 1.1 podemos apreciar que la parte central de la fibra óptica es la que se conoce como núcleo y es por ella que se transmiten los datos, su índice de refracción es mayor al del recubrimiento.

### 1.2.2. Clasificación de las fibras ópticas

Las fibras ópticas son muy utilizadas en el área de las telecomunicaciones y se clasifican en dos grupos:

- Fibras ópticas Multimodo.-Este tipo de fibra tiene la propiedad de guiar y transmitir varios haces de luz por sucesiones, tiene una banda de 100 GHz/Km.[3]

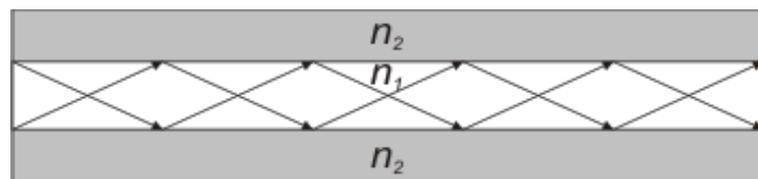


Figura 1. 2 Propagación de luz en fibra multimodo [3]

Como se puede ver en la figura 1.2 en este tipo de fibra los haces pueden circular por varios caminos y es por esa razón que no llegan todos a la vez.

- Fibras ópticas Monomodo.-Están diseñadas para que puedan transmitir un solo rayo de luz, poseen un WB elevado, tiene una banda de paso de 500 MHz/Km.[3]

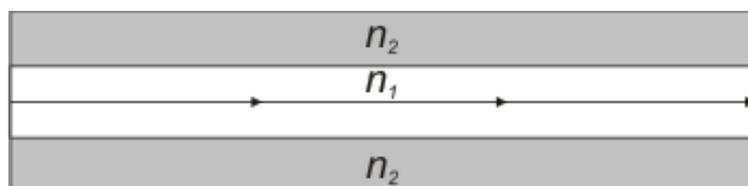


Figura 1.3 Propagación de luz en fibra monomodo [3]

### 1.2.3. Propiedades de transmisión en la fibra óptica

En una fibra óptica sus principales características en la transmisión son el ancho de banda, diámetro de su campo nodal, longitud de onda de corte, apertura numérica, atenuación entre otras.

- Ancho de Banda.- Determina la capacidad para transmitir información, considerando los pulsos luminosos muy estrechos y separados en el tiempo, su capacidad está limitada por una distorsión de su señal por ensanchamiento de pulsos.[2]
  
- Apertura Numérica.- Se define como un factor que permite analizar la cantidad de luz que puede ser enviada a través de la fibra, si mayor es la magnitud de la apertura numérica decimos que mayor es la cantidad de luz que puede transmitirse.

De igual manera podemos decir que la apertura numérica es una medida de la capacidad que tiene la fibra para capturar la luz, para lo cual hacemos uso de la reflexión total interna, cuyo efecto logramos cuando el índice de refracción del núcleo  $n_1$  es ligeramente mayor al índice de refracción del recubrimiento  $n_2$ . [2]

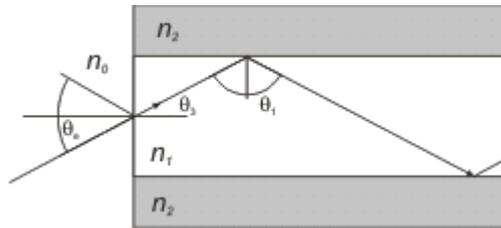


Figura 1.4 Amplitud Numérica en una fibra óptica [6]

Considerando que:

$n_2$ : Índice de refracción de recubrimiento

$n_1$ : Índice de refracción del material

$n_0$ : Índice de refracción del medio

Recordando que la ley de refracción esta dado por:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (1.1) \quad [2]$$

Donde  $\theta_1$  y  $\theta_2$  son los ángulos medidos respecto a la normal y corresponden a los ángulos de incidencia y refracción respectivamente.

Entonces:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\theta_3 \text{ Complementario de } \theta_1 \rightarrow (\sin\theta_3)^2 + (\sin\theta_1)^2 = 1$$

Se puede aproximar:  $\sin\theta_1 = \frac{n_2}{n_1}$

$$\sin^2\theta_3 + \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 = 1$$

$$\sin^2\theta_3 = 1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 = \frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2}$$

$$\sin\theta_3 = \sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2}} = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_1} \quad (1.2)$$

Si aplicamos Snell en la entrada

$$n_0 \sin\theta_{emax} = n_1 \sin\theta_2$$

Si a su vez  $n_0 = 1$ , con un ángulo máximo, tenemos:

$$\sin\theta_{emax} = n_1 \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_1} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Siendo  $\theta_e$  Ángulo de aceptación, entonces  $NA = \sin\theta_e$

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1.3) \quad [2]$$

- Atenuación.- Se define como atenuación a la disminución de energía o relación de potencia de la señal óptica, sus

valores de pérdida se expresan en dB/Km, su unidad es decibel (dB). [6]

$$A = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad (1.4) \quad [2]$$

Se detalla que:

$P_1$ : Potencia de entrada de la fibra óptica

$P_2$ : Potencia de salida de la fibra óptica

Se han fabricado fibras para que tengan los menores coeficientes de atenuación.

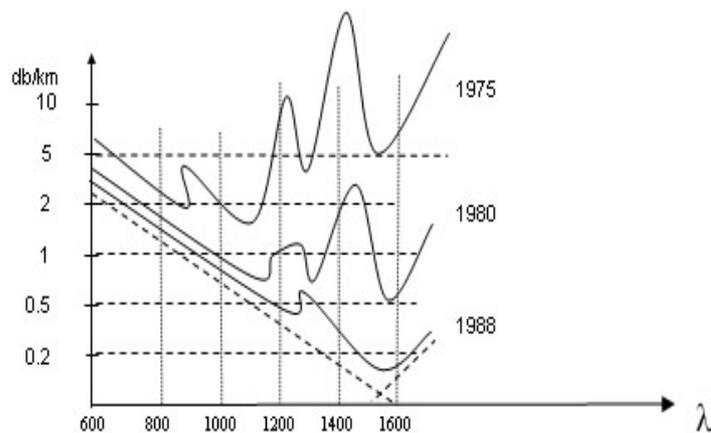


Figura 1.5 Coeficientes de atenuación de fibra a través de los años [27]

En la figura 1.5 se puede notar como se han obtenido grandes avances en el transcurso del tiempo, reduciendo la atenuación de la fibra óptica y con ello mejorando la potencia en su salida.

### 1.3. OTDR

Es considerado como un reflectómetro óptico en el dominio del tiempo, cuyas siglas se abrevian (OTDR), se lo utiliza para obtener una representación visual de atenuación de la fibra óptica a lo largo de su longitud, se puede observar en pantalla la gráfica, sobre el eje X la distancia y la atenuación sobre el eje Y.

En la gráfica podemos obtener información de la atenuación que presenta la fibra óptica, así como las pérdidas producidas en los empalmes, conectores e incluso la localización de anomalías. Es el mejor método para determinar irregularidades o rupturas en la fibra óptica ya que a simple vista sería difícil saber el lugar del inconveniente.

Su funcionamiento se basa en el envío de un pequeño impulso de luz a través del medio y se mide el tiempo en que el impulso enviado se refleja o retorna a este equipo, conociendo el índice de refracción y el tiempo en que retorna el impulso de luz, se determinaría la distancia que esta recorrió.

—

(1.5)



Figura 1.6 OTDR Reflectómetro óptico [28]

#### **1.4. Factores que contribuyen al ensanchamiento en una fibra óptica**

Al transmitir datos a través de la fibra, ocurre una distorsión de su señal provocando un ensanchamiento y esto provoca una dispersión intermodal e intramodal.

##### **1.4.1. Dispersión Intermodal**

Es provocada por la diferencia de los tiempos de propagación de los rayos de luz por sus diferentes trayectorias al momento de transmitirse, sucede solo en fibras tipo multimodo. [3]

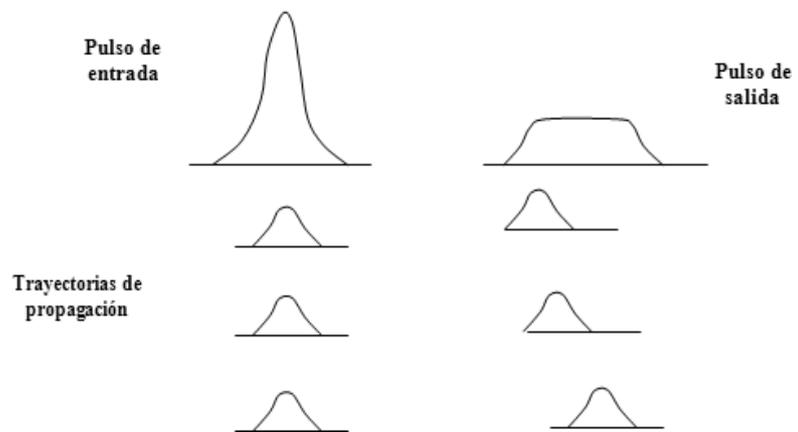


Figura 1.7 Dispersión Intermodal de fibra óptica [2]

#### 1.4.2. Dispersión Intramodal

Es el resultado de las diferentes longitudes de onda y velocidades de grupo a través del medio (fibra) llamándose también dispersión monocromática, esta se puede eliminar usando una fuente monocromática de forma similar como un diodo de inyección laser. [3]

#### 1.5. Comparación de la fibra con otros medios de transmisión

La fibra óptica difiere mucho a uno de los medios comunes en transmisión de datos, en varios aspectos, la cual será detallado en la siguiente tabla.

	<b>Fibra Óptica</b>	<b>Coaxial</b>
Peso (Kg/Km)	190	230
Diámetro (mm)	14	58
Radio de Curvatura (cm)	14	55
Dist. entre repetidoras (Km)	40	1.5
Atenuación (dB/Km)	0.4	40

Tabla 1.1 Comparación de fibra óptica vs Cable Coaxial

## **CAPÍTULO 2**

### **MODULACIÓN**

#### **2.1. Técnicas de Modulación**

Para transmitir señales portadoras con información se utilizan algunos sistemas de modulación, es necesario identificar qué tipo de modulación efectuamos y esto dependerá de su portadora. Los dos tipos de modulación básicos son:

- Modulación de Señales Continuas.- En este tipo de modulación su portadora es de tipo sinusoidal.[21]
- Modulación de Impulsos.- Se caracteriza debido a que su portadora se manifiesta por un tren de impulsos.[21]

### 2.1.1 Modulación de señales continuas

Una modulación continua con portadora de alta frecuencia es el proceso en que un parámetro (amplitud o ángulo) de la portadora cambia proporcionalmente en forma instantánea a una señal mensaje de baja frecuencia.

Hay dos tipos de modulación de señales continuas, conocidas como modulación lineal y modulación angular. A continuación describimos brevemente cada una de las modulaciones mencionadas.

- Modulación Lineal.- La amplitud instantánea de la portadora varia linealmente a la señal  $m(t)$ . Se generan mediante multiplicación de  $m(t)$  con la portadora sinusoidal, para esto se utiliza filtros pasabanda lineales y configura los moduladores de amplitud. [4]

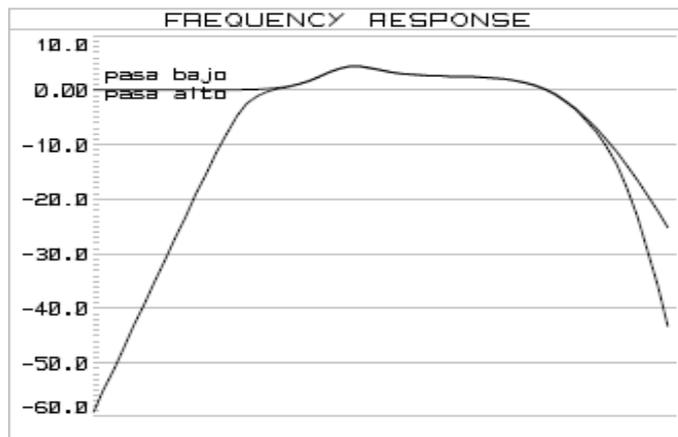


Figura 2.1 Filtro Pasabanda 300 Hz- 3KHz

Las características del filtro pasabanda determinan el tipo de modulación de amplitud que requiere, tales como DSB/SC y AM, así como SSB y VSB.

- Modulación Angular o Exponencial.- Esta modulación ocurre cuando el ángulo de la portadora cambia linealmente respecto a la señal mensaje. [12]

Dentro de este tipo podemos citar dos modulaciones importantes, Modulación de Fase y Modulación de Frecuencia. [12]

En una señal modulante  $m(t)$  el ancho de Banda en FM es mayor que PM, por lo que se puede enviar más información en PM que en una FM.

### 2.1.2. Modulación Analógica de Impulsos

Conocida también como *PAM*, es una forma de modulación digital de las más sencillas, se caracteriza en el cambio de la amplitud, período y la duración de cada impulso en función del símbolo a transmitir.

En la modulación analógica cada valor de muestra de  $m(t)$  hace cambiar los parámetros de cada impulso, una vez modulado se puede transmitir y llegando al destino se puede extraer el  $m(t)$ . Para cada impulso que transmite dispone de todo el ancho de banda del canal pero ocupa una sección de intervalo  $\tau < T_b$ , donde  $\tau$  es la duración del impulso y  $T_b$  es el período de los impulsos sin modular.

PAM resulta ser el primer paso utilizado para la conversión de analógico a digital, esta técnica toma la señal analógica, la muestrea y obtiene una serie de

pulsos. Recordando que muestreo resulta ser la medición de la amplitud en intervalos iguales.[4]

### **2.1.3. Modulación por Codificación de Pulsos**

Si aplicamos el teorema de muestreo a la PAM, obtenemos PCM, la misma que se encarga de modificar los pulsos creados por PAM y así obtenemos una señal netamente digital, sin lugar a dudas PCM es la mas utilizada para transmitir palabras códigos (1 y 0).

PCM resulta ser la transmisión de una señal analógica en forma de señal digital, se encuentra conformada de tres procesos distintos: muestreo, cuantización binaria y codificación. [11]

Respecto al muestreo podemos citar que es la obtención de muestras de la señal analógica a cierto valor establecido de periodo, para ello nos respaldamos en el Teorema de Nyquist que mas adelante haremos mención.

La cuantización no es más que un proceso mediante el cual los niveles de amplitud muestreados a la señal entrante son transformados en un conjunto de niveles

discretos previamente determinados. A dichos niveles discretos también se los denominada niveles, aquí se origina un nuevo concepto conocido como error de cuantización, que es la diferencia entre la señal de entrada continua y su versión en forma cuantificada.

Por último tenemos el proceso de codificación, el mismo que se encarga de la conversión de los pulsos cuantificados en un grupo de pulsos de forma binaria que tienen amplitud constante.

#### **2.1.3.1. Características de la PCM**

En lo que respecta a esta modulación podemos citar las siguientes características:

- Admite una operación flexible
- Permite una transmisión segura
- No es tan sensible al ruido
- Se puede integrar varias fuentes en un solo formato.
- Circuitos digitales sometidos a menores interferencias.
- Tasas de error muy bajas.
- Facilidad de regeneración de las señales digitales.

## **CAPÍTULO 3**

# **IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE DE FIBRA ÓPTICA EMPLEANDO MICROCONTROLADORES**

Como todo sistema de comunicación, esta conformado de tres elementos básicos: una fuente de luz (emisor), fibra óptica (medio) y un fotodetector (receptor).

Debemos tomar en consideración las características de cada uno de los componentes con la finalidad de cumplir con los requerimientos solicitados para el proyecto. Antes de todo se debe hacer un cálculo para obtener el presupuesto de potencia del enlace y tiempos de respuesta.

Una manera práctica de verificar si cumplimos con los requisitos es a través de la simulación de cada uno de los circuitos empleados. Para

garantizar el enlace se debe tomar en cuenta el ancho de banda del canal y la distancia a la que deseamos transmitir.

Para la implementación de este proyecto empleamos Fibra óptica de plástico fabricado de PMMA (Polimetil Metacrilato), de igual manera empleamos acoples optoelectrónicos de plástico por la sencillez en su manipulación.

### **3.1. Criterios para diseñar el transmisor óptico**

El diseño puede variar desde un simple circuito hasta un circuito de gran complejidad, una parte significativa del transmisor es la fuente de luz, la cual debe ser protegida de manera adecuada.

Entre los componentes que encontramos básicamente en el transmisor tenemos:

- Cubierta
- Fuente de luz
- Interfaz electrónica
- Interfaz óptica
- Circuito manejador

En lo que respecta a la fuente de luz esta puede estar conformada por Led o Láser, cabe mencionar que los diodos emisores de luz son componentes electrónicos que se manejan por medio de fuentes de corriente, es por esta razón que muchas de las señales electrónicas se las lleva a parámetros de corriente.[3]

Lo contrario ocurre con los Láser ya que estos componentes electrónicos son manipulados por medio de voltaje.

Dos aspectos importantes que se debe tomar en cuenta son:

- La distancia a la que se desea transmitir.
- El ancho de banda del canal.

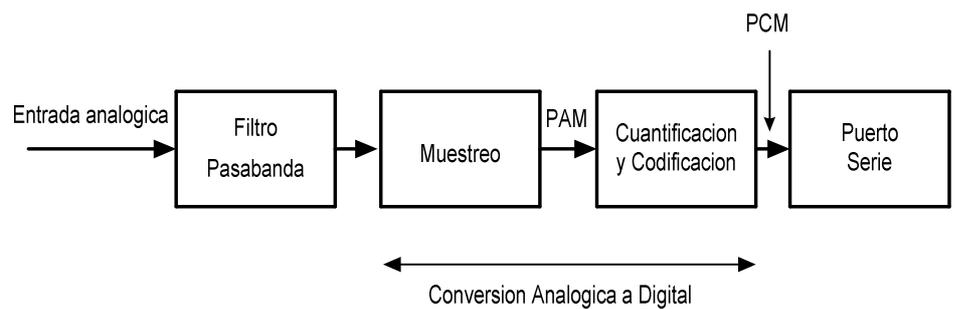


Figura 3.1 Diagrama de Bloque del Tx

### **3.2. Criterios para diseñar el receptor óptico**

Al igual que el transmisor, el receptor juega un papel esencial en cualquier sistema de comunicación ya que es la parte que se encarga de convertir las señales ópticas a impulsos eléctricos. El receptor puede ser tan sencillo como un fotodetector hasta un circuito de alta complejidad que funcione a grandes velocidades de transmisión.

En el receptor podemos encontrar los siguientes elementos:

- Cubierta
- Interface electrónica
- Detector
- Amplificador
- Procesador de la señal
- Interface óptica

Refiriéndonos a los interfaces electrónicos estos pueden ser pines o cables, es aquel que se encarga de enviar y recibir señales desde un sistema a otro.

Hay diferentes modelos de interfaces ópticos, los mismos que se encuentran conformados por montajes mecánicos cuya misión es acoplar la luz a la fibra óptica.

- Tipo de material utilizado en la fibra
- Tipo de fibra óptica
- Apertura numérica
- Diámetro de la fibra óptica
- Relación señal a ruido
- Ancho de banda tanto del receptor como del transmisor
- Sensibilidad del receptor
- Tipo de detector
- Conectores y sus respectivas pérdidas
- Empalmes y sus pérdidas de atenuación
- Potencia de transmisión
- Longitud de onda de operación



Figura 3.2 Diagrama de Bloques Rx

Debido a la utilización de un fotodiodo como detector en un sistema de comunicación nos encontramos con el inconveniente de que este dispositivo nos suministra una corriente muy baja por tal motivo se hace útil el empleo de amplificador(es) operacional(es) a su salida con la finalidad de amplificar y además la convierta a tensión. [3]

### **3.3. Características del microcontrolador**

Los microcontroladores resulta ser uno de los segmentos de la electrónica que ha tenido un amplio crecimiento, podemos decir que un microcontrolador es un circuito integrado que puede ser personalizado, es decir, que puede cumplir la función o funciones que el programador desee.

En el mercado existe una gran variedad de microcontroladores los mismos que tienen diferentes arquitecturas. Se pueden catalogar dependiendo del número de bits destinado para el direccionamiento de la memoria ya sean estas de 8, 16, 32 bits.

En el caso de los microcontroladores de 16 y 32 bits son brindan un mejor rendimiento pero a su vez son de mayor valor económico. Se decidió emplear el microcontrolador 16F887

debido a que dispone de todos los componentes que encontramos en todos los microcontroladores modernos.

El PIC 16F887 de 40 pines que empleamos en el proyecto utiliza tecnología EEPROM que facilita el borrado y la reprogramación con la finalidad de depurar los programas.

Entre las características que podemos citar tenemos:

- Cuenta con 35 instrucciones para su programación
- Frecuencia de operación de 0-20 MHz
- Oscilador interno de gran precisión
- Voltaje de alimentación de 2.0V a 5.5V
- 35 pines de entrada/salida
- Convertidor A/D (resolución de 10 bits)
- Dispone de 256 bytes de memoria EEPROM
- Dispone de 368 bytes de memoria RAM
- Consta de un modulo USART renovado

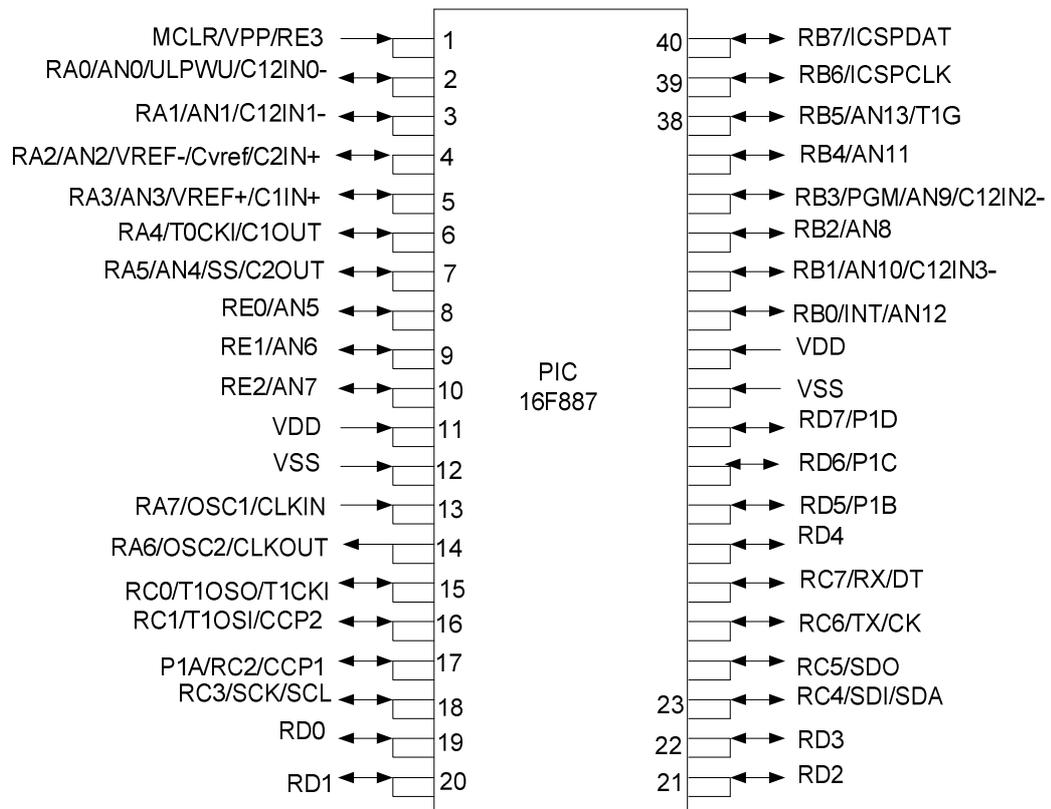


Figura 3.3 Diagrama Físico del Microcontrolador 16F887[13]

En la figura 3.3 podemos encontrar como se encuentra distribuido el microcontrolador y la respectiva función de cada uno de los pines. En lo que respecta a la memoria RAM se encuentra dividida en cuatro bancos, antes de acceder a un registro al escribir un determinado programa, es prioritario seleccionar el banco que contiene dicho registro.

El microcontrolador permite capturar señales externas las mismas que son procesadas y pueden cumplir la tarea a la que fueron programados.

Con relación al juego de instrucciones, estas varían ya que existen aquellas que realizan operaciones entre el acumulador y una constante, entre el acumulador y una posición de memoria, también hay instrucciones que realizan saltos y retorno, por último aquellas que sirven de condicionamiento. [13]

### **3.3.1. Descripción de los Puertos**

El microcontrolador 16F887 consta de varios puertos los mismos que pueden ser configurados como entradas o salidas. A continuación describimos brevemente cada uno de ellos.

- Puerto A (PA7...PA0).- Este puerto sirve como entradas analógicas para el convertidor A/D. Es un puerto bidireccional, es decir, de entrada y salida de 8 bits los cuales disponen de resistores pull-up internos en caso de no ser utilizado el conversor.
- Puerto B (PB7...PB0).-Este puerto es bidireccional de 8 bits con respectivos resistores pull-up internos correspondientes para cada uno de los bits.

- Puerto C (PC7...PC0).-Es un puerto I/O de 8 pines, tiene T1OSO (Timer1oscilador de salida) y T1CKI (Entrada de reloj del timer1).
- Puerto D (PD7...PD0).- Dispone de 8 pines, al igual que los anteriores puede ser empleado como entradas o salidas.
- Puerto E (PE2...PE0).-Es bidireccional solo que en este caso es de 3 pines.
- Puerto Serie Usart.- Es uno de los dos periféricos que encontrados en el PIC para lograr la comunicación serial, el otro periférico es el MSSP.

El puerto serie USART puede ser configurado para permitir una comunicación asíncrona bidireccional simultanea (full dúplex) o controlada por señal de reloj (síncrona) y bidireccional no simultanea (half dúplex). Dicho puerto transmite y recibe datos empleando codificación de no retorno a cero-NRZ (non-return-to-zero).

La misión del USART es transformar los bytes del bus paralelo del PC a un flujo de bits en serie. El terminal USART constituye un reemplazo para el estándar Hyper Terminal de Windows.

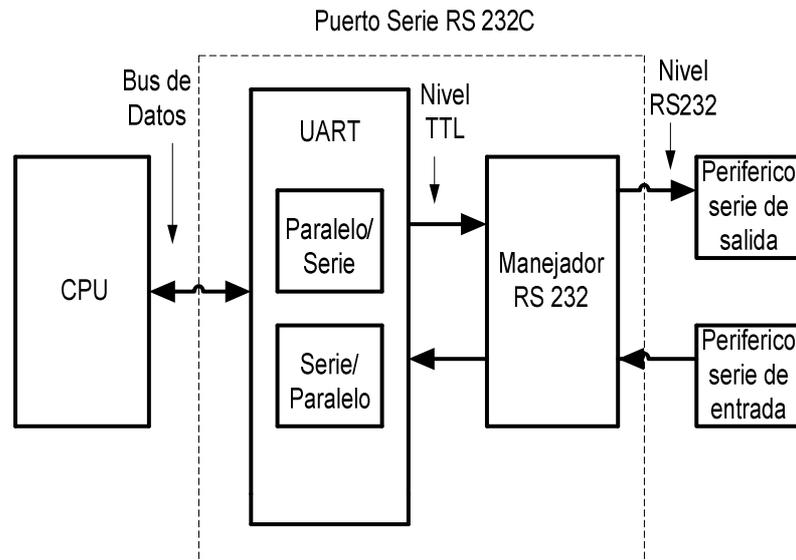


Figura 3.4 Diagrama de Bloques del UART[25]

El módulo USART también se lo conoce con el nombre de Interfaz de Comunicación Serie SCI, dicho modulo opera con el protocolo RS232 el mismo que es muy empleado en las computadoras personales.

En lo que respecta a la norma RS232, el conector más empleado es el DB9, este conector consta de 9 pines los mismos que tienen una función específica, unos

terminales transmiten, reciben datos y otros tienen la función de controlar la comunicación. [13]

### **3.4. Características del Módulo LCD HD44780 de Hitachi**

Este módulo puede operar de dos maneras, una de ellas es transferir en dos operaciones 4 bits y la otra es una operación de 8 bits, cualidad que le permite conectarse con microcontroladores de 4 u 8 bits.

Una vez alimentado el LCD, dicho módulo requiere de al menos 10 ms para auto inicializarse, es decir, que el microcontrolador necesita de esos milisegundos para realizar ya sea lectura o escritura al LCD.

Las pantallas de Cristal Líquido tienen la habilidad de mostrar cualquier carácter alfanumérico, es decir, permite representar la información de una manera muy fácil.

Independiente de la forma o marca del LCD todos traen en su interior un microprocesador HITACHI 44780.

Cabe mencionar que se necesita dos tipos básicos de tareas:

- Escritura de comandos
- Escritura de datos

## Líneas de Control

- EN: Cuando esta línea pasa de 1 a 0, el controlador del LCD lee las líneas restantes, sean éstas de comando o datos.
- R/W: Cuando se encuentra en 1 se lee el LCD con esto podemos saber si ha finalizado la última instrucción.

Cuando esta en 0 se escribe sobre el LCD.

- RS: Conocido como selección de registro, cuando se encuentra el alto el dato es presentado en el display pero cuando esta en cero, el dato es considerado como una orden puede ser esta para limpiar el LCD, posicionar el cursor, apagar LCD, etc. [14]

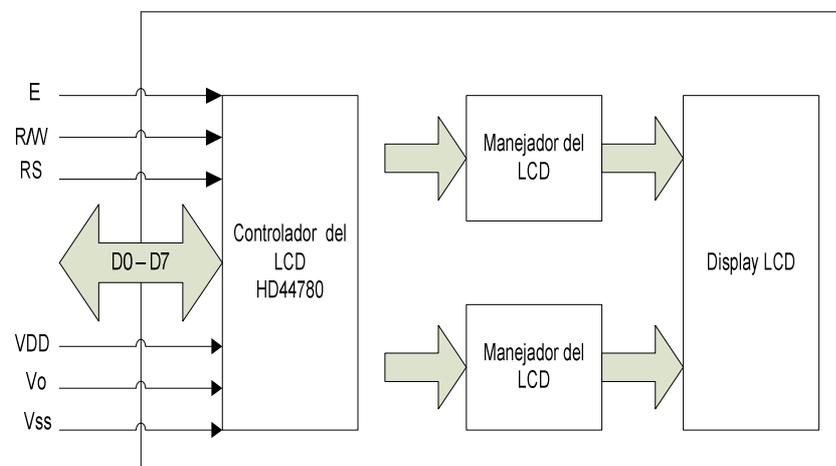


Figura 3.5 Módulo LCD HD44780 de HITACHI [14]

### 3.4.1. Asignación de Terminales para un Módulo LCD de 2x16

#### Caracteres.

Cada de los pines cumplen una determinada función, por tal razón es importante conectar correctamente sus pines.

PIN No	Nombre	I/O	Descripción
1	Vss	Alimentación	GND
2	Vdd	Alimentación	+5V
3	Vo	Analogico	Crtl Contraste
4	RS	Entrada	Selec.de Reg.
5	R/W	Entrada	Leer/Escritura
6	E	Entrada	Habilitador
7	D0	Entrada/salida	Data LSB
8	D1	Entrada/salida	Data
9	D2	Entrada/salida	Data
9	D2	Entrada/salida	Data
10	D3	Entrada/salida	Data
11	D4	Entrada/salida	Data
12	D5	Entrada/salida	Data
13	D6	Entrada/salida	Data
14	D7	Entrada/salida	Data
15	D8	Entrada/salida	Data MSB

Tabla 3.1 Descripción de los Pines del LCD 2x16 [14]

### 3.5. Programación del PIC y Librerías de MikroC PRO

Programar en Lenguaje C es muy práctico y resulta ser una posible solución para aquellas personas que no están muy familiarizados con el Lenguaje Ensamblador.

Hoy en día es muy fácil construir circuitos electrónicos a bajo costo que cumplan varias funciones y ocupan un espacio muy reducido, gracias a que disponemos de una gran cantidad de microcontroladores.

Antes de elaborar circuitos electrónicos con microcontroladores, es muy importante considerar las herramientas a utilizar, a continuación vamos a detallar cada una de ellas. MikroC Pro es un compilador no tolerante a fallas, permite realizar programas de manera rápida, admite programar una gran variedad de microcontroladores de diferente cantidad de pines.

Existen ciertas restricciones tales como:

- Las variables se escriben por lo general con letras minúsculas y las constantes se los escriben con mayúsculas, cabe mencionar que el compilador es sensible a diferenciar minúsculas de las mayúsculas.

- Los identificadores no pueden empezar por ningún motivo con un dígito.

No se puede utilizar como identificadores aquellas palabras que son reservadas del compilador. El compilador mikroC Pro cuenta con 33 palabras reservadas, las variables deben ser declaradas antes de ser utilizadas en el programa debido a que ellas se almacenan en memoria RAM y se debe reservar espacio, lo mismo ocurre con las constantes.

Este compilador como muchos de los que existen en el mercado se encarga de traducir un lenguaje de alto nivel a código de máquina. Todos los programas deben tener una estructura ordenada para facilitar la interpretación de los mismos y permitir que otros programadores realicen mejoras.

En todo programa se debe colocar una cabecera, la misma que se ubica al inicio y se encarga de proporcionar información básica en manera de comentarios. Para programar el microcontrolador, es apropiado acceder a los registros de funciones especiales (SFR), por medio de mikroC Pro se puede llamar a cualquier SFR desde cualquier parte del código. [15]

Entre los SFR tenemos:

- **TRISX**: Si tenemos un cero lógico, todos los pines del PORTX se configuran como salidas, lo contrario ocurre cuando tenemos un uno lógico.
- **PORTX**: Si asignamos un cero lógico, todos los pines se ponen a cero.
- **ANSEL**: Si colocamos un uno lógico configuramos las entradas como analógicas. Los registros TRISA y ANSEL controlan los pines del PORTA.

Las librerías que empleamos para la programación de este proyecto son las siguientes:

### **3.5.1. ADC Library**

- **Adc\_Read**: Retorna un valor sin signo de 10 bits desde el canal especificado en el programa.

Inicializa el PIC para trabajar con clock RC y establece que el tiempo mínimo para la conversión es de 12 TAD.

[15]

El periodo de adquisición es el tiempo que le toma al capacitor de retención y muestreo se encuentra conectado al nivel externo de la señal analógica.

Para utilizar esta librería debemos estar seguros de configuración adecuadamente el registro TRISA para designar los pines como entrada.

El tiempo de adquisición con clock RC es de 4 us cuando el voltaje de alimentación es superior a 3V.

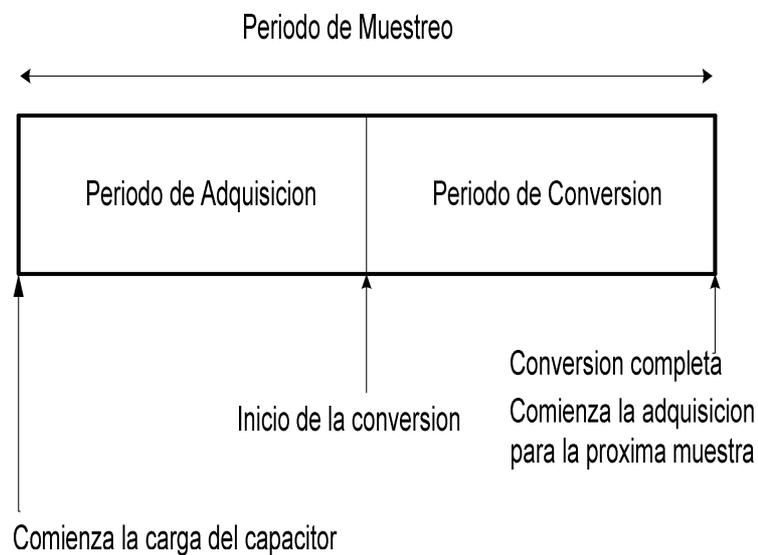


Figura 3.6 Periodo de Muestreo [15]

Como podemos apreciar en la figura 3.6, el periodo de muestreo resulta ser la sumatoria comprendida entre el periodo de adquisición que no es más que el tiempo

empleado para cargar el condensador de mantenimiento.

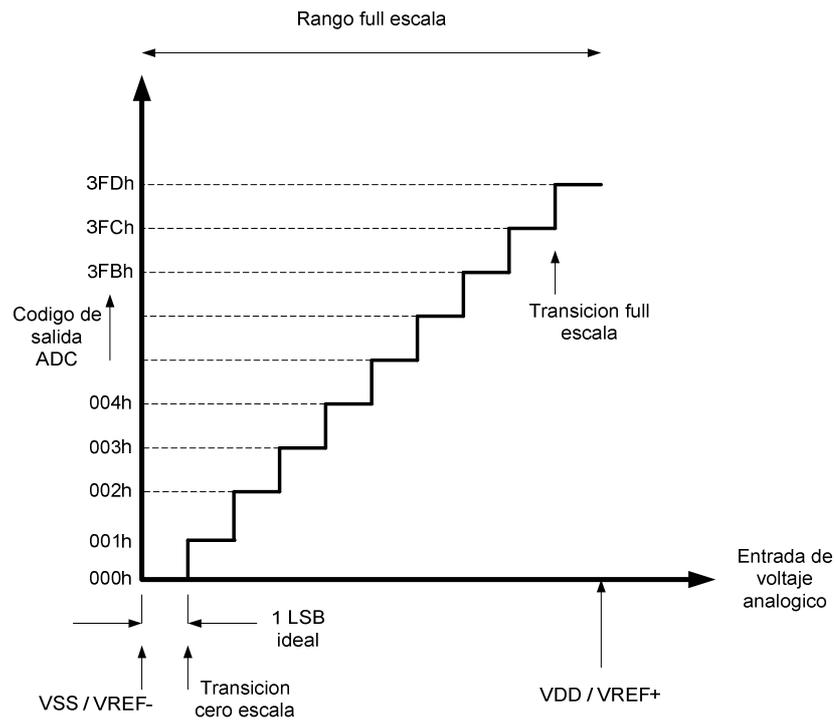


Figura 3.7 Conversión ADC [21]

En la figura 3.7 podemos notar la desviación en los códigos de salida, la mejor desviación que se puede obtener es  $\pm 1/2$  del bit menos significativo.

### 3.5.2. UART Library

- `UART1_Init`: Inicializa el modulo UART con una velocidad en baudios y no retorna ningún valor.

Prototipo: `UARTx_Init (unsigned long baud_rate)`

- `UART1_Data_Ready`: Retorna 1 si el dato es leído y 0 si no hay dato.

Prototipo: `char UARTx_Data_Ready ()`

- `UART1_Write`: Recibe un dato que va a ser enviado y no retorna ningún valor, dicha función transmite un byte mediante el modulo UART.

Prototipo: `void UARTx_Write (char data_) [15]`

### 3.5.3. LCD Library

- `Lcd_Init`: Inicializa el modulo y no retorna nada, para su configuración requiere de variables globales

Prototipo: `void Lcd_Init ( )`

- Lcd\_Cmd: Envía comandos al LCD y no retorna nada.

Prototipo: void Lcd\_Cmd (charout\_char);

Donde: out\_char, corresponde al comando a enviar.

- Lcd\_Out: Imprime texto sobre el LCD empezando en una posición específica

Prototipo: void Lcd\_Out (char row, char col, char \*text)

Donde: row, determina la posición en la fila.

col, determina la posición en la columna.

text, el texto que se desea escribir. [15]

### 3.6. Descripción del Circuito

Antes de detallar el proceso de digitalización, cabe señalar que la voz es una forma de energía que tiene naturaleza analógica, la voz puede ser medida electrónicamente puesto que se trata de un fenómeno que está relacionada con la presión del aire.

Un dato importante de considerar es que el rango audible está comprendido entre 20 Hz y 20 KHz, al superar este rango no logramos percibir nada, lo mismo ocurre por debajo de este rango.

En lo que se refiere a la digitalización de la voz debemos mencionar que es un área que se encuentra en permanente desarrollo, con la finalidad de mejorar su funcionamiento, economizar y facilitar la comunicación con otras personas.

La digitalización de la voz consiste en la conversión de los efectos sonoros de la voz en una codificación digital, para lograrlo se lleva a cabo por medio de varias etapas, entre estas etapas tenemos la obtención de la voz por medio de un micrófono que luego es conectado a un circuito que nos realizara una primera conversión de la voz.

La próxima etapa es la de amplificación con el propósito de tener la amplitud necesaria para la conversión, seguido a esta etapa tenemos un filtro pasa banda bajo las propiedades de la voz humana.

Se conoce como filtro a los circuitos que se encargan de separar las diferentes señales, el filtro que empleamos es del tipo activo ya que presenta una serie de ventajas:

- Eliminan las inductancias presentes en baja frecuencia debido a que son voluminosas.
- Permite diseñar filtros cada vez más complejos a partir de etapas simples.
- Proporcionar ganancias considerables, esto es importante al momento de trabajar con señales de bajo nivel.

De igual manera debemos mencionar las desventajas presentes en dichos filtros activos:

- Su respuesta de frecuencia se encuentra limitada por la capacidad que tienen los amplificadores operacionales que se empleen en el diseño.
- Requiere una fuente de alimentación. [7]

### **3.6.1. Conversión Analógico Digital (ADC)**

En ocasiones es apropiado digitalizar una señal, un ejemplo típico de ello es la voz cuando se desea enviarla a largas distancias.

La digitalización es la reducción de valores infinitos que se encuentran en la señal análoga de manera que puedan ser representados como un flujo digital con una mínima pérdida de la información.

El primer paso para la digitalización es la modulación por amplitud de pulsos, no entraremos en detalle ya que fue mencionada en el capítulo anterior, debemos resaltar que PAM no es útil para la transmisión de datos puesto que se obtiene una serie de pulsos pero sigue siendo de tipo analógico.

PCM es aquella que se emplea en la transmisión de datos, la calidad en la reproducción digital de una señal analógica depende del número de muestras que se tomen. De ahí la interrogante de cuantas muestras se deben tomar para reconstruir la señal de manera fiable. Para responder dicha interrogante tenemos el siguiente teorema:

### **Teorema de Nyquist**

En cuanto a la técnica de muestreo, si tenemos una señal continua  $(t)$ , la misma que tiene una banda de frecuencia tal que

$f_m$  (frecuencia máxima dentro de dicha banda), dicha señal puede ser reconstruida sin provocar distorsión a partir de muestras de la señal tomadas a una frecuencia  $f_s$  siendo

$$f_s > 2f_m$$

El teorema permite demostrar que se puede reconstruir una señal periódica continua a partir de muestras siempre que dicha señal se encuentre limitada en banda y la tasa de muestreo sea superior al doble del ancho de banda. [20]

### 3.6.2. Conversión Digital Analógico (DAC)

Son aquellos que actúan como interfaces con el mundo real, una vez que se han enviado los datos y hemos convertido de serie a paralelo los mismos, es necesario recuperar la señal, esto es, tener una señal analógica.

Antes de continuar detallando al DAC debemos considerar conceptos importantes como son la tasa de bits y tasa de baudios. [20]

- **Tasa de bits:** Se define como el número de bits que son transmitidos en un segundo. [10]

- **Tasa de baudios:** Definimos como el número de unidades de la señal que se necesitan para la representación de estos bits. [10]

Un DAC es básicamente un arreglo de una red resistiva, conmutadores electrónicos, una fuente de referencia y un registro.

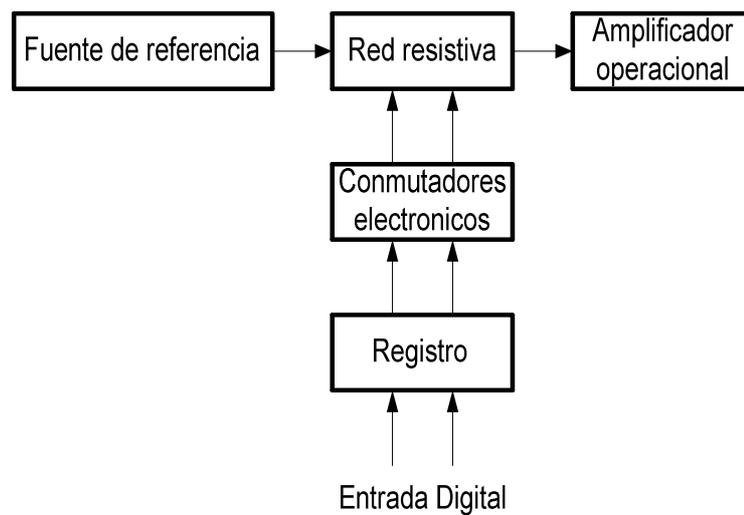


Figura 3.8 Diagrama de Bloque de un DAC [21]

Como podemos notar el registro se encarga de almacenar la información dada por la entrada digital. Entre las características que encontramos en un DAC encontramos las siguientes:

- **Linealidad:** Es considerada como la máxima desviación de la salida real con relación a la salida ideal.
- **Resolución:** Es el cambio incremental más pequeño del voltaje de salida.
- **Precisión:** Es la relación que existe entre el voltaje de salida y el valor de voltaje ideal esperado.
- **Error de offset:** Es el valor de la tensión que hace que la función de transferencia no cruce por el origen.

### 3.7. Transmisión de datos digitales

La transferencia de datos digitales consiste en el envío de información a través de medios físicos en forma de señales digitales, por tal motivo las señales analógicas deben ser digitalizadas antes de su envío, una vez que obtenemos los unos y los ceros estos deben ser codificados en forma de una señal con dos estados, dicha transformación se lleva a cabo por el DCE.

En una comunicación hay cuatro unidades básicas por un lado encontramos tanto un DCE como DTE y por el otro lado tenemos los mismos elementos. En cuanto al DTE podemos mencionar que es aquel que se encarga de generar los datos y

la función del DCE es convertir dichos datos a un formato adecuado e introducir en la red la información.

La transmisión de los datos se lo puede hacer de forma paralela o de forma serie, al transmitir paralelamente varios bits son enviados por cada pulso de reloj, en cuanto a la transmisión en serie se envía únicamente un bit por cada pulso de reloj. La transmisión paralela es muy sencilla ya que para transmitir n-bits necesitamos n número de cables.

En el caso de la transmisión serie solo necesitamos un canal para la comunicación, con lo cual logramos reducir los costos de transmisión en el sistema. [10]

## CAPÍTULO 4

### 4. SIMULACIÓN Y RESULTADOS PRÁCTICOS

Simular es vital en el diseño de circuitos ya que permite comprobar si estos circuitos están funcionando de manera correcta sin la necesidad de implementarlos.

#### 4.1. Breve explicación del software Proteus

Proteus es una aplicación que se encuentra compuesta de tres módulos:

- **ISIS.-** Es aquel módulo que permite la captura de esquemas, es decir, permite diseñar el plano electrónico que va desde simples resistencias hasta circuito de mayor complejidad.
- **ARES.-** Es el módulo que facilita la realización de circuitos impresos. Es una herramienta de enrutamiento la misma que permite editar la capa de soldadura (bottom copper) y capa superficial (top copper). Dispone de una opción que permite verificar si se cumple con las reglas de diseño (Design Rules Checker - "DRC").

- **VSM.-** Es el módulo que permite simular en tiempo real los circuitos con la finalidad de verificar su funcionamiento. Permite simular circuitos que contengan microcontroladores y que se encuentren conectados a otros dispositivos como LCD, motores, etc. [23]

#### **4.1.1. CONVERTIDOR A/D Y CONVERTIDOR D/A**

En la figura 4.1 podemos notar que para lograr la conversión de una señal analógica a digital basta con hacer uso del PIC ya que dispone de un módulo destinado a esa actividad.

La conversión A/D la podemos restringir a 8 bits puesto que para lograr la recuperación de la señal, es decir, recuperar la señal analógica es mucho más fácil encontrar en el mercado convertidores D/A de 8 bits que aquellos de 10 bits.

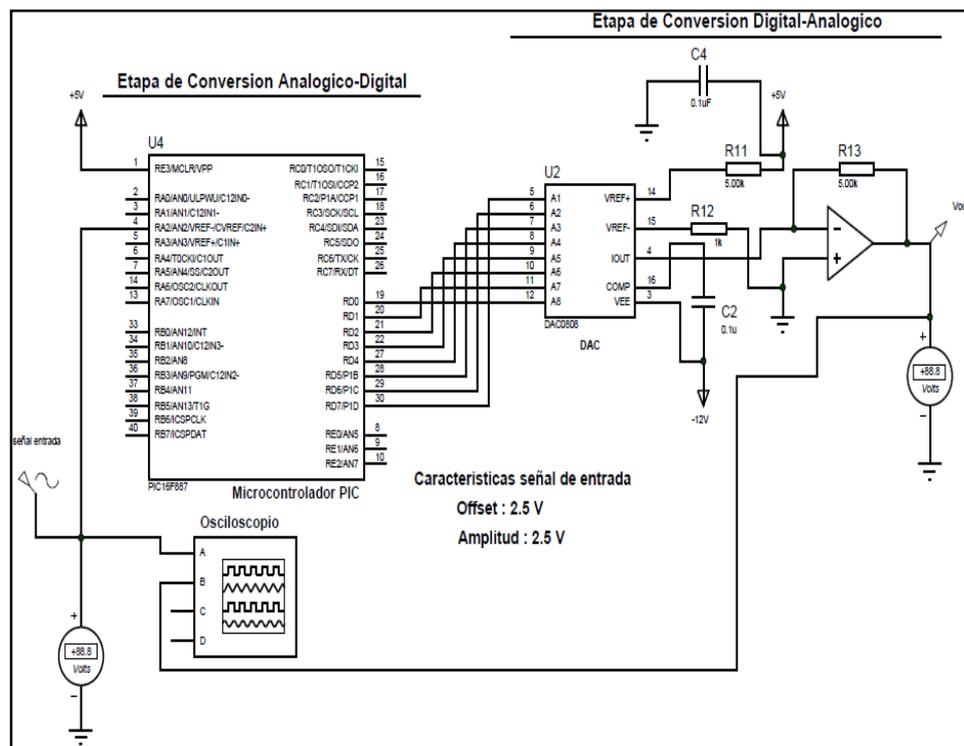


Figura 4.1 Diagrama esquemático del A/D y D/A

Para cumplir con las características que nos exige el Convertidor Digital-Analógico (DAC 0808) hacemos uso de una señal de entrada que se encuentre entre 0V y 5V AC.

Al aplicarle una señal de mayor amplitud a la entrada el DAC se satura y no logramos recuperar toda la información. En la

figura 4.2 podemos apreciar una señal de entrada con las características citadas anteriormente.

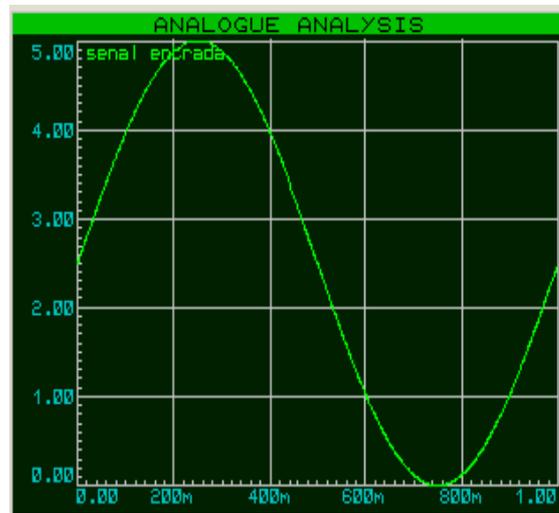


Figura 4.2 Señal de entrada A/D

Al digitalizar dicha señal analógica obtenemos una señal que toma determinados valores fijos en momentos discretos. Para un correcto funcionamiento del DAC0808 es necesario conectar a su salida un amplificador operacional el mismo que se encarga de convertir corriente a voltaje.

El voltaje de salida esta dado por la siguiente expresión matemática:

$$V_o = \frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{4} + \frac{A_3}{8} + \frac{A_4}{16} + \dots + \frac{A_8}{256} \quad (4.1)$$

Donde  $A_1, A_2, \dots, A_8$  son respectivamente los bits del dato binario y  $A_1$  corresponde al bit más significativo.

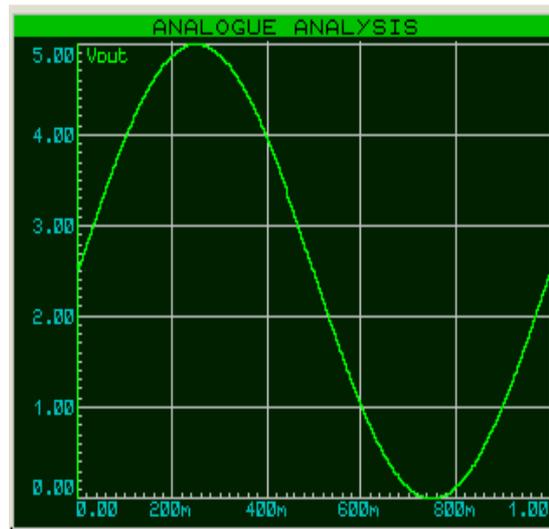


Figura 4.3 Señal de salida D/A

En la figura 4.3 observamos la señal recuperada y podemos darnos cuenta que tiene igual forma a la señal de entrada. El DAC0808 es un dispositivo que utiliza para la conversión de los datos la técnica de aproximaciones sucesivas, ofrece alta velocidad, alta precisión, dependencia mínima de temperatura.

El convertidor mencionado anteriormente es fácil de manipular y se lo puede conectar directamente al PIC cumpliendo con los requerimientos solicitados por el fabricante.

#### 4.1.2. FILTRO PASA BANDA

La función principal de un filtro es modificar una determinada señal cuando 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.

Además tiene un voltaje máximo de salida o una ganancia máxima a una determinada frecuencia llamada frecuencia central. [17]

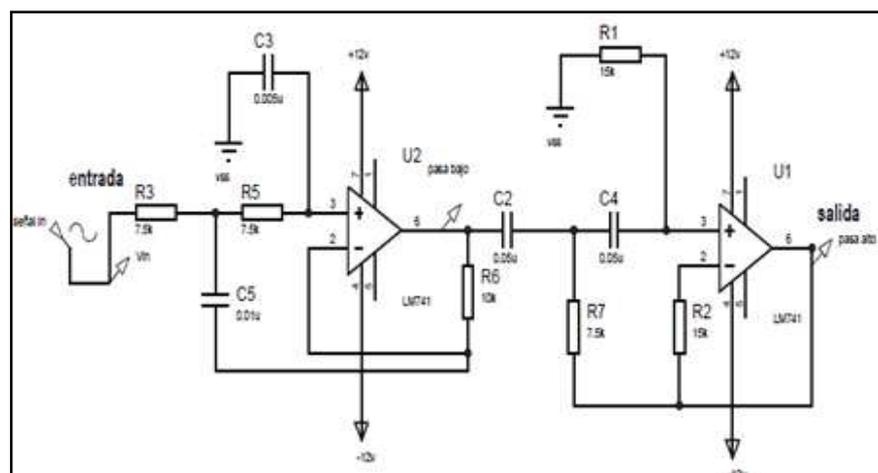


Figura 4.4 Diagrama Esquemático Filtro Pasa-Banda 300 Hz-3Khz

En la Figura 4.4 apreciamos que la conexión de un filtro pasa bajo en cascada con otro pasa alto, conforman un filtro pasa banda.

En este caso se trata de un filtro activo ya que contiene resistencias, condensadores y amplificadores; a diferencia de los filtros pasivos que no tienen amplificadores, este filtro dispone de ganancia y buena adaptación a las impedancias con el inconveniente que presenta mayor ruido.

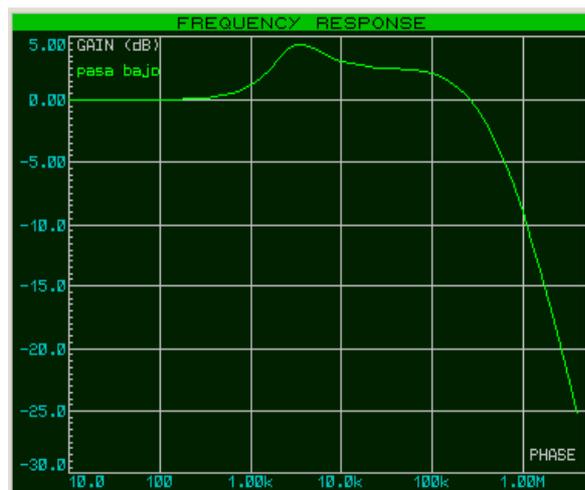


Figura 4.5 Señal del Filtro Pasa Bajo limitado a 3KHz

La señal que podemos observar en la figura 4.5 corresponde a la primera etapa del filtro pasa banda, es decir, el filtro pasa bajo de 3 KHz.



Figura 4.6 Señal del Filtro Pasa Banda 300 Hz – 3KHz

Podemos observar que la transición entre la banda que deseamos que pase y aquella que deseamos eliminar no es abrupta, presenta cierta pendiente, la misma que depende del número de orden del filtro.

#### 4.1.3. AMPLIFICADOR

Es empleado para aumentar la amplitud en el valor de la señal de entrada que se ve reflejado en su salida.

El circuito presente en la figura 4.7 se encuentra propuesto en la hoja del fabricante del integrado LM386, el mismo que nos permite obtener una ganancia de veinte, si adicionamos un capacitor y una resistencia

entre los pines 1 y 8 podemos alcanzar ganancias mayores, hasta 200.

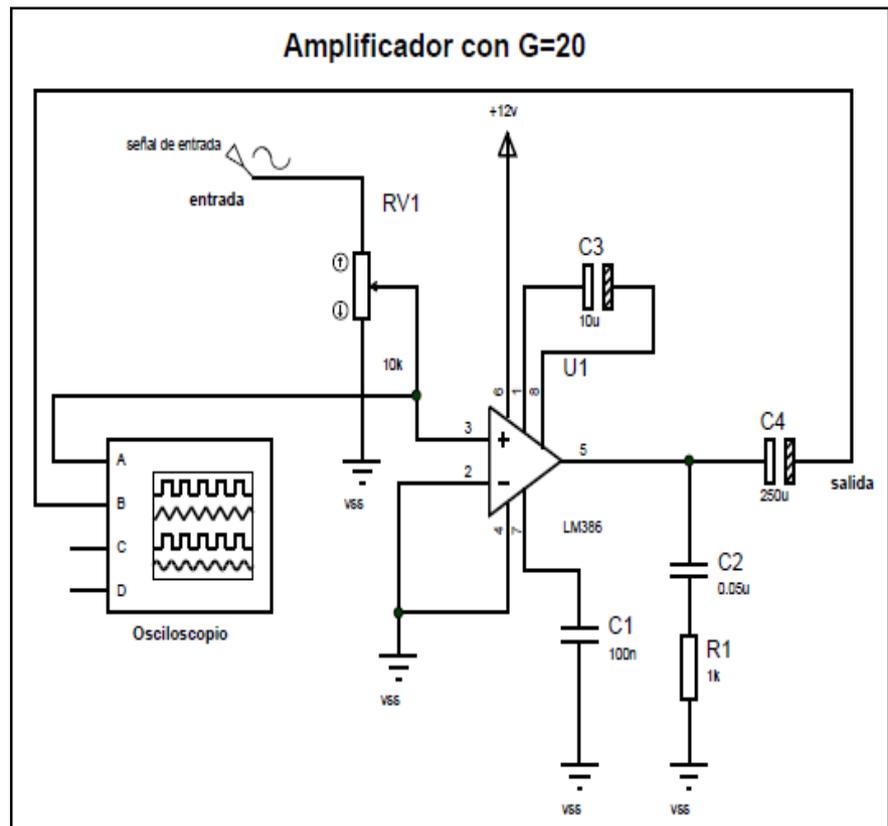


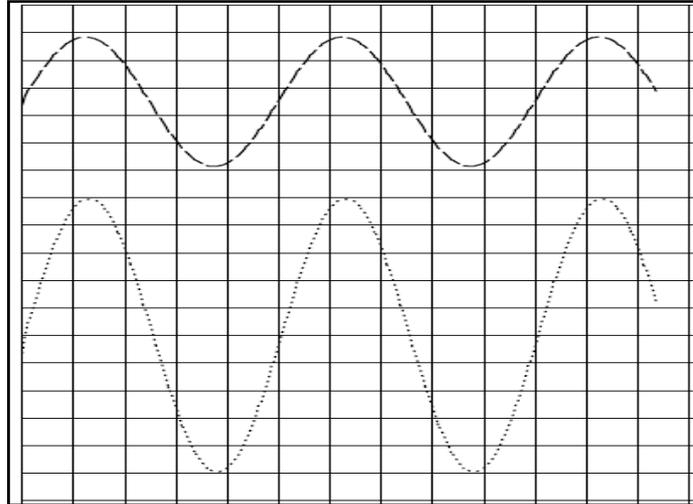
Figura 4.7 Diagrama Esquemático del Amplificador [16]

<b>Voltaje de entrada(V)</b>	<b>Voltaje de salida(V)</b>
100 m	2
150 m	3
200 m	4
250 m	5
300 m	6
350 m	7
400 m	8
500 m	10
600 m	12

Tabla 4.1 Valores de voltaje de entrada y su salida

Podemos tener como entrada una señal máxima de 600 mV y obtener en la salida una señal de 12V, ya que la limitante es el voltaje de alimentación.

Notamos que la ganancia del amplificador esta establecida en 20, este dato podemos validarlo a través de la tabla 4.1, donde para cada valor de entrada se ve reflejado en su salida un valor multiplicado 20 veces.



**Canal A:** -----      **Eje Y:** Voltaje      **Canal B:** .....  
**V/Div:** 100 mV      **Eje X:** Tiempo      **V/Div:** 2.0 V  
**t/Div:** 200 ms      **t/Div:** 200ms

Figura 4.8 Señales de entrada y salida del amplificador

En lo que respecta a la figura 4.8 podemos notar que cuando tenemos una señal de entrada de magnitud 100 mV encontramos en la salida del amplificador una señal que tiene como magnitud 2V, de esta manera verificamos el correcto funcionamiento del circuito.

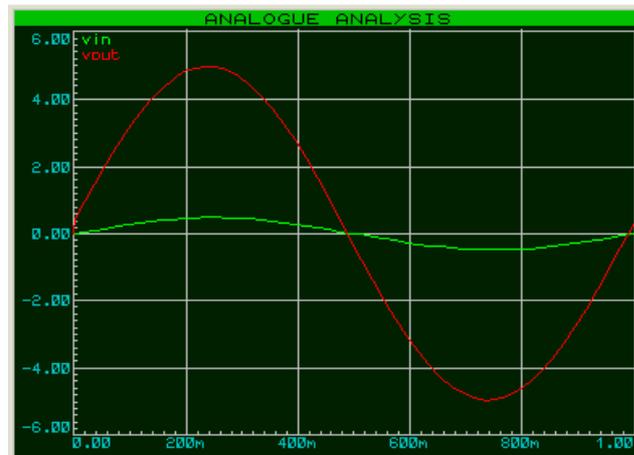


Figura 4.9 Análisis analógico del amplificador

La figura 4.9 muestra de mejor manera el comportamiento del amplificador, en donde la señal que se encuentra en color verde, representa la señal de entrada y la señal en color rojo es la de salida.



Figura 4.10 Respuesta en frecuencia del amplificador

En la figura 4.10 podemos ver la respuesta en frecuencia del amplificador, el análisis en este dominio se lo realiza en un rango

variable de valores de frecuencia, para su caracterización lo hacemos en escalas logarítmicas en términos de decibelios. La presencia de capacitores en el amplificador hace que su ganancia dependa de la frecuencia.

#### **4.1.4. FUENTE DE ALIMENTACIÓN**

Como toda tarjeta electrónica requiere de alimentación, nos vimos en la necesidad de construir una fuente de voltaje para suministrar la energía a los circuitos.

En la figura 4.11 encontramos un transformador el mismo que tiene como finalidad la adaptación de niveles de tensión, es decir, nos convierte una tensión alterna de entrada en una tensión alterna de salida de distinto valor; continuamos con la etapa de rectificación, la misma que convierte la corriente alterna a corriente continua.

Las fuentes de alimentación pueden considerarse como un dispositivo que esta conformado de una parte de entrada y una de salida, ambas partes se encuentran eléctricamente aisladas.

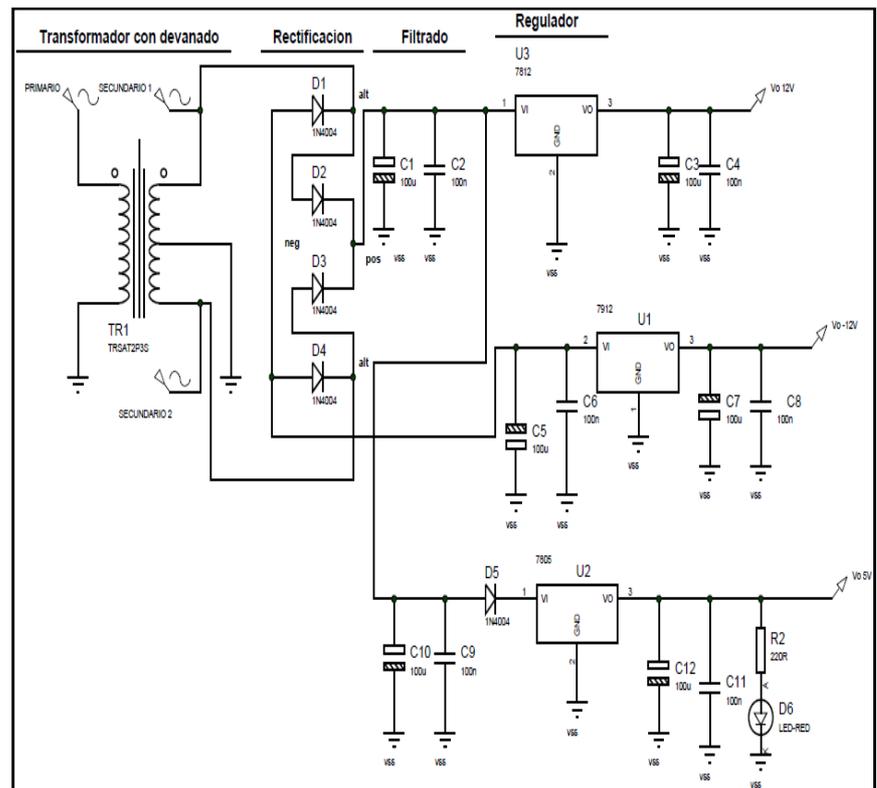


Figura 4.11 Fuente de alimentación

Luego encontramos la etapa de filtrado que se encarga de disminuir el rizado y por último la etapa de regulación para estabilizar el voltaje a un valor establecido.

La fuente de poder es un componente vital en todos los circuitos, al mismo que en muchas ocasiones no le mostramos la atención necesaria.

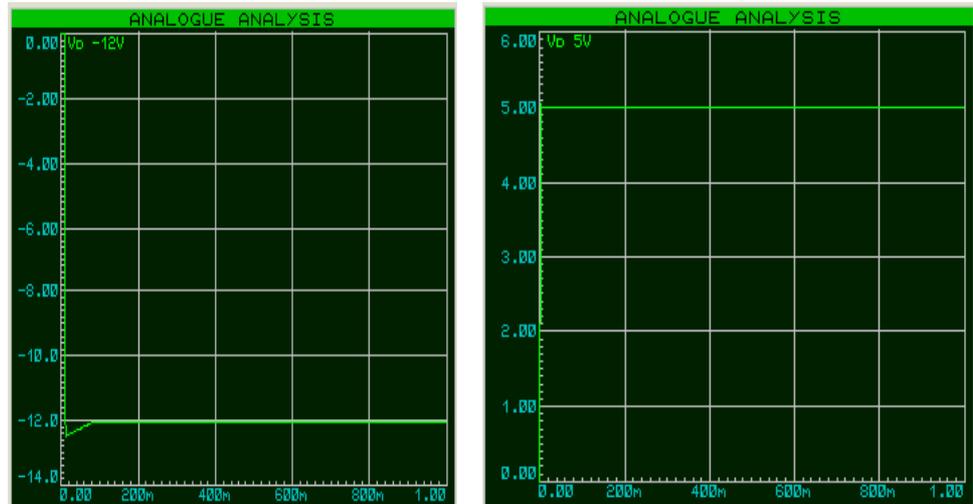


Figura 4.12 Voltaje de salida de la fuente de alimentación

En la figura 4.12 notamos los respectivos valores de voltaje, tanto de la fuente de alimentación de -12V y 5V.

#### 4.1.5. COMUNICACIÓN SERIAL

En este tipo de comunicación los datos se envían bit a bit por una misma línea en un tiempo fijo.

Para lograrlo se emplean dos registros de desplazamiento, uno de ellos situado en el emisor para la conversión paralelo/serie y el otro ubicado en el receptor cuya finalidad es la conversión serie/paralelo.

El tipo de codificación empleado es NRZ (nivel alto: 1 / nivel bajo: 0).

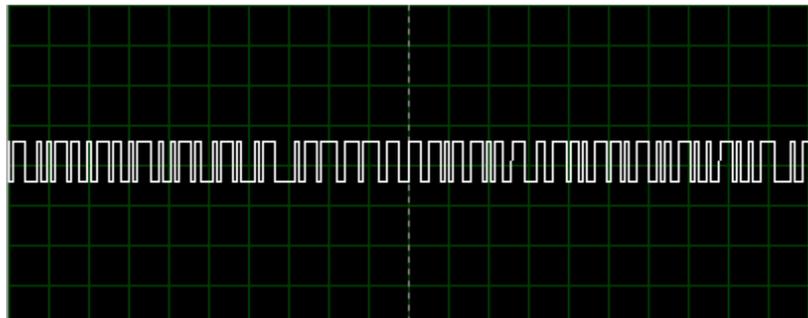


Figura 4.13 Tren de pulsos en la comunicación serial

La figura 4.13 muestra los pulsos enviados de manera serial codificados en NRZ, representan cada uno de los bits que viajan desde el transmisor hacia el receptor.

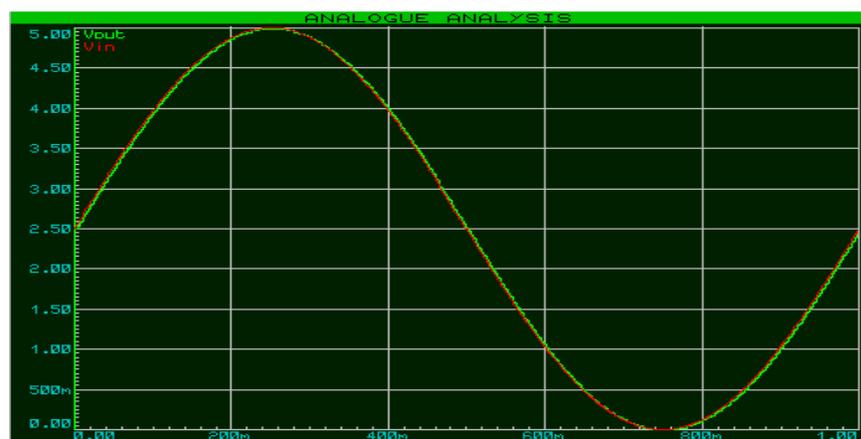


Figura 4.14 Señal de salida del Convertidor Digital-Analógico

La figura 4.14 muestra la señal de salida del convertidor digital-analógico, con ello podemos verificar que la comunicación entre el PIC maestro y el PIC esclavo es adecuado ya que la señal es similar a la aplicada en la entrada del convertidor analógico-digital.

#### **4.1.6. CONVERTIDOR DIGITAL – ANALÓGICO**

Dicha conversión resulta ser el proceso de tomar un determinado código digital ya sea este binario directo o BCD y convertirlo en tensión o corriente eléctrica con cierto valor proporcional al digital.

Como sabemos la mayoría de las variables físicas son analógicas, en ocasiones es necesario emplear sistemas digitales que procesen dichas variables con el objetivo de que tomen un solo valor de alto y bajo de voltaje.

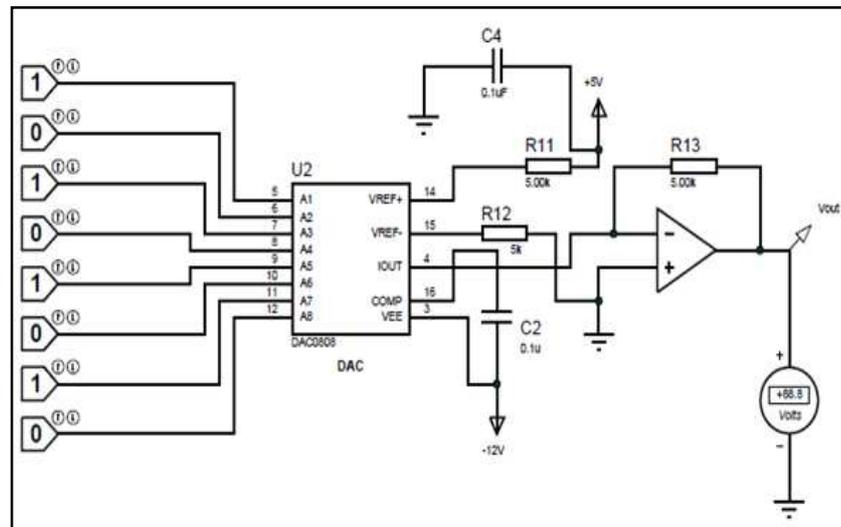


Figura 4.15 Convertidor Digital-Analógico de 8 bits

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

Tanto los convertidores analógico-digital y digital-analógico son muy importantes puesto que nos permiten las variables físicas de un proceso real con un sistema digital.

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	Vout
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0.02
0	0	0	0	0	0	1	0	0.03
0	0	0	0	0	0	1	1	0.05
0	0	0	0	0	1	0	0	0.07
0	0	0	0	0	1	0	1	0.09
0	0	0	0	0	1	1	0	0.12
0	0	0	0	0	1	1	1	0.14
0	0	0	0	1	0	0	0	0.16
0	0	0	0	1	0	0	1	0.18
0	0	0	0	1	0	1	0	0.20
0	0	0	0	1	0	1	1	0.22
0	0	0	0	1	1	0	0	0.23
0	0	0	0	1	1	0	1	0.25
			.	.	.			
			.	.	.			
1	1	1	1	1	1	1	0	4.96
1	1	1	1	1	1	1	1	4.98

Tabla 4.2 Valores binarios de entrada al DAC

Como podemos observar en la tabla anterior, la salida no es completamente analógica puesto que tenemos una cierta cantidad finita de valores de tensión, la misma que depende de la cantidad de entradas binarias que disponga el Convertidor, en este caso el DAC0808 dispone de 8 entradas.

Para este caso particular tenemos  $2^8=256$  valores de tensión de salida.

#### **4.1.7 DRIVER DE LED**

El led IF-E96 empleado en este circuito produce luz de color rojo. Su salida óptica se encuentra centrada en 660 nm.

Empleamos el circuito integrado CD4093, el mismo que se compone de cuatro compuertas NAND Schmitt-trigger, operan como compuertas comunes pero poseen una propiedad llamada histéresis, esta propiedad les permite trabajar con señales digitales no ideales y además los hace inmune al ruido.

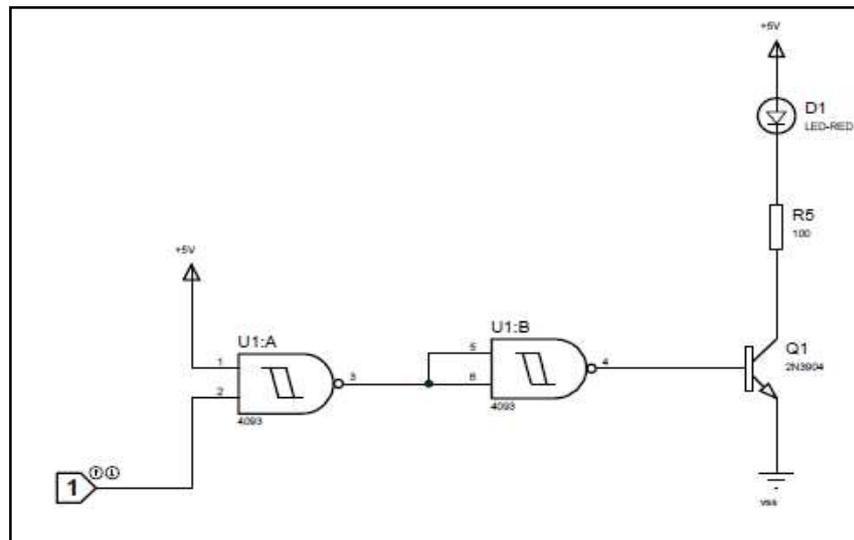


Figura 4.16 Circuito manejador de Led

En la figura 4.16 podemos notar que empleamos dos compuertas del tipo Schmitt-trigger debido a que dichas compuertas entregan en su salida siempre una señal cuadrada sin importar que señal se aplique en su entrada.

La característica de histéresis permite que los dispositivos respondan solamente cuando superan los límites denominados umbrales. Notamos que al enviar un cero lógico el led no se prende puesto que el transistor se encuentra en zona de corte por la no presencia de corriente.

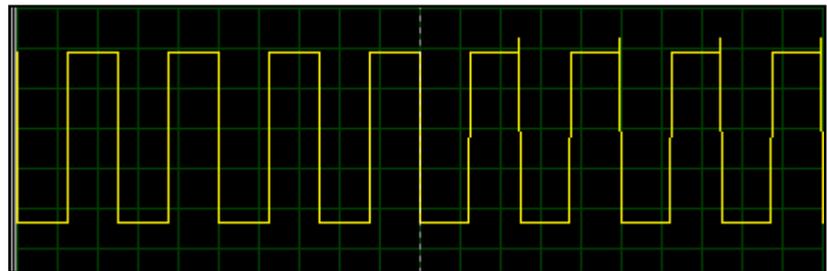
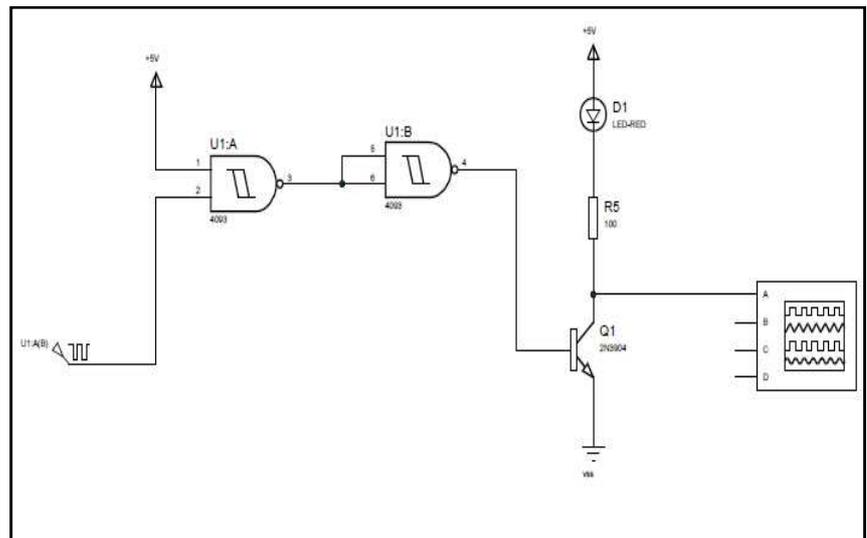


Figura 4.17 Salida de la señal en el colector

Ahora enviamos un tren de pulsos, podemos notar que el transistor conmuta de manera satisfactoria ya que el led se encuentra en un estado parpadeante. En la figura 4.17 se puede notar la ráfaga de pulsaciones presentes en el colector.

## **4.2. Resultados Prácticos del Sistema de Comunicación**

Luego de simular cada uno de los circuitos electrónicos diseñados para el sistema de comunicación, obteniendo resultados favorables, procedimientos a implementarlos y realizar las pruebas pertinentes, logrando los resultados a continuación presentados.

### **4.2.1. Resultado Práctico del Convertidor Analógico-Digital**

Para obtener la conversión analógica-digital, hicimos uso de dicho módulo encargado de esa operación presente en el PIC.

Para lograr tal propósito necesitamos programar el microcontrolador siguiendo el procedimiento que podemos notar en la figura 4.18.

Primero necesitamos declarar las variables que se van a emplear en nuestro programa, lo mas conveniente es emplear nombres que sean representativos a la función que van a desempeñar, por ejemplo, en nuestro caso utilizamos una variable denominada temp\_res que se encarga de recibir el valor después de la conversión A/D.

Una vez definido cada una de las variables, establecemos que puertos van a ser empleados y la función que van a

desempeñar, esta asignación es arbitraria solo depende del programador.

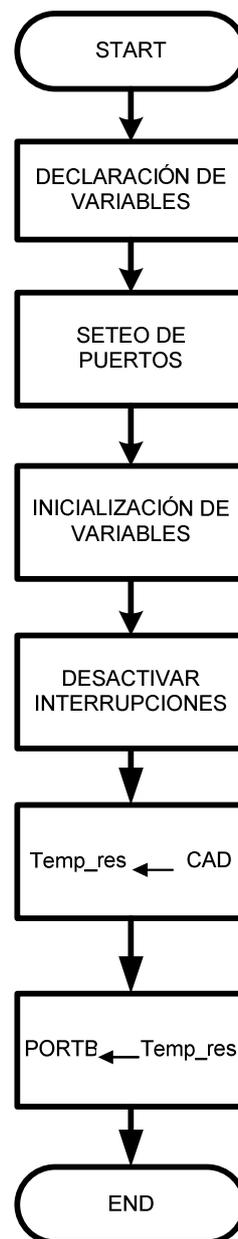


Figura 4.18 Diagrama de Flujo del Convertidor Analógico-Digital

Un buen estilo de programación es inicializar cada una de las variables, esto es, asignarles un valor para el arranque del programa, de no hacerlo estas variables tomaran valores llamados basura, para mayor información ver Anexo # 7.

Puesto que el módulo de conversión es de 10 bits, el programador puede descartar los 2 bits menos significativos y limitarlo a 8 bits, con ello al momento de la recuperación de la información solo hacemos uso de un Puerto.

Para comprobar el funcionamiento de esta parte del enlace asignamos el puerto B para presentar los valores digitalizados.

Debemos aplicar una señal en la entrada del CAD, que cumpla con las características necesarias para la conversión, esto es, que no supere una amplitud de 5V para no saturar el dispositivo. Para ello se utilizó una señal de  $2 V_{pp}$  y le adicionamos un nivel de DC (offset) con una magnitud alrededor de 1V.

En la figura 4.19 podemos observar la señal de entrada con las características mencionadas anteriormente, esta señal

muestra que tiene un voltaje máximo de 3 V y un voltaje mínimo de 1V.

Pero, ¿Por qué aplicar ese valor de offset?

La respuesta es sencilla, debemos evitar los flancos negativos, recordemos que una señal analógica del tipo que empleamos como referente, tiene flancos positivos y negativos, estos últimos son los debemos de evitar para no dañar el componente electrónico.

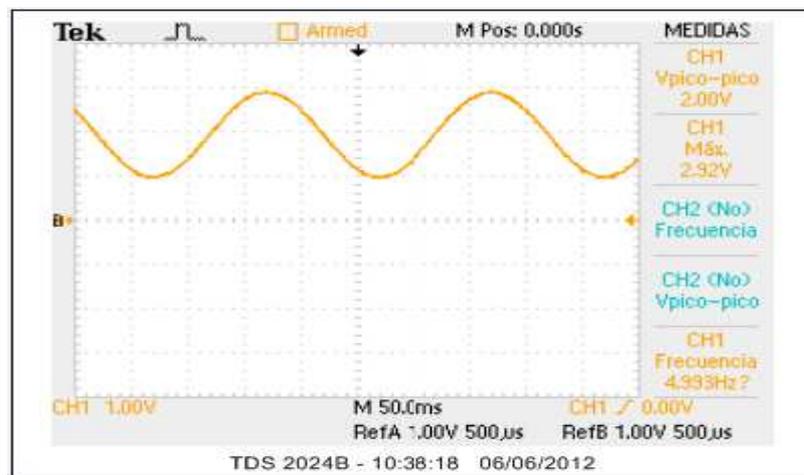


Figura 4.19 Señal de entrada del CAD

Obtenemos las siguientes señales en cada uno de los pines correspondientes al Puerto empleado para la conversión digital.

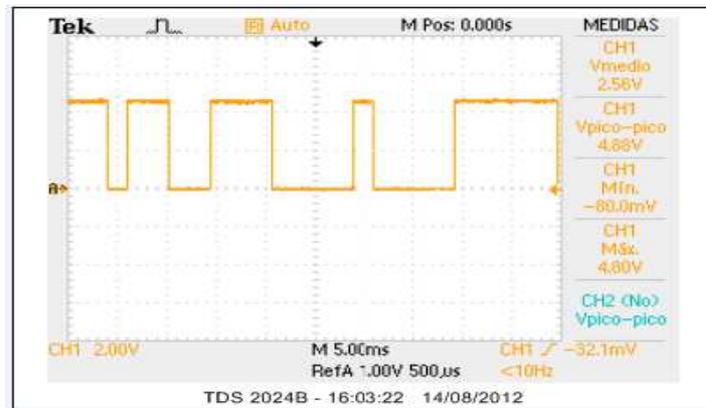


Figura 4.20 Señal de salida en RB0

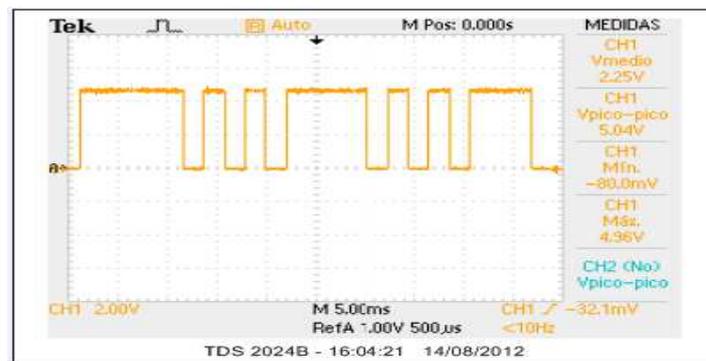


Figura 4.21 Señal de salida en RB1

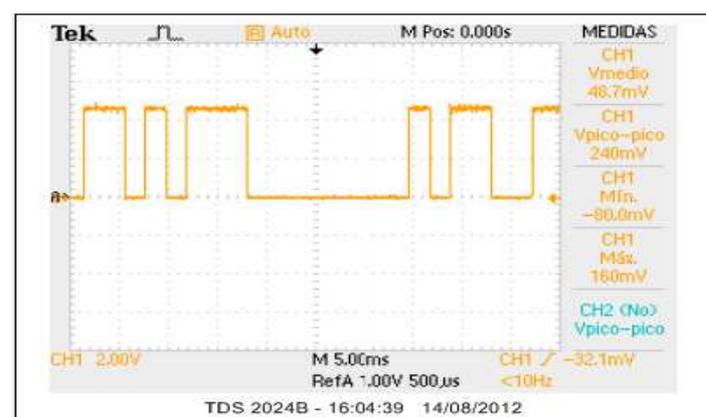


Figura 4.22 Señal de salida en RB2

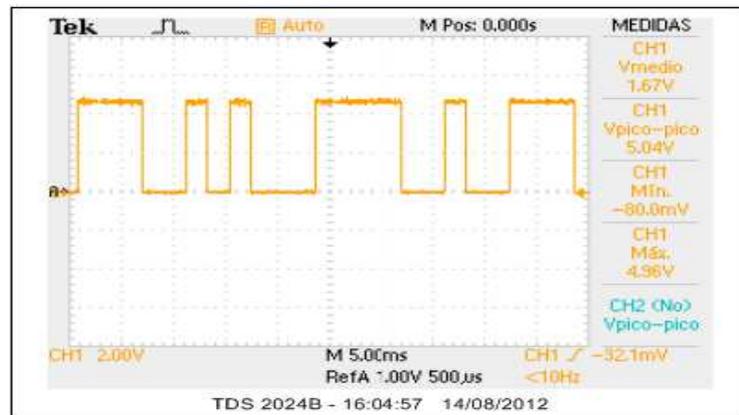


Figura 4.23 Se&amp;#x00;al de salida en RB3

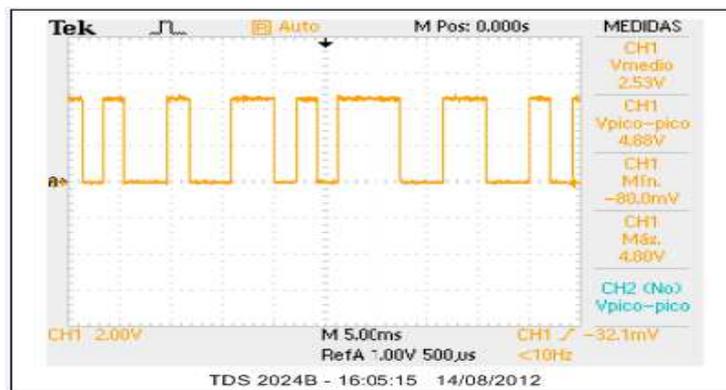


Figura 4.24 Se&amp;#x00;al de salida en RB4

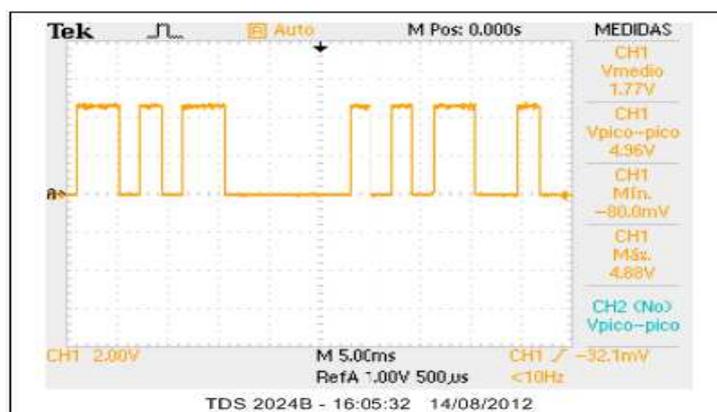


Figura 4.25 Se&amp;#x00;al de salida en RB5

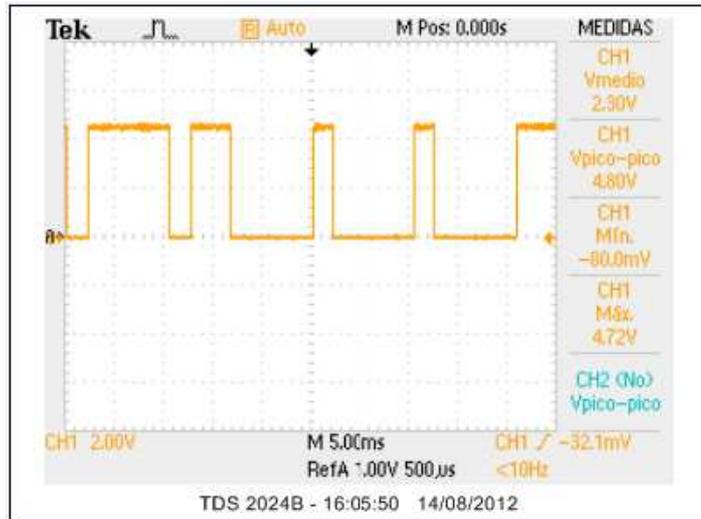


Figura 4.26 Señal de salida en RB6

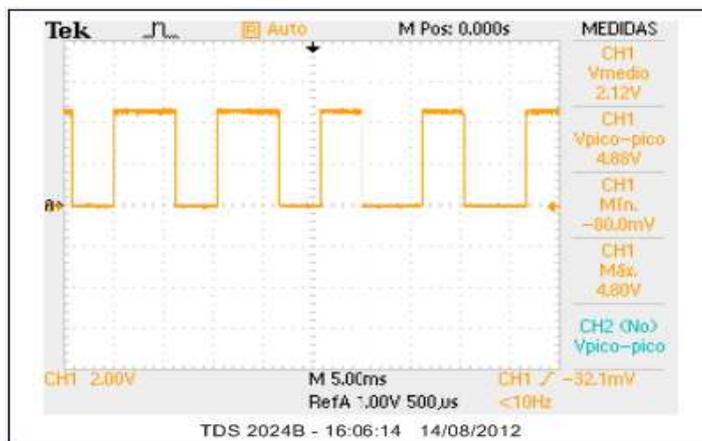


Figura 4.27 Señal de salida en RB7

Mirando cada una de las señales presentadas, esto es, RB0 hasta RB7; podemos notar que RB7 resulta ser el más significativo ya que tiene mayor cantidad de información (mayor valor), por ende RB0 es el menos significativo.

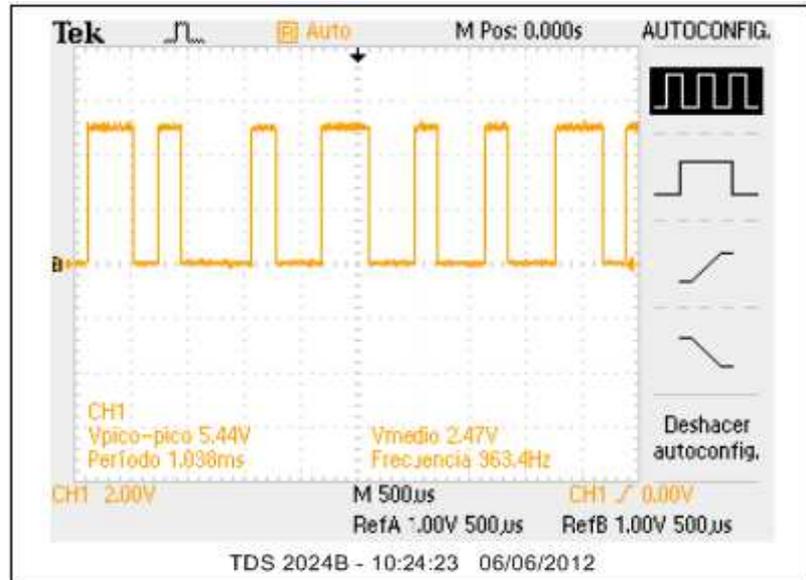


Figura 4.28 Señal de salida en el pin Tx del PIC

En la figura 4.28 observamos el tren de pulsos originado después de convertir la señal analógica, dicho tren no es más que la representación de la señal analógica por su equivalente en estados binarios.

#### 4.2.2. Resultado Práctico del amplificador

Aplicamos una señal de entrada con las características indicada en la figura 4.29, en donde podemos destacar que la señal tiene como RMS un valor de 84.3 mV, con la finalidad de verificar el comportamiento del circuito.

La conexión del amplificador LM386 esta dado en la hoja del fabricante (datasheet), en dicho documento se presentan diferentes circuitos para obtener diversos valores de ganancia, el circuito que decidimos emplear es aquel que nos entrega una ganancia de veinte.

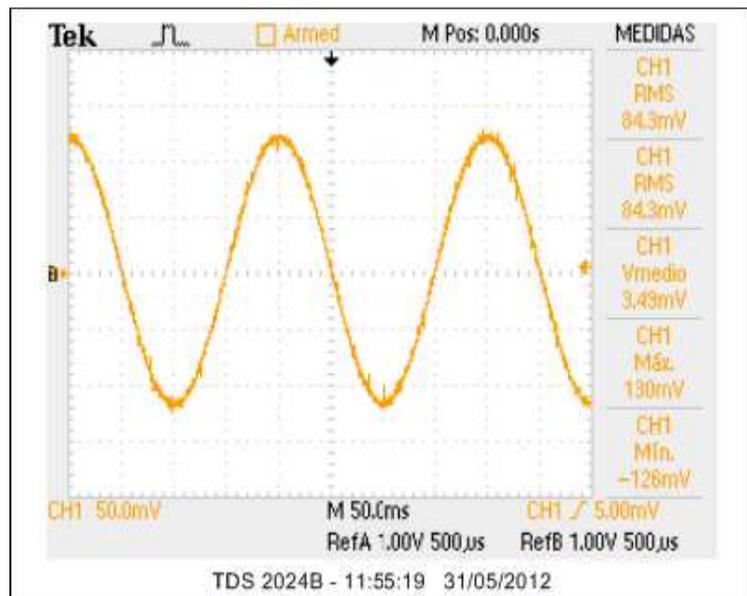


Figura 4.29 Señal de entrada del amplificador

En la salida podemos apreciar una señal de igual frecuencia, de igual fase pero de amplitud 20 veces mayor a la señal de entrada, con ello podemos verificar el funcionamiento adecuado del circuito.

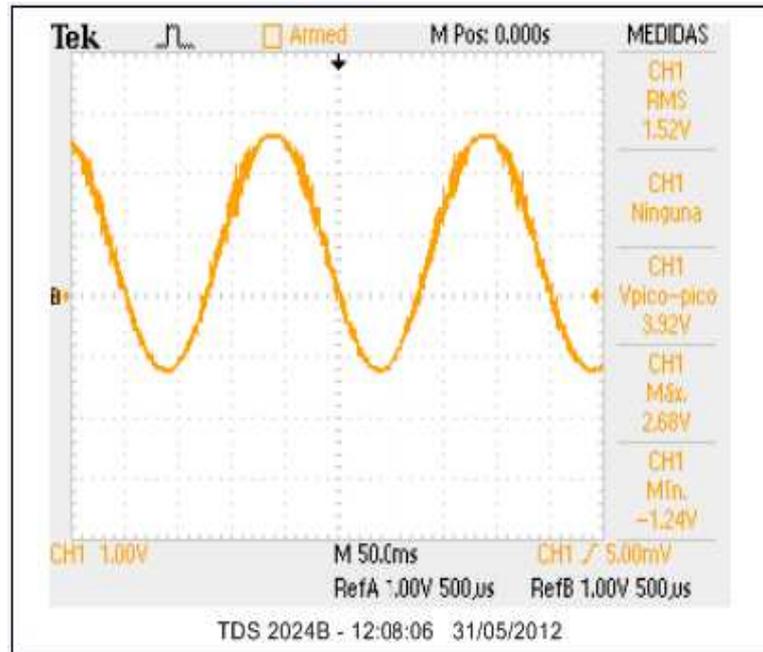


Figura 4.30 Señal de Salida del amplificador

Si observamos la figura 4.30 podemos notar que el valor RMS de la señal de salida es de 1.52 V, esto es, alrededor de veinte veces más de lo que tuvimos en la entrada.

En ocasiones la amplificación produce distorsión en la señal de salida debido a características propias del amplificador, cabe notar que la salida no puede tomar valores de voltaje superiores a la de la fuente de alimentación.

### 4.2.3. Resultado Práctico del Driver de Led

Una vez realizada las pruebas a los circuitos: amplificador y convertidor A/D, nos corresponde someter al circuito manejador de led a varias ensayos, aplicamos a la entrada una señal TTL, la misma que fuimos variando su frecuencia con el propósito de establecer su margen de respuesta, logrando obtener que para frecuencias mayores a los 2400 Hz (4800 baudios) el circuito no responde de manera satisfactoria.

En la figura 4.31 podemos notar una pequeña diferencia con el diagrama presentado en la figura 4.18, esta diferencia radica en que no se muestra el valor de la conversión en el Puerto B, sino que en su lugar empleamos el UART para escribir sobre este módulo, y así de esta manera hacer una comunicación serial.

El pin Tx del microcontrolador sirve como entrada para el circuito manejador, el transistor se encarga de conmutar, es decir, comportarse como interruptor.

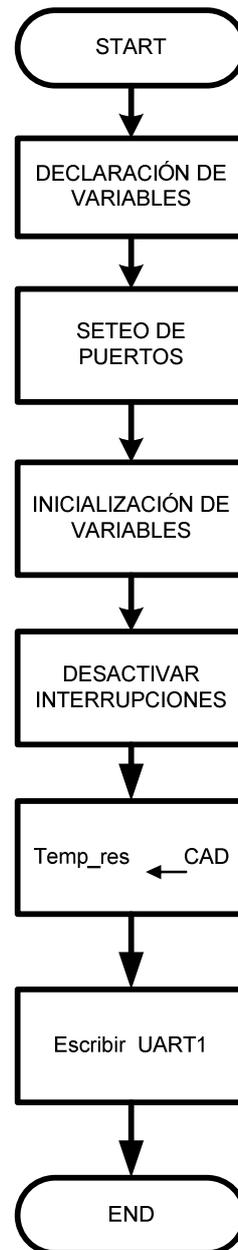


Figura 4.31 Diagrama de Flujo para el Transmisor

En lo que respecta a la programación del PIC, se sugiere que los nombres de las variables se escriban con minúsculas, dichas variables se encuentran completamente definidas cuando establecemos el tipo de datos que van a almacenar, el código es muy similar a la indica en la conversión analógica-digital solo que en esta situación, esperamos que llegue un dato al UART, lo leemos y por último lo transmitimos. Debemos permanecer en un lazo infinito para esperar datos entrantes, es posible transmitir de manera continua los bits, no existe un tamaño determinado de datos, para más detalles ver Anexo # 7.

Para comprobar el funcionamiento del circuito manejador de Led aplicamos a la entrada una señal TTL de 2400Hz (4800 baudios) suministrada por el generador de funciones, el circuito en mención presentó un comportamiento aceptable.

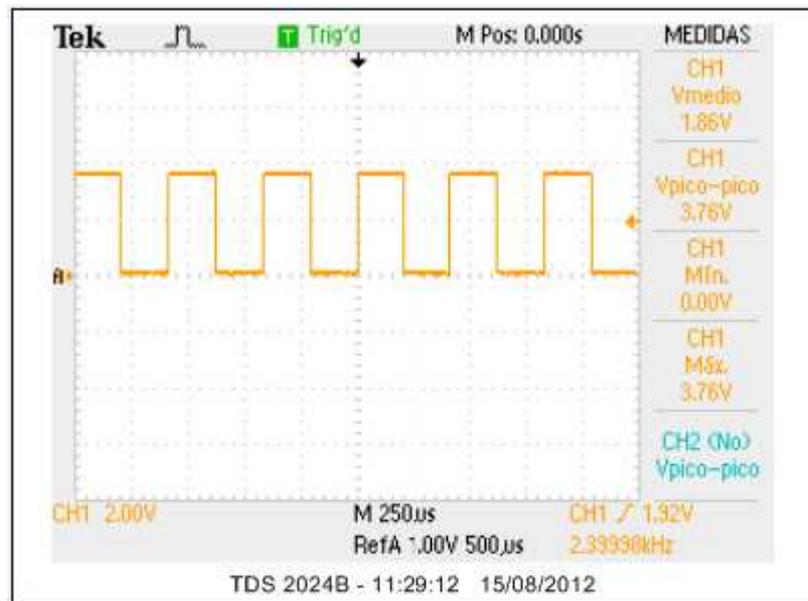


Figura 4.32 Señal aplicada a la entrada del Driver

Decidimos aplicar la misma señal pero a mayor frecuencia de la citada anteriormente, pero el transistor no respondió satisfactoriamente, por este motivo decidimos realizar la transmisión a 4800 baudios.

El transistor juega un papel crucial en el funcionamiento del circuito ya que se comporta como un interruptor, el mismo que pasa rápidamente de la zona de corte a la zona de saturación y viceversa. En saturación se simula a un interruptor cerrado y en corte a un interruptor abierto, cabe mencionar que para lograr que el transistor permanezca en corte es necesario que la corriente de base sea nula.

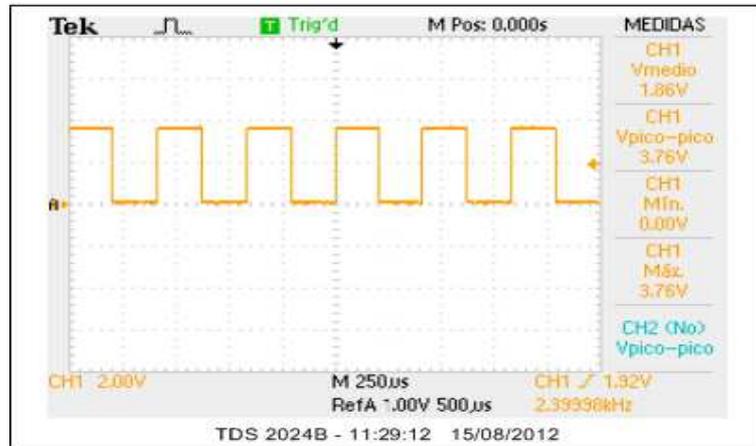


Figura 4.33 Señal en el colector del transistor 2N3904

Cuando incrementamos la corriente en la base de manera progresiva, llegamos a un momento en que la corriente de colector no incrementa, es en el ese momento que enviamos al transistor a zona de saturación.



Figura 4.34 Señal en la base del transistor 2N3904

Podemos apreciar en la figura 4.33 y 4.34 que dichas señales mantienen la forma de la señal de entrada, por esa razón, estamos seguros que la transmisión se va a lograr de manera satisfactoria.

Tenemos que tener presente que la relación que existe entre corriente del colector y la corriente de base esta dada por:  $I_c = I_b * \beta$ , donde  $\beta$  toma diferentes valores dependiendo de la temperatura; por esa razón vemos que la amplitud en el colector es superior a la base.

#### **4.2.4. Resultado Práctico del Receptor**

Como todo sistema de comunicación, necesitamos de un circuito que se encargue de recuperar la información, la programación del microcontroladores relativamente sencilla, en esta ocasión si nos fijamos en la figura 4.34 podemos apreciar una variable denominada "i" la misma que se encarga de recibir los datos del UART y luego el valor de dicha variable es asignado al Puerto B.

El PIC que mencionamos en el circuito Transmisor se comporta como dispositivo maestro, ya que tiene la capacidad de iniciar o culminar una transferencia y genera la

señal de reloj, mientras que el PIC utilizado en el receptor es un dispositivo esclavo ya que solo recibe la señal de reloj y no dispone de la capacidad que tiene el maestro.

Un detalle a considerar es la frecuencia con la que se va a inicializar el UART, debe tener el mismo valor que empleamos en el transmisor para que funcionen de manera sincrónica.

La finalidad de la figura 4.35 es brindar una ayuda para el programador, lo que denominamos como seteo de puerto no es más que la asignación de cada uno de los puertos para que funcionen como entrada o salida ya sean digitales o analógicos, en nuestro caso el puerto B es un puerto de salida digital.

Existen varios tipos de interrupciones en los PIC, no entraremos en detalle de cada uno de ellos, solo haremos mención que para alcanzar nuestro propósito es conveniente deshabilitar todas las interrupciones, mas detalles puede ver Anexo # 7.

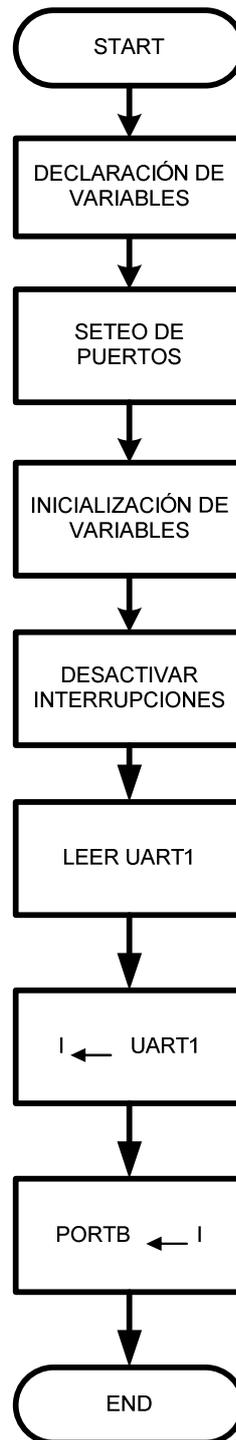


Figura 4.35 Diagrama de Flujo del Receptor

El elemento detector utilizado en este circuito es el fotodiodo, dicho componente no es más que un semiconductor formado de unión PN, el mismo que es sensible a la luz infrarroja y visible; para asegurar su funcionamiento es necesario polarizarlo inversamente ya que con ello genera una cierta corriente cuando se expone a la luz.

Los fotodiodos en ausencia de luz exterior producen un pequeño voltaje con el positivo en el ánodo y el negativo en el cátodo, esta corriente presente en este estado se la denomina corriente de oscuridad. Después que la luz viaja a través de la fibra óptica, esta energía luminosa es acoplada al fotodiodo, con la finalidad de convertirla en energía eléctrica (corriente).

Luego esta corriente alimenta al amplificador de transimpedancia para convertirla en voltaje, el potenciómetro presente en dicho amplificador nos permite manipular el paso de corriente y con ello obtener mayor ancho en el pulso.

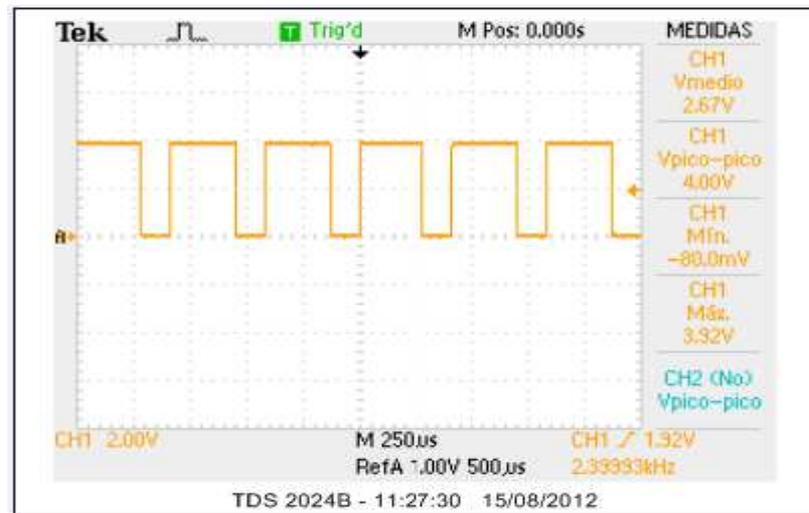


Figura 4.36 Señal a la Salida del Detector

Observando la figura 4.36, podemos asegurar nuestro éxito en la recuperación de la información, ya que dicha señal conserva la forma de aquella encontrada en el transmisor, es cuestión de manipular el potenciómetro y ajustar el paso de corriente. Cualquier patrón de señal enviado por el transmisor es reproducido en el receptor como una corriente eléctrica conservando el mismo patrón.

#### 4.2.5. Resultado Práctico del Convertidor Digital-Analógico

Todo en la naturaleza es de tipo analógico, por ese motivo es conveniente realizar la conversión analógica de la señal recibida, para ello usamos el DAC0808 por ser un convertidor que sirve de interface con niveles lógicos tanto

CMOS como TTL, además fue el único que pudimos encontrar en el mercado local.

Este circuito se encarga de recibir la información que se encuentra en formato digital que contiene  $n$  bits y se la transforma a una señal analógica, cada combinación binaria es convertida a un valor de tensión.

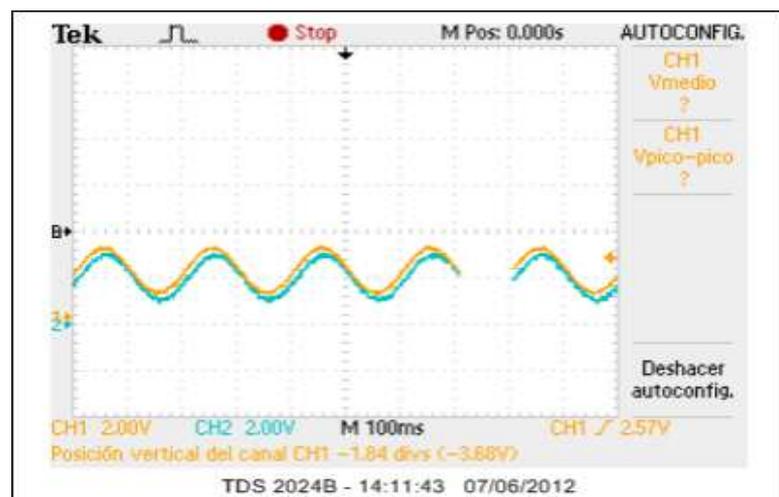
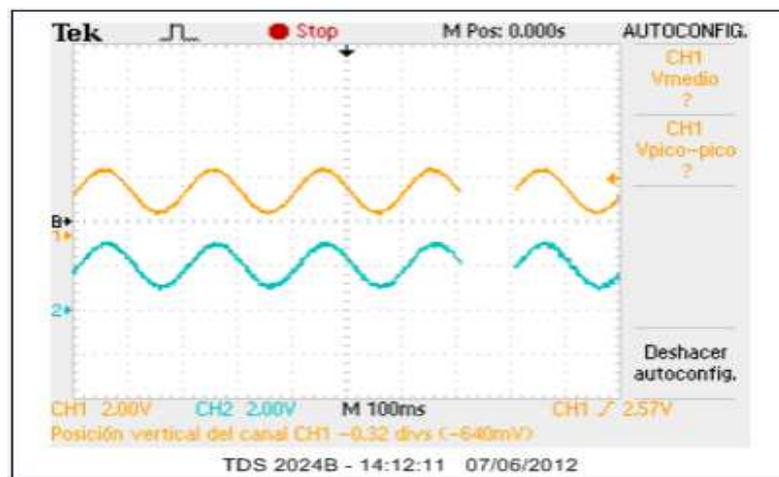


Figura 4.37 Señal de entrada CAD y de salida DAC

En la figura 4.37 se puede apreciar que la señal de salida (CH2) es similar a la entrada (CH1), la señal de salida presenta una pequeña distorsión con relación a la señal original (entrada del convertidor analógico-digital), pero que no es un problema ya que sus niveles son relativamente bajos y se pierde una cantidad de información que se puede considerar despreciable para fines prácticos.

## **CONCLUSIONES**

1. Luego de culminar con nuestro proyecto de tesina podemos concluir que el uso de fibra óptica plástica para cortas distancias es muy propicio en el sistema de comunicación, ya que logramos enviar y recibir de manera satisfactoria la información con pequeñas pérdidas que se podrían considerar despreciables, con ello, podemos decir que la fibra de tipo plástica es equivalente a la de vidrio y reducir costos en la implementación.
2. El diseño de un sistema de comunicación involucra diferentes variables presentes tanto en la fibra óptica, la fuente de luz, el detector y los circuitos electrónicos que se necesitan emplear para cumplir con dicho sistema, la persona que desea diseñar tiene la responsabilidad

de escoger de manera adecuada los componentes para establecer un nivel superior al requerido.

3. Nuestro proyecto resulta ser un modelo para comprender la transmisión de las señales, la estructura presente en un enlace de comunicaciones, de igual forma ayuda a encontrar respuesta a varias interrogantes, entre las que tenemos:

¿Cómo se puede conducir una señal luminosa?

¿Cómo se puede convertir energía eléctrica en luminosa y viceversa?

¿Qué componentes son capaces de lograr lo antes mencionado y bajo que condiciones podemos emplearlos?

Poniendo a prueba conocimientos teóricos adquiridos en el área de telecomunicaciones.

## RECOMENDACIONES

1. Antes de tratar de programar se debe obtener información sobre los registros presentes en el microcontrolador encargados de la habilitación o deshabilitación de las interrupciones, de la conversión analógica a digital, para configurar de forma adecuada el módulo A/D y cumplir satisfactoriamente los objetivos trazados, en el manual del fabricante del PIC nos presentan un procedimiento para la lograr la conversión A/D que vale la pena seguir si su prioridad es programar en lenguaje ensamblador.
2. Para aquellas personas que desean programar en lenguaje C se recomienda revisar el manual del compilador referente a las librerías encargadas de la conversión y la transmisión serial, ya que en dicho manual se muestra el prototipo de cada una de ellas y así lograr

familiarizarnos con su uso y adquirir destreza al momento de programar el microcontrolador.

3. De igual manera tener mucho cuidado con los registros encargados de configurar el PIC para que funcionen los puertos como entradas o salidas ya sean analógicas o digitales, esto es, los registros ANSEL y TRISx, deben manejarse adecuadamente cada uno de los bits de estos registros.
4. En la página web del fabricante del compilador MikroC PRO existe un número apreciable de ejemplos referentes al manejo del LCD, Conversión A/D, manejo de displays entre otros, los mismos que son importantes en nuestro aprendizaje, además dispone de libros en Inglés y Español que indican la forma de programar el PIC 16F887, y que son base para programar cualquier microcontrolador que nos propongamos usar.

## **ANEXOS**

## ANEXO #1 – DISEÑO DEL FILTRO PASA BANDA

Tomando en consideración el modelo de Sallen-Key de 2<sup>do</sup> Orden para un filtro pasa banda tenemos el siguiente circuito y sus respectivos cálculos de acuerdo al rango de frecuencias que desea pasar.

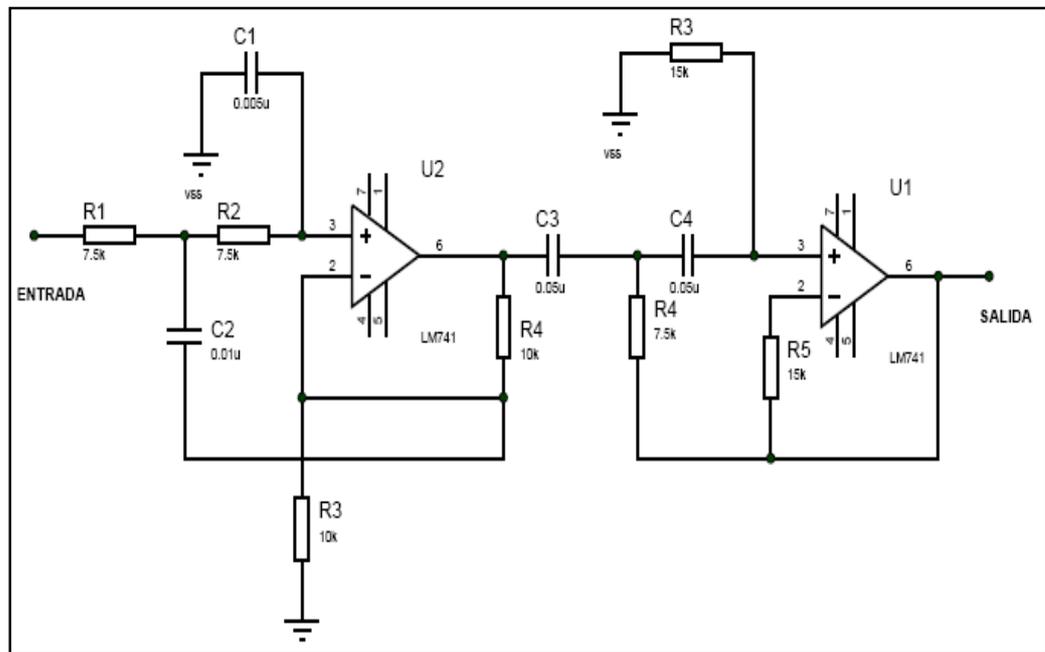


Figura A1.1 Diagrama esquemático del filtro pasa banda

Este filtro permite pasar frecuencias comprendidas entre 300 Hz y 3000Hz, el mismo que se encuentra conectado en cascada, de esta manera logramos una etapa de ganancia. La primera etapa consiste en un filtro paso-bajo de 3

KHz. Y esta a su vez se encuentra conectada a una segunda etapa denominada paso-alto de 300 Hz.

Debemos tener presente la siguiente notación que se va a emplear en cada una de las expresiones matemáticas.

*B: ancho de banda*

*f<sub>H</sub>: frecuencia superior*

*f<sub>L</sub>: frecuencia inferior*

*f<sub>R</sub>: frecuencia de resonancia*

*Q: factor de calidad*

Para calcular el valor de las resistencias presentes en el filtro pasa bajo utilizamos la ecuación A1, donde  $a_1$  y  $b_1$  corresponden a valores normalizados y para determinar los valores de los condensadores se sugiere emplear la ecuación A2.

$$R1, R2 = \frac{a_1 \cdot c_2 \pm \sqrt{a_1^2 \cdot c_2^2 - 4b_1 \cdot c_1 \cdot c_2}}{4\pi f_0 c_1 c_2} \quad (\text{Ec. A1})$$

$$C_2 \geq C_1 \frac{4b_1}{a_1^2} \quad (\text{Ec. A2})$$

$$B = f_H - f_L \text{ (Ec. A3)}$$

$$f_R = \sqrt{(f_H)(f_L)} \text{ (Ec. A4)}$$

Reemplazando los datos en cada una de las expresiones matemáticas nos encontramos que:

$$B = 3000 \text{ KHz} - 300 \text{ Hz} = 2700 \text{ Hz}$$

$$f_R = \sqrt{(3000)(300)} = 948.7 \text{ Hz}$$

$$Q = \frac{f_R}{B} = \frac{948.7 \text{ Hz}}{2.7 \text{ KHz}}$$

$$\therefore Q = 0.352$$

Observando la tabla de coeficientes para filtros tipo Sallen Key Butterworth podemos encontrar los siguientes:

$$a_1 = 1.4142$$

$$b_1 = 1.0$$

Tomando en consideración valores de capacitancias en series normalizadas tenemos:

$$C_1 = 0.005 \text{ uF}$$

$$C_2 \geq (0.005 \text{ uF}) \frac{4(1.0)}{(1.4142)^2}$$

$$C_2 \geq (0.005 \text{ uF}) \frac{4.0}{1.999}$$

$$C_2 \geq 0.01 \text{ uF} \quad C_2 \geq 0.01 \text{ uF}$$

$$R_1 = \frac{1.4142(1x10^{-8}) - \sqrt{1.4142^2(1x10^{-8})^2 - 4(1.0)(5x10^{-9})(1x10^{-6})}}{4\pi(3x10^3)(5x10^{-9})(1x10^{-6})}$$

$$R_1 = 7.5 \text{ K}\Omega$$

$$R_2 = \frac{1.4142(1x10^{-8}) + \sqrt{1.4142^2(1x10^{-8})^2 - 4(1.0)(5x10^{-9})(1x10^{-6})}}{4\pi(3x10^3)(5x10^{-9})(1x10^{-6})}$$

$$R_2 = 7.5 \text{ K}\Omega$$

Ahora para calcular los valores de los componentes empleados en el Filtro Paso – Alto de 2<sup>do</sup> Orden que presenta una estructura Sallen-Key disponemos de las siguientes expresiones matemáticas.

Suele usarse  $C_1 = C_2 = C$

$$R_3 = \frac{1}{\pi \cdot f_0 \cdot C \cdot a_1} \quad (\text{Ec. A5})$$

$$R_4 = \frac{a_1}{4\pi \cdot f_0 \cdot C \cdot b_1} \quad (\text{Ec. A6})$$

$$R_3 = \frac{1}{\pi(300\text{Hz})(5 \times 10^{-8})(1.4142)}$$

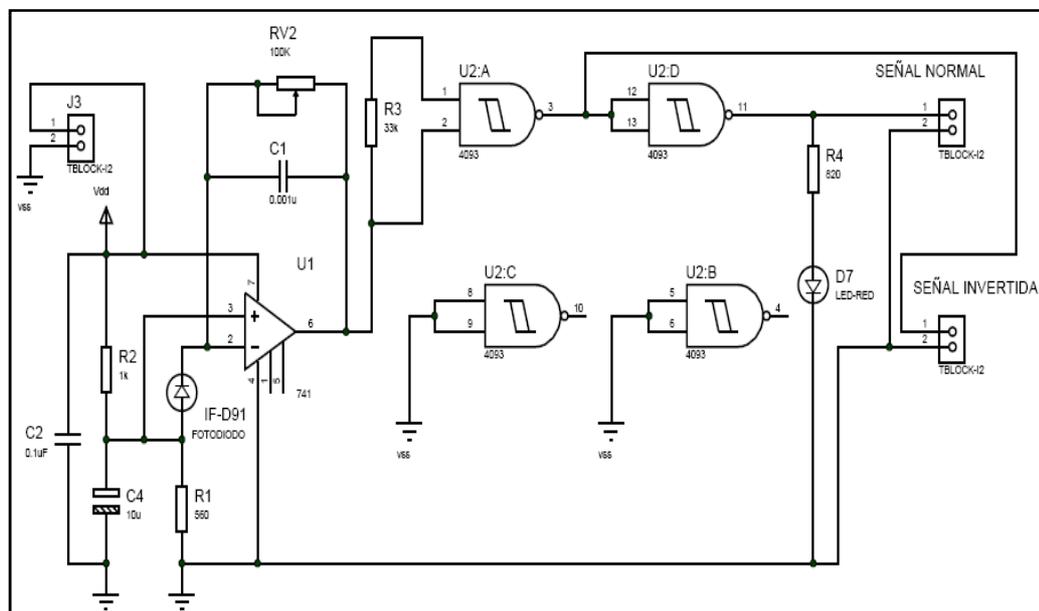
$$R_3 = \frac{1}{6.66426 \times 10^{-5}} = 15 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = \frac{a_1}{4\pi \cdot f_0 \cdot C \cdot b_1} = \frac{1.4142}{4\pi(300\text{Hz})(5 \times 10^{-8})(1.0)}$$

$$R_4 = \frac{1.4142}{1.8849 \times 10^{-4}} = 7.5 \text{ K}\Omega$$

## ANEXO # 2 - DISEÑO DEL CIRCUITO DETECTOR

En lo que respecta al circuito detector, debemos tomar en cuenta conceptos muy importantes del fotodiodo para realizar un amplificador adecuado para dicho componente.



A 2.1 Detector de fibra óptica por medio de fotodiodo

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

El amplificador operacional LM741 esta configurado de tal manera que se comporte como un amplificador de transimpedancia, lo que quiere decir que las pequeñas corrientes que circulan por el fotodiodo son convertidas a valores de voltaje utilizables, los mismos que se encuentran presentes en el pin 6 del Operacional en mención.

### **Limites de estabilidad:**

Los valores recomendados de RV2 están comprendidos dentro de un rango que puede ir desde 0.1 MΩ hasta decenas de MΩ, en nuestro caso empleamos un potenciómetro de 100 KΩ ya que es un valor comercial.

Para determinar el valor del condensador C1 debemos emplear la expresión matemática Ec. A7 y tener presente que el valor de su magnitud tiene que ser mayor al encontrado en dicha expresión.

$$C_{rim} = \frac{1}{4\pi(RV2)B} (1 + \sqrt{1 + 8\pi(RV2)(C1)B}) \quad (Ec. A7)$$

Condición:  $C_1 > C_{rim}$

$$f_c = \frac{1}{2\pi(RV2)(C_1)} \quad (Ec. A8)$$

$$C_{rim} = \frac{1}{4\pi(100 \times 10^3)1 \times 10^6} \left( 1 + \sqrt{1 + 8\pi(100 \times 10^3)(0.1 \times 10^{-6})(1 \times 10^6)} \right)$$

$$C_{r_{lim}} = 7.96 \times 10^{-3} (251329.4)$$

$$C_{r_{lim}} = 2.0 \times 10^{-7} = 200 \text{ nF}$$

$$C_1 > 200 \text{ nF}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi(100 \times 10^3)(0.01 \times 10^{-6})} = 159.15 \text{ Hz}$$

Para conocer el comportamiento del demodulador debemos hacer un análisis en presencia de luz y sin ella y sus respectivos valores de voltaje, en ausencia de luz en el fotodiodo no existe corriente alguna circulando a través de este componente, el voltaje que encontramos en el pin 3 del Opamp LM741 esta dado por la Ec. A9.

$$V_{pin\ 3} = \frac{R_1 \cdot (V_{cc})}{R_2 + R_1} \quad (\text{Ec. A9})$$

$$V_{pin\ 3} = \frac{560 \cdot (+5V)}{1000 + 560} = 1.79 \text{ V}$$

Además debemos mencionar que el pin 2 y el pin 6, se encuentra al mismo nivel de tensión, la situación cambia cuando existe presencia de luz en el

fotodiodo, la acumulación de electrones en el pin 2 causa que el voltaje allí sea más negativo (menos positivo) que la tensión presente en el pin 3, el voltaje en la salida del Opamp esta dado por la siguiente ecuación A10:

$$V_{pin\ 3} = \frac{R_1 \cdot (V_{cc})}{R_2 + R_1} + I_{fotodiodo} * R_{V2} \quad (Ec. A10)$$

De acuerdo a la ecuación anterior podemos notar que en presencia de cambios en el valor de RV2 existen cambios proporcionales en la salida del operacional.

### ANEXO # 3 - DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA DE RUIDO Y DE DISPARO DEL SISTEMA ÓPTICO

El sistema desarrollado en esta tesina se encuentra conformado de un led para fibra óptica de 200 uW (0.2 mW)@650 nm una fibra de 0.19dB/m de perdida, un fotodiodo como detector cuya  $\mathcal{R} = .2 \frac{\mu A}{\mu W}$ , este detector tiene  $I_d=60nA$  (0.00006 mA), asumimos una resistencia  $R_L= 50\Omega$ , el ancho de banda del receptor es de 1 MHz, considerando una temperatura de 25°C (298°K) y que las pérdidas del sistema son 1.6 dB debido a un acople por conectores y 1 dB por empalmes.

A partir de estos datos podemos calcular la potencia óptica recibida y corriente detectada, potencia señal, Ruido, SRN.

$$Perdida\ Total = L = 0.19 + 1.6 + 1 = 2.79\ dB$$

$$Potencia\ LED \Leftrightarrow P_{Tx} = 0.2mw \Leftrightarrow 0.2dB$$

$$P_{RX\ dB} = P_{Tx} - L = 2.79 - 0.2 = 2.59\ dBm$$

$$P_{RX} = 10^{2.59} = 1.816\ mw = 1816\ uW$$

*Fotocorriente:*

$$I_{ph} = \mathcal{R} \cdot P_{RX} = \frac{0.2 \mu A}{\mu W} * 1816 \mu W = 363.2 \mu A$$

Vemos que  $I_{ph} \gg \gg I_d$

Potencia Eléctrica de Carga  $R_L$

$$P_s = (I_{ph}^2)(R_L) = 6.56 \mu W = 6.56 \times 10^{-6} W$$

**Potencia de Disparo**

$$P_{ns} = 2e\beta(I_{ph} + I_d)R_L ;$$

$I_d = 0$  debido a que  $I_{ph} \gg \gg I_d$

*e: carga del Electrón*

$$P_{ns} = 2 * e * \beta * I_{ph} * R_L$$

$$P_{ns} = 2(1.6 * 10^{-19})(1 * 10^6)(363.2 * 10^{-6})(50) = 5.81 \times 10^{-15} W$$

El ruido de disparo es un ruido electrónico, el mismo que tiene origen cuando el número de partículas que transportan energía es pequeño, lo que da lugar a fluctuaciones, a niveles mayores de corriente eléctrica o de intensidad luminosa, mayor es el nivel de este tipo de ruido.

En el campo de las telecomunicaciones, este tipo de ruido es un problema cuando se trabaja con intensidades luminosas bajas o niveles de corriente bajos.

### **Potencia de Ruido Térmico**

$\kappa$ : constante de Boltzman

$$P_{nt} = 4 * \kappa * T * \beta = 4(1.38 * 10^{-23})(298^0\kappa)(1 * 10^6) = 1.64x10^{-14}W$$

Si nos damos cuenta que  $P_{nt} \gg \gg P_{ns}$  (Limitada por ruido térmico)

$$SNR = \frac{(Iph^2)(R_L)}{4 * \kappa_B * T * \beta} = \frac{6.56x10^{-6}W}{1.64 * 10^{-14}W} = 400x10^6$$

$$SNR_{dB} = 10 * \log 400x10^6 = 86.02 dB$$

$$SNR = \frac{Iph}{2 * e * \beta} = \frac{363.2 * 10^{-6}A}{2 * (1.6 * 10^{-19})(1 * 10^6)} = 1.135x10^9 \Rightarrow 90.5 dB$$

Debemos estar conscientes que el ruido térmico se encuentra en todos los sistemas de comunicaciones ya sean estos que incluyan circuitos electrónicos o circuitos eléctricos, se origina básicamente del movimiento aleatorio de los electrones libres en el semiconductor.

#### ANEXO # 4 - DATOS DEL CONVERTIDOR ANALÓGICO-DIGITAL

Revisando las características del microcontrolador de gama media alta como es el 16F887, en lo que respecta a conversión analógica a digital tenemos los siguientes datos característicos:

Para obtener la conversión de manera satisfactoria se requiere de al menos 12 TAD, por lo tanto tenemos:

$$\text{tiempo de adquisición típico} = 4 \text{ us}$$

$$\text{Periodo de muestreo} = 48 \text{ us}$$

$$\text{Frecuencia de muestreo} = \frac{1}{\text{periodo de muestreo}}$$

$$\text{Frecuencia de muestreo} = \frac{1}{48 \text{ us}} = 20,833.3 \text{ Hz}$$

Si recordamos el teorema de Nyquist, debemos cumplir que:

$$f_{\text{señal}} > 2f_{\text{muestreo}}$$

$$f_{\text{señal}} > 2(20,833.3)$$

$$\therefore f_{\text{señal}} > 41,666.7 \text{ Hz}$$

Conociendo que la voz humana comprende frecuencias entre 0 y 4000 Hz. Calculamos la tasa de muestreo y la tasa de bits, considerando 8 bits por muestra.

$$Tasa\ de\ muestreo = 4000 \times 2 = 8000 \frac{muestras}{segundo}$$

*Tasa de bits = Tasa de muestreo x número de bits por muestra*

$$Tasa\ de\ bits = 8000 \times 8 = 64000 \frac{bits}{s} = 64\ Kbps$$

## ANEXO # 5 - LISTA DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

A continuación presentamos la lista de materiales que se utilizó para la implementación del proyecto, su respectiva cantidad y su precio.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	\$ PRECIO UNIT.	\$ TOTAL
Regulador LM7912	1	0.60	0.60
Regulador LM7812	1	0.75	0.75
Regulador LM7805	1	0.75	0.75
Regulador LM7905	1	0.40	0.40
Cond. 470uF / 25V	6	0.10	0.60
Diodo rectific.1N4004	5	0.07	0.28
Cond. cerám. 100nF	5	0.10	0.50
Bornera de 2 in/out	4	0.10	0.40
Bornera de 3 in/out	1	0.10	0.10
Transf. 12V-0-12V	1	7.00	7.00
PIC 16F887	2	4.70	9.40
DB09 macho	2	0.40	0.80
Pulsador N.A	2	0.10	0.20
Bornera de 2 pines	34	0.10	3.40
Cond. 1uF/25V	8	0.10	0.80

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>\$ PRECIO UNIT.</b>	<b>\$ TOTAL</b>
Cond. cerám. 0.1uF	2	0.10	0.20
Resistencia 5KΩ	2	0.07	0.14
Resistencia 1KΩ	1	0.05	0.05
Opamp LM741	3	0.20	0.60
Bornera 2 in/out	6	0.10	0.60
Transistor 2N3904	1	0.05	0.05
Bornera de 2 in/out	2	0.10	0.20
Resist. ½ W 100Ω	1	0.05	0.05
LED IF-E96	1	4.90	4.90
C.I. CD4093	2	0.60	1.20
MAX232	2	0.90	1.80
DAC 0808	1	5.30	5.30
Resist. ½ W 10kΩ	1	0.05	0.05
Resist. ½ W 15kΩ	2	0.05	0.10
Resist. ½ W 7.5kΩ	3	0.05	0.15
Cond. Cer. 0.05uF	1	0.10	0.10
Cond. Cer. 0.01uF	1	0.10	0.10
Cond. Cer. 0.005uF	1	0.10	0.10
Bornera de 2 in/out	2	0.10	0.20
LM386	1	0.70	0.70

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>\$ PRECIO UNIT.</b>	<b>\$ TOTAL</b>
Potenciometro10kΩ	1	0.30	030
Resist. ½ W 1kΩ	2	0.05	0.10
Cond. 10uF/25V	1	0.10	0.10
Cond. 220uF/25V	1	0.15	0.15
Bornera de 2 in/out	3	0.10	0.30
Cond. Cer. 100nF	1	0.10	0.10
MFOD71	1	4.70	4.70
Led Rojo	1	0.05	0.05
Resist. 1/2 W 1kΩ	1	0.05	0.05
Resist. 1/2 W 33kΩ	1	0.05	0.05
Potenciómetro 10kΩ	1	0.30	0.30
Cond. Cer. 0.001uF	1	0.10	0.10
Cond. Cer. 0.1uF	1	0.10	0.10
Resist. 1/2 W 560Ω	1	0.05	0.05
Resist. 1/2 W 820Ω	1	0.05	0.05
Bornera de 3 pines	2	0.10	0.20

## ANEXO # 6 DATASHEET DE LOS COMPONENTES MAS RELEVANTES

### Plastic Fiber Optic Red LED

**IF-E96**



#### DESCRIPTION

The IF-E96 is a low cost, high speed, visible red LED housed in a "connector-less" style plastic fiber optic package. The output spectrum is produced by a GaAlAs die which peaks at 660 nm, one of the optimal transmission windows of PMMA plastic optical fiber. The device package features an internal micro-lens, and a precision molded PBT housing to maximize optical coupling into standard 1000  $\mu\text{m}$  core plastic fiber cable.

#### APPLICATION HIGHLIGHTS

The performance/price ratio of the IF-E96 is particularly attractive for high volume design applications. The visible red output has low attenuation in PMMA plastic fiber and aids in troubleshooting installations. When used with an IF-D96 photologic detector the IF-E96 can achieve data rates of 5 Mbps. Fast transition times and low attenuation makes the IF-E96 an excellent device selection for low cost analog and digital data links up to 75 meters.

#### APPLICATIONS

- ▶ Low cost Analog and Digital Data Links
- ▶ Automotive Electronics
- ▶ Digitized Audio
- ▶ Medical Instruments
- ▶ PC-to-Peripheral Data Links
- ▶ Robotics Communications
- ▶ Motor Controller Triggering
- ▶ EMC/EMI Signal Isolation
- ▶ Local Area Networks
- ▶ Intra-System Links: Board-to-Board, Rack-to-Rack

#### FEATURES

- ◆ High Performance at Low Cost
- ◆ Visible Red Output Aids Troubleshooting
- ◆ Low Transmission Loss with PMMA Plastic Fiber
- ◆ Fast Transition Times
- ◆ Mates with standard 1000  $\mu\text{m}$  core jacketed plastic fiber cable
- ◆ No Optical Design required
- ◆ Internal Micro-Lens for Efficient Optical Coupling
- ◆ Inexpensive Plastic Connector Housing
- ◆ Connector-Less Fiber Termination
- ◆ Light Tight Housing Provides Interference-Free Transmission

#### MAXIMUM RATINGS

( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )

Operating and Storage Temperature Range ( $T_{OP}$ , $T_{STG}$ )	-40° to 85°C
Junction Temperature ( $T_J$ )	85°C
Soldering Temperature (2 mm from case bottom) ( $T_S$ ) $t \leq 5$ s	240°C
Reverse Voltage ( $V_R$ )	.5 V
Power Dissipation ( $P_{TOT}$ ) $T_A = 25^\circ\text{C}$	.60 mW
De-rate Above 25°C	1.1 mW/°C
Forward Current, DC ( $I_F$ )	35 mA
Surge Current ( $I_{FSM}$ ) $t \leq 10 \mu\text{s}$	150 mA

#### CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )

Parameter	Symbol	IF-E96	Unit
Peak Wavelength	$\lambda_{PEAK}$	660	nm
Spectral Bandwidth (50% of $I_{MAX}$ )	$\Delta\lambda$	20	nm
Output Power Coupled into Plastic Fiber (1 mm core diameter). Distance Lens to Fiber $\leq 0.1$ mm, 10 cm polished fiber $I_F = 20$ mA	$\Phi_{min}$	>50 -13	$\mu\text{W}$ dBm
Switching Times (10% to 90% and 90% to 10%) ( $R_L = 47 \Omega$ , $I_F = 10$ mA)	$t_r$ , $t_f$	.1	$\mu\text{s}$
Capacitance ( $V_F = 0$ , $F = 1$ MHz)	$C_0$	30	pF
Forward Voltage ( $I_F = 50$ mA)	$V_F$	1.8 max	V
Temperature Coefficient, $\lambda_{PEAK}$	$TC_\lambda$	.2	nm/K

## Fiber Optics — FLCS Family Photo Detector Diode Output

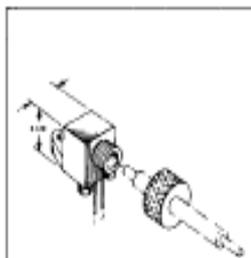
**MFOD71**

**FLCS FAMILY  
 FIBER OPTICS  
 PHOTO DETECTOR  
 DIODE OUTPUT**

... designed for low cost, short distance Fiber Optic Systems using 1000 micron core plastic fiber.

Typical applications include: high isolation interconnects, disposable medical electronics, consumer products, and microprocessor controlled systems such as coin operated machines, copy machines, electronic games, industrial clothes dryers, etc.

- Fast PIN Photodiode: Response Time <5 ns
- Ideally Matched to MFOE76 Emitter for Plastic Fiber Systems
- Annular Passivated Structure for Stability and Reliability
- FLCS Package
  - Includes Connector
  - Simple Fiber Termination and Connection (Figure 4)
  - Easy Board Mounting
  - Molded Lens for Efficient Coupling
  - Mates with 1000 Micron Core Plastic Fiber (Eska SH4001)



**CASE 3638-01  
 PLASTIC**

**MAXIMUM RATINGS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	$V_R$	100	Volts
Total Power Dissipation ( $\text{at } T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$ )	$P_D$	150 2	mW mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-40 to +100	°C

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Dark Current ( $V_R = 20\text{ V}, R_L = 1\text{ M}\Omega$ ) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 85^\circ\text{C}$	$I_D$	— —	0.05 10	10 —	nA
Reverse Breakdown Voltage ( $I_R = 10\ \mu\text{A}$ )	$V_{(BR)R}$	50	100	—	Volts
Forward Voltage ( $I_F = 50\text{ mA}$ )	$V_F$	—	—	1.1	Volts
Series Resistance ( $I_F = 50\text{ mA}$ )	$R_S$	—	8	—	Ohms
Total Capacitance ( $V_R = 20\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$ )	$C_T$	—	3	—	pF

**OPTICAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )

Responsivity ( $V_R = 5\text{ V}$ , Figure 2)	$R$	0.15	0.2	—	$\mu\text{A}/\mu\text{W}$
Response Time ( $V_R = 5\text{ V}, R_L = 50\ \Omega$ )	$t_{(resp)}$	—	5	—	ns

# CD4093BC

## Quad 2-Input NAND Schmitt Trigger

### General Description

The CD4093B consists of four Schmitt-trigger circuits. Each circuit functions as a 2-input NAND gate with Schmitt-trigger action on both inputs. The gate switches at different points for positive and negative-going signals. The difference between the positive ( $V_T^+$ ) and the negative voltage ( $V_T^-$ ) is defined as hysteresis voltage ( $V_H$ ).

All outputs have equal source and sink currents and conform to standard B-series output drive (see Static Electrical Characteristics).

### Features

- Wide supply voltage range: 3.0V to 15V
- Schmitt-trigger on each input with no external components
- Noise immunity greater than 50%

- Equal source and sink currents
- No limit on input rise and fall time
- Standard B-series output drive
- Hysteresis voltage (any input)  $T_A = 25^\circ\text{C}$

Typical	$V_{DD} = 5.0\text{V}$	$V_H = 1.5\text{V}$
	$V_{DD} = 10\text{V}$	$V_H = 2.2\text{V}$
	$V_{DD} = 15\text{V}$	$V_H = 2.7\text{V}$
Guaranteed		$V_H = 0.1 V_{DD}$

### Applications

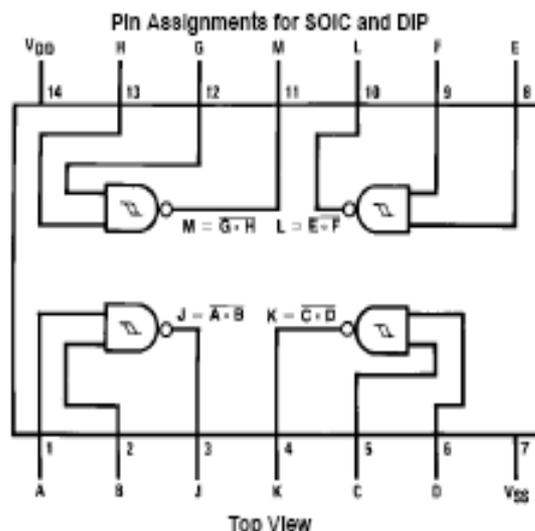
- Wave and pulse shapers
- High-noise-environment systems
- Monostable multivibrators
- Astable multivibrators
- NAND logic

### Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
CD4093BCM	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150" Narrow Body
CD4093BCN	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

### Connection Diagram



# LM386

## Low Voltage Audio Power Amplifier

### General Description

The LM386 is a power amplifier designed for use in low voltage consumer applications. The gain is internally set to 20 to keep external part count low, but the addition of an external resistor and capacitor between pins 1 and 8 will increase the gain to any value from 20 to 200.

The inputs are ground referenced while the output automatically biases to one-half the supply voltage. The quiescent power drain is only 24 milliwatts when operating from a 6 volt supply, making the LM386 ideal for battery operation.

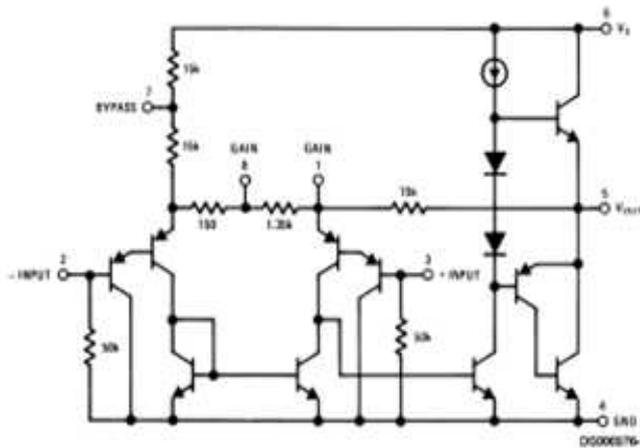
### Features

- Battery operation
- Minimum external parts
- Wide supply voltage range: 4V–12V or 5V–18V
- Low quiescent current drain: 4mA
- Voltage gains from 20 to 200
- Ground referenced input
- Self-centering output quiescent voltage
- Low distortion: 0.2% ( $A_V = 20$ ,  $V_S = 6V$ ,  $R_L = 8\Omega$ ,  $P_O = 125mW$ ,  $f = 1kHz$ )
- Available in 8 pin MSOP package

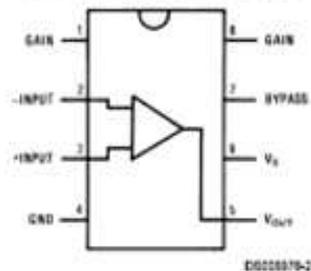
### Applications

- AM-FM radio amplifiers
- Portable tape player amplifiers
- Intercoms
- TV sound systems
- Line drivers
- Ultrasonic drivers
- Small servo drivers
- Power converters

## Equivalent Schematic and Connection Diagrams



Small Outline,  
Molded Mini Small Outline,  
and Dual-In-Line Packages



Top View  
Order Number LM386M-1,  
LM386MM-1, LM386N-1,  
LM386N-3 or LM386N-4  
See NS Package Number  
M08A, MUA08A or N08E

## ANEXOS# 7 SECCIÓN DE CÓDIGOS EN LENGUAJE C

### CÓDIGO DEL CONVERTIDOR ANALÓGICO-DIGITAL

```
/*  
* Nombre del Proyecto:  
CONVERSIÓN DE UN SEÑAL ANALÓGICA A DIGITAL  
  
* Nombre de los Autores:  
César Sánchez  
Felipe Zúñiga  
  
* Descripción:  
El programa consiste en la digitalización de la señal de entrada, mostrar su valor  
digitalizado en el Puerto B conectando para ello unos leds en dicho puerto.  
  
Test configuration:  
MCU: PIC16F887  
Oscillator: HS, 08.0000 MHz  
SW: mikroC PRO for PIC  
  
*/  
int i;  
  
// Conexiones del modulo LCD  
sbit LCD_RS at RB4_bit;  
sbit LCD_EN at RB5_bit;  
sbit LCD_D4 at RB0_bit;  
sbit LCD_D5 at RB1_bit;  
sbit LCD_D6 at RB2_bit;  
sbit LCD_D7 at RB3_bit;  
sbit LCD_RS_Direction at TRISB4_bit;  
sbit LCD_EN_Direction at TRISB5_bit;  
sbit LCD_D4_Direction at TRISB0_bit;  
sbit LCD_D5_Direction at TRISB1_bit;  
sbit LCD_D6_Direction at TRISB2_bit;  
sbit LCD_D7_Direction at TRISB3_bit;  
// Final de las conexiones del módulo LCD  
  
// Declarar variables  
Unsigned int temp_res;  
char *pro="PROYECTO TESINA";  
char *tes="COMUNIC. OPTICA";  
char *alum="CESAR SANCHEZ";  
char *alum2="FELIPE ZUNIGA";
```

```

unsigned cont=1;
unsigned int bytele;

void main() {
    INTCON = 0;           //Todas las interrupciones deshabilitadas
    ANSEL = 0x04;
    TRISA = 0x04;        //Pins AN2 se configura como entrada
    ANSELH = 0;         // Rest of pins is configured as digital
    TRISB = 0;          // Port B pins RB7 and RB6 are configured as
                        // outputs

    PORTB=0;
    TRISA = 0xFF;       // Todos los pines del puerto PORTA se configuran
                        // como entradas

    TRISD = 0;         // All port D pins are configured as outputs
    ADCON1 = 0x80;     // Voltaje de referencia para la conversión A/D es VCC
    Lcd_Init();        // Inicialización del visualizador LCD
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);           // Comando LCD (borrar el LCD)
    Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);     // Comando LCD (apagar el cursor)
    Lcd_Out(1,2,pro);
    Lcd_Out(2,2,tes);
    Delay_ms(500);
    for(i=0; i<14; i++) {
        Lcd_Cmd(_LCD_SHIFT_RIGHT);
        Delay_ms(100);
    }
    for(i=0; i<14; i++) {
        Lcd_Cmd(_LCD_SHIFT_LEFT);
        Delay_ms(100);
    }
    Delay_ms(300);
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
    Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);
    Lcd_Out(1,3,alum);
    Lcd_Out(2,3,alum2);
    Lcd_Cmd(_LCD_TURN_OFF);
    Delay_ms(225);
    Lcd_Cmd(_LCD_TURN_ON);
    Delay_ms(225);
    Lcd_Cmd(_LCD_TURN_OFF);
    Delay_ms(225);
    Lcd_Cmd(_LCD_TURN_ON);
    Delay_ms(225);
    Lcd_Cmd(_LCD_TURN_OFF);
    Delay_ms(225);
    Lcd_Cmd(_LCD_TURN_ON);
    Delay_ms(225);
}

```

```

while(cont>0) {

temp_res = ADC_Read (2);
bytele=temp_res>>2;          // Result of A/D conversion is copied to
                              // temp_res
PORTD= bytele ;             // and discard 2 LS

} //fin de lazo
}

```

## **CÓDIGO DEL TRANSMISOR (COMUNICACIÓN SERIAL)**

```

/*
* Nombre del Proyecto:
CONVERSION DE UN SEÑAL ANALÓGICA A DIGITAL Y COMUNICACIÓN
SERIAL

* Nombre de los Autores:
César Sánchez
Felipe Zúñiga
* Descripción:
El programa consiste en convertir una señal analógica en digital y su valor escribirlo
en el UART y transmitirlo para lograr una comunicación serial.
Test configuration:
MCU:          PIC16F887
Oscillator:   HS, 08.0000 MHz
SW:          mikroC PRO for PIC
*/
int i;
// conexiones del modulo LCD
sbit LCD_RS at RB4_bit;
sbit LCD_EN at RB5_bit;
sbit LCD_D4 at RB0_bit;
sbit LCD_D5 at RB1_bit;
sbit LCD_D6 at RB2_bit;
sbit LCD_D7 at RB3_bit;
sbit LCD_RS_Direction at TRISB4_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISB5_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISB0_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISB1_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISB2_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISB3_bit;

// Final de las conexiones del módulo LCD

```

```

// Declarar variables
unsigned int temp_res;
char *pro="PROYECTO TESINA";
char *tes="COMUNIC. OPTICA";
char *alum="CESAR SANCHEZ";
char *alum2="FELIPE ZUNIGA";
unsigned cont=1;
unsigned int bytele;

void main() {
    INTCON = 0;           // Todas las interrupciones deshabilitadas
    ANSEL = 0x04;        // Pins AN2 is configured as analog
    TRISA = 0x04;        // Pins AN2 se configura como entrada
    ANSELH = 0;          // Rest of pins is configured as digital
    TRISB = 0;           // Port B pins RB7 and RB6 are configured as
                        // outputs

    PORTB=0;
    TRISA = 0xFF;        // Todos los pines del puerto PORTA se configuran
                        // como entradas

    TRISD = 0;           // All port D pins are configured as outputs
    ADCON1 = 0x80;       // Voltaje de referencia para la conversión A/D es VCC
    UART1_Init(4800);

    Lcd_Init();          // Inicialización del visualizador LCD
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // Comando LCD (borrar el LCD)
    Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); // Comando LCD (apagar el cursor)
    Lcd_Out(1,2,pro);
    Lcd_Out(2,2,tes);
    Delay_ms(500);
    for(i=0; i<14; i++) {
        Lcd_Cmd(_LCD_SHIFT_RIGHT);
        Delay_ms(100);
    }
    for(i=0; i<14; i++) {
        Lcd_Cmd(_LCD_SHIFT_LEFT);
        Delay_ms(100);
    }
    Delay_ms(300);
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
    Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);
    Lcd_Out(1,3,alum);
    Lcd_Out(2,3,alum2);
    Lcd_Cmd(_LCD_TURN_OFF);
    Delay_ms(225);
    Lcd_Cmd(_LCD_TURN_ON);
    Delay_ms(225);
}

```

```

Lcd_Cmd(_LCD_TURN_OFF);
Delay_ms(225);
Lcd_Cmd(_LCD_TURN_ON);

Delay_ms(225);
Lcd_Cmd(_LCD_TURN_OFF);
Delay_ms(225);
Lcd_Cmd(_LCD_TURN_ON);
Delay_ms(225);
while(cont>0) {
temp_res = ADC_Read(2);
bytele=temp_res>>2;           // Result of A/D conversion is copied to
                               // temp_res
    UART1_Write(bytele);     // and discard 2 LS
}                               //fin de lazo
}

```

## CÓDIGO DEL RECEPTOR (COMUNICACIÓN SERIAL)

```

/*
* Nombre del Proyecto:
    RECEPTOR
* Nombre del Autor:
* Descripción:
El programa consiste en esperar por el dato enviado, una vez recibido lo mostramos
en el PORTD, el microcontrolador se comporta como esclavo.
* Test configuration:
    MCU:      PIC16F887
    Oscillator:  HS, 08.0000 MHz
    SW:       mikroC PRO for PIC
*/
unsigned short i;

```

```
void main() {
    ANSEL = 0;           // Configure AN pins as digital I/O
    ANSELH = 0;
    PORTB = 0;
    TRISB = 0;
    TRISD = 0;         // All port D pins are configured as outputs
    UART1_Init(4800);  // Initialize USART module
                       // (8 bit, 4800 baud rate, no parity bit...)

    while (1) {
        if (UART1_Data_Ready()) { // If data has been received
            i = UART1_Read();      // read it
            PORTD = i;
        }
    }
}
```

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] DAGAN IBRAHIM Advanced Pic Microcontroller Projects in C, Elsevier, United States of America 2008.
- [2] SENIOR, JOHN M., Optical Fiber Communications, Prentice Hall International, London 1985.
- [3] GOVIND P. AGRAWAL, Fiber-Optic Communication Systems, John Wiley& Sons, New York 2002.
- [4] JOSE E. BRICEÑO MARQUEZ, Principios de las Comunicaciones, Publicaciones de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de los Andes, Mérida2005.
- [5] HARRYJ.R.DUTTON, Understanding Optical Communications, Editorial International Business Machines Corporation 1998.
- [6] GERD KEISER, Optical Fiber Communications, Editorial McGraw-Hill, Inc., Singapore 1991.

- [7] ANTONIO PERTENCE JUNIOR, Amplificadores Operacionales y Filtros Activos, McGraw-Hill, Madrid 1998
- [8] PEYTON Z. PEEBLES, JR, Ph.D, Digital Communication Systems, Prentice-Hall International, USA 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, Mc Graw Hill, New York 2002.

- [13] MICROCHIP, PIC 16F882/883/884/886/887 Data Sheet, <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/PPS02/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., Mc Graw 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, Mc Graw 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, ESCUELA 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 de 2012