





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS" ZACATENCO



---

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CIRCUITO PROTOTIPO  
DE RECEPCIÓN  
ÓPTICA PARA CUBESATS”

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

PRESENTAN:

REBECA BRENDA BARRERA MUÑOZ  
ERICK ALBERTO ROSAS CRUZ

ASESORES:

DR. ISAAC MEDINA SÁNCHEZ  
ING. ISMAEL GABRIEL COSME CISNEROS  
ING. HUGO JORGE MACÍAS PALACIOS

CIUDAD DE MÉXICO, MAYO DE 2019

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**  
**UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”**

**TEMA DE TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN  
DEBERA (N) DESARROLLAR

INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA  
TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL  
C. ERICK ALBERTO ROSAS CRUZ  
C. REBECA BRENDA BARRERA MUÑOZ

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CIRCUITO PROTOTIPO DE RECEPCIÓN ÓPTICA PARA CUBESATS”**

DISEÑAR UN PROTOTIPO DE DISPOSITIVO RECEPTOR ÓPTICO, CON LA FINALIDAD DE AUMENTAR LA TASA DE DATOS OBTENIDA ACTUALMENTE POR SISTEMAS DE COMUNICACIÓN RF UTILIZANDO UNA INTERFAZ ÓPTICA PARA NANO-SATELITES ENTRE ESTACIÓN TERRENA Y CubeSat.

- ❖ PRECEDENTES
- ❖ TRANSMISIÓN ÓPTICA POR ESPACIO LIBRE
- ❖ ANÁLISIS DE ELEMENTOS A UTILIZAR
- ❖ ANÁLISIS DE RESULTADOS
- ❖ CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

CIUDAD DE MÉXICO, A 03 DE MAYO DEL 2019.

**ASESORES**



ING. ISMAEL GABRIEL COSME CISNEROS



DR. ISAAC MEDINA SÁNCHEZ



ING. HUGO JORGE MACÍAS PALACIOS



ING. GABRIEL VEGA REYES  
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE  
INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA



Instituto Politécnico Nacional  
Presente

Bajo protesta de decir la verdad los que suscriben **Erick Alberto Rosas Cruz y Rebeca Brenda Barrera Muñoz**, manifestamos ser autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada “**Diseño y construcción de circuito prototipo de recepción óptica para CUBESATS**”, en adelante “**La Tesis**” y de la cual se adjunta copia, un impreso y un disco, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgamos al **Instituto Politécnico Nacional**, en adelante **EL IPN**, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales o en cualquier otro medio; consulta de “**La Tesis**” por un periodo de **3 años** contando a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a **EL IPN** de su terminación.

En virtud de lo anterior, **EL IPN** deberá reconocer en todo momento nuestra calidad de autores de “**La Tesis**”.

Adicionalmente, y en nuestra calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de “**La Tesis**”, manifestamos que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por los suscritos respecto de “**La Tesis**”, por lo que deslindamos de toda responsabilidad a **EL IPN** en caso de que el contenido de “**La Tesis**” o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumimos las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

• Ciudad de México a 09 de Agosto de 2019

Atentamente

  
Erick Alberto Rosas Cruz

  
Rebeca Brenda Barrera Muñoz

# Contenido

|  |     |
|--|-----|
| Contenido.....   | i   |
| Tabla de figuras.....  | iii |
| Introducción .....   | v   |
| Justificación .....  | vi  |
| Objetivos .....  | vii |
| Capítulo 1 .....   | 1   |
| <b>Precedentes</b> .....                                       | 1   |
| <b>1.1 Satélites</b> .....                                     | 2   |
| <b>1.2 Bandas satelitales de comunicación por RF</b> .....     | 2   |
| <b>1.2.1 Utilizaciones típicas</b> .....                       | 4   |
| <b>1.3 Órbitas Satelitales</b> .....                           | 4   |
| <b>1.3.1 Órbita baja (LEO)</b> .....                           | 5   |
| <b>1.3.2 Órbita Media (MEO)</b> .....                          | 5   |
| <b>1.3.3 Órbita Geoestacionaria (GEO)</b> .....                | 5   |
| <b>1.3.4 Órbita altamente elíptica (HEO)</b> .....             | 5   |
| <b>1.4 Clasificación de Satélites</b> .....                    | 6   |
| <b>1.5 CubeSat</b> .....                                       | 7   |
| <b>1.5.1 Requisitos básicos del CubeSat</b> .....              | 8   |
| <b>1.6 Subsistemas satelitales</b> .....                       | 9   |
| <b>1.6.1 Subsistema de energía eléctrica</b> .....             | 10  |
| <b>1.6.2 Subsistema de control térmico</b> .....               | 10  |
| <b>1.6.3 Subsistema de posicionamiento y orientación</b> ..... | 10  |
| <b>1.6.4 Subsistema de rastreo, telemetría y comando</b> ..... | 10  |
| <b>1.6.5 Subsistema estructural</b> .....                      | 10  |
| <b>1.6.6 Estación Terrena</b> .....                            | 11  |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| 1.6.7      | Subsistemas de comunicación actual.....           | 11 |
| Capítulo 2 | .....   | 13 |
|            | <b>Transmisión óptica por espacio libre</b> ..... | 13 |
| 2.1        | Comunicaciones ópticas .....                      | 13 |
| 2.1.1      | Transmisor, receptor y medio de transmisión ..... | 14 |
| 2.2        | Conceptos básicos de la operación .....           | 15 |
| 2.2.1      | Láser .....                                       | 15 |
| 2.3        | Modulación y Demodulación .....                   | 16 |
| 2.4        | El fotodiodo P-I-N .....                          | 17 |
| 2.5        | Amplificador operacional .....                    | 18 |
| 2.5.1      | Modos de señal de entrada .....                   | 19 |
| 2.6        | Misiones exitosas .....                           | 20 |
| Capítulo 3 | .....   | 21 |
|            | <b>Análisis de elementos a utilizar</b> .....     | 21 |
| 3.1        | Tarjeta circuito impreso .....                    | 22 |
| 3.2        | Modulación digital .....                          | 22 |
| 3.3        | Circuito de Transimpedancia .....                 | 24 |
| 3.3.1      | Elección de fotodiodo .....                       | 25 |
| 3.4        | Amplificador no inversor .....                    | 26 |
| 3.5        | Programación del Microcontrolador .....           | 27 |
| 3.6        | Lenguaje C .....                                  | 27 |
| 3.6.1      | Desarrollo de programas en el lenguaje C .....    | 28 |
| 3.7        | Display LCD .....                                 | 29 |
| Capítulo 4 | .....   | 31 |
|            | <b>Análisis de resultados</b> .....               | 31 |
| 4.1        | Pruebas de laboratorio .....                      | 32 |
| 4.2        | Programación .....                                | 34 |
| 4.2.1      | Diagrama de flujo .....                           | 35 |
| 4.2.2      | Visualización en LCD .....                        | 45 |
| 4.3        | Diseño y Elaboración de PCB .....                 | 47 |

|   |    |
|---|----|
| <b>4.3.1 Puerto de programación</b> .....     | 47 |
| <b>4.3.2 Esquemático</b> .....                | 47 |
| <b>4.3.3 Diseño de PCB</b> .....              | 49 |
| <b>4.3.4 Elaboración de PCB</b> .....         | 50 |
| Capítulo 5 .....                              | 51 |
| <b>Conclusiones y trabajos a futuro</b> ..... | 51 |
| <b>5.1 Conclusiones</b> .....                 | 52 |
| <b>5.2 Trabajos a futuro</b> .....            | 52 |
| Anexos.....                                   | 53 |
| <b>Anexo 1</b> .....                          | 53 |
| <b>Anexo 2 Código ASCII</b> .....             | 67 |
| <b>Anexo 3 Tabla de costos</b> .....          | 68 |
| Referencias.....                              | 69 |

# Tabla de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1-1 Órbitas satelitales .....                                   | 6  |
| Figura 1-2 Clasificación de satélites por su tamaño .....              | 6  |
| Figura 1-3 a) CubeSat Físico de 1U. b) Segmentación del CubeSat .....  | 8  |
| Figura 1-4 Estación terrena móvil [23] .....                           | 11 |
| Figura 2-1 Diodo Láser TO-56 .....                                     | 16 |
| Figura 2-2 Estructura del diodo pin .....                              | 18 |
| Figura 2-3 Representación interna de un amplificador operacional.....  | 18 |
| Figura 2-4 Entradas de un amplificador operacional.....                | 19 |
| Figura 3-1 Visualización de modulaciones a utilizar .....              | 24 |
| Figura 3-2 OPT101 Circuito de Transimpedancia con fotodiodo integrado  | 25 |
| Figura 3-3 Respuesta en voltaje respecto a longitud de onda [18] ..... | 26 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 3-4 Amplificador operacional modo no inversor .....                          | 26 |
| Figura 3-5 Ciclo de desarrollo de un programa.....                                  | 28 |
| Figura 3-6 Display LCD 2x16 .....   | 30 |
| Figura 4-1 Respuesta en voltaje a longitud de onda 650nm .....                      | 32 |
| Figura 4-2 Primeras etapas montadas en protoboard.....                              | 32 |
| Figura 4-3 Lectura de voltaje de salida en la etapa de amplificación .....          | 33 |
| Figura 4-4 Diagrama de flujo del inicio de programa en el microcontrolador<br>..... | 35 |
| Figura 4-5.....   | 36 |
| Figura 4-6.....   | 37 |
| Figura 4-7.....   | 38 |
| Figura 4-8.....   | 39 |
| Figura 4-9.....   | 40 |
| Figura 4-10.....  | 41 |
| Figura 4-11.....  | 42 |
| Figura 4-12.....  | 43 |
| Figura 4-14.....  | 45 |
| Figura 4-15 Inicialización de programa.....   | 45 |
| Figura 4-16 Ejemplo tipo de error .....   | 46 |
| Figura 4-17 Ejemplo mensaje de error .....  | 46 |
| Figura 4-18 Letra impresa en LCD .....  | 47 |
| Figura 4-19 Diagrama primer esquemático PCB .....                                   | 48 |
| Figura 4-20 Diagrama esquemático PCB con correcciones.....                          | 48 |
| Figura 4-21 Diseño de PCB para LCD con potenciómetro.....                           | 49 |
| Figura 4-22 Diseño PCB de circuito prototipo de receptor óptico IPNSat ....         | 49 |
| Figura 4-23 PCB Principal.....  | 50 |
| Figura 4-24 PCB de display LCD .....  | 50 |

# Introducción

Dentro del desarrollo tecnológico, las comunicaciones satelitales son de suma importancia, debido a que se puede adquirir y expedir información de forma rápida a grandes distancias mediante circuitos electrónicos. El Centro de Desarrollo Aeroespacial (CDA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) incluye una línea de investigación que se encarga del desarrollo y ejecución de mejoras en las comunicaciones satelitales que existen actualmente donde dio origen la base del presente trabajo. Lo que se presenta en este documento a través de cinco capítulos es la implementación de un circuito prototipo de receptor óptico que permita la comunicación entre una estación terrena y el IPNSat.

El circuito prototipo de receptor óptico es una carga útil del IPNSat que nos ayudará a simular el enlace de comunicación óptica, ya que este está diseñado para recibir mensajes a través de un láser mediante el uso de un circuito de fotodetección y con la ayuda de un microcontrolador que fue programado para decodificar y finalmente desplegar los datos en una LCD para comprobar el funcionamiento de la lectura de la información.

# Justificación

En las comunicaciones satelitales, la transmisión de datos mediante haces de luz ofrece ventajas de suma importancia. Gracias a la comunicación por láser es posible ampliar la tasa de datos que actualmente rodea los 3Mbps con la tecnología RF, a una tasa de hasta de 1Gbps en estado óptimo.

Sin embargo, existen retos a vencer; para la implementación de esta tecnología, es necesario lograr la recolección de luz modulada para ser posteriormente detectada, filtrada, amplificada y convertida en pulsos eléctricos para que pueda ser leída por una computadora a bordo.

En el presente trabajo de investigación se busca diseñar y construir un receptor óptico prototipo, el cual pretende ser la base principal para su futura implementación en el IPN-SAT1

# Objetivos

## **Objetivo General**

Diseñar un prototipo de dispositivo receptor óptico, con la finalidad de aumentar la tasa de datos obtenida actualmente por sistemas de comunicación RF utilizando una interfaz óptica para nano-satélites entre estación terrena y CubeSat.

## **Objetivos particulares:**

- Elaboración de circuitería del receptor apegada a las restricciones de masa y potencia establecidas en las normas de diseño de los nano-satélites.
- Análisis de componentes de carácter aeroespacial para futura implementación en prototipo.
- Decodificación de señal recibida.

# Capítulo 1

## **Precedentes**

En este capítulo se describe que es un satélite, su clasificación y orbitas satelitales. Se presenta la introducción y antecedentes del proyecto CubeSat, la explicación y descripción de sus subsistemas.

Además, se habla sobre la comunicación por radiofrecuencia y los usos otorgados a sus diferentes bandas.

## 1.1 Satélites

Un satélite es un elemento que orbita de manera natural o artificial en torno a un cuerpo celeste. Particularmente, los satélites de comunicaciones son fabricados y lanzados por el hombre permitiendo efectuar una gran variedad de comunicaciones que favorecen el desarrollo de un extenso campo de consumidores, entre los cuales se encuentran suscriptores militares, gubernamentales, privados y comerciales.

Básicamente, un satélite de comunicaciones es una repetidora de microondas en el espacio, formada por una diversa combinación de dispositivos de comunicaciones electrónicas que se haya desarrollado.

Un sistema satelital consiste en uno o más vehículos espaciales, una estación en la Tierra para controlar el funcionamiento del sistema y una red de estaciones usuarias en la Tierra que proporcionan las instalaciones de interfaz para transmitir y recibir el tráfico de comunicaciones terrestres a través del sistema satelital [1].

## 1.2 Bandas satelitales de comunicación por RF

Una banda de frecuencia se refiere al conjunto continuo de frecuencias comprendidas entre dos límites específicos que son las que caracterizan a esta banda además de su nombre [2].

El espectro total útil de radiofrecuencias (RF) se divide en bandas de frecuencia, como se aprecia en la tabla 1-1, se asignan nombres y números, algunas de ellas se subdividen a su vez en diversos tipos de servicios. Las designaciones de banda según el *Comité consultivo internacional de radio* (CCIR) [1].

## División del espectro Radio eléctrico

| Distribución Convencional Del espectro Radioeléctrico. |  |                         |                        |  |  |
|--|--|-------------------------|------------------------|--|--|
| Sigla  | Denominación   | Longitud de onda        | Gama de frecuencias    | Características  | Uso Típico   |
| VLF  | <b>Very Low Frecuencias</b><br>Frecuencias muy bajas     | 30,000m<br>a<br>10,000m | 10 KHz<br>a<br>30 KHz  | Propagación por onda de tierra, atenuación débil. Características estables.  | Enlaces de radio a gran distancia.   |
| LF   | <b>Low Frecuencias</b><br>Frecuencias bajas              | 10,000m<br>a<br>1,000m  | 30 KHz<br>a<br>300 KHz | Similar a la anterior, pero de características menos estables.   | Enlaces de radio a gran distancia, ayuda a la navegación aérea y marítima. |
| MF   | <b>Medium Frecuencias</b><br>Frecuencias medias          | 1,000m<br>a<br>100m     | 300 KHz<br>a<br>3 MHz  | Similar a la precedente pero con una absorción elevada durante el día. Prevalece propagación ionosférica durante la noche. | Radiodifusión.   |
| HF   | <b>High Frecuencias</b><br>Frecuencias Altas             | 100m<br>a<br>10m        | 3 MHz<br>a<br>30 MHz   | Prevalece propagación ionosférica con fuertes variaciones y en diferentes horas del día y de la noche.                     | Comunicaciones de todo tipo a media y larga distancia.                     |
| VHF  | <b>Very high Frecuencias</b><br>Frecuencias muy altas    | 10m<br>a<br>1m          | 30 MHz<br>a<br>300 MHz | Prevalece propagación directa, ocasionalmente propagación ionosférica o troposférica.                                      | Enlaces de radio a corta distancia, Televisión, Frecuencia modulada.       |
| UHF  | <b>Ultra High Frecuencias</b><br>Frecuencias Ultra Altas | 1m<br>a<br>10 cm        | 300 MHz<br>a<br>3 GHz  | Solamente propagación directa, posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales.                  | Enlaces de radio, ayuda a la navegación, aérea. Radar. Televisión.         |
| SHF  | <b>Super High Frecuencias</b><br>Frecuencias super altas | 10cm<br>a<br>1cm        | 3 GHz<br>a<br>30 GHz   | Como la precedente.  | Radar, enlaces de radio.   |
| EHF  | <b>Extra High Frecuencias</b><br>Frecuencias Extra Altas | 1cm<br>a<br>1mm         | 30 GHz<br>a<br>300 GHz | Como la precedente.  | Como la precedente.  |

*Tabla 1-1 Distribución del espectro radioeléctrico*

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) ha asignado para las comunicaciones satelitales las bandas VHS, UHF y SHF. Cada una es muy extensa, por lo que han sido divididas en sub-bandas, como por ejemplo UHF se compone de las sub-bandas L y S, por otro lado, SHF contiene las Sub-bandas C, X, Ku y Ka [2].

En la tabla 1-2 se incluyen, las designaciones más utilizadas por algunos autores, principalmente en el campo del radar y de las radiocomunicaciones espaciales [3].

### 1.2.1 Utilizaciones típicas

Las bandas de VHF, UHF y, en particular, la L, son utilizadas para comunicaciones móviles, mientras la sub-banda S es empleada para servicio de recepción de TV y también para comunicación móvil. A su vez, la banda C es utilizada para satélites nacionales internacionales y comerciales, la banda X tiene usos gubernamentales y militares. La banda Ku se limita a la comunicación de satélites nacionales. Por otro lado, la banda Ka es utilizada por satélites nacionales e internacionales con fines de desarrollo que incluyen proyectos estudiantiles. Finalmente, la banda Ka brinda servicio para satélites civiles y militares [2]. En la Tabla 1-2 se muestran las bandas de frecuencias y su designación nominal.

| Símbolo literal   | Utilización en el campo del radar (GHz) |                        | Radiocomunicaciones espaciales           |                                  |
|-------------------|---|------------------------|--|----------------------------------|
|                   | Gama del espectro                       | Ejemplos               | Designación nominal                      | Ejemplos (GHz)                   |
| L                 | 1-2                                     | 1,215-1,4              | Banda de 1,5 GHz                         | 1,525-1,710                      |
| S                 | 2-4                                     | 2,3-2,5<br>2,7-3,4     | Banda de 2,5 GHz                         | 2,5-2,690                        |
| C                 | 4-8                                     | 5,25-5,85              | Banda de 4/6 GHz                         | 3,4-4,2<br>4,5-4,8<br>5,85-7,075 |
| X                 | 8-12                                    | 8,5-10,5               | –  | –                                |
| Ku                | 12-18                                   | 13,4-14,0<br>15,3-17,3 | Banda de 11/14 GHz<br>Banda de 12/14 GHz | 10,7-13,25<br>14,0-14,5          |
| K <sup>(1)</sup>  | 18-27                                   | 24,05-24,25            | Banda de 20 GHz                          | 17,7-20,2                        |
| Ka <sup>(1)</sup> | 27-40                                   | 33,4-36,0              | Banda de 30 GHz                          | 27,5-30,0                        |

<sup>(1)</sup> En las radiocomunicaciones espaciales, las bandas K y Ka se designan frecuentemente por el símbolo K<sub>a</sub>.

**Tabla 1-2** Bandas de Frecuencia

## **1.3 Órbitas Satelitales**

Un factor importante en el correcto desempeño de un satélite es que este sea colocado en una órbita adecuada. A continuación, se describen tres orbitas principales que actualmente se utilizan para las telecomunicaciones [4].

### **1.3.1 Órbita baja (LEO)**

Las altitudes de la órbita baja (LEO) son de aproximadamente de 500 a 1,200 km, aunque en algunas referencias esta altitud puede reducirse hasta por debajo de los 350 km [12]. Debido a su baja altitud, es necesario contar con una gran cantidad de satélites para cubrir el globo [4].

Las ventajas más notables en esta orbita son la baja latencia o retraso de transmisión, mayor ángulo de visión, es más fácil lograr altos niveles de reutilización de frecuencia, se opera más fácil en antenas de tierra baja y baja ganancia, menor perdida de trayectoria o propagación de haz [4].

### **1.3.2 Órbita Media (MEO)**

Esta órbita se encuentra en las altitudes de 10,000 y 20,000 km sobre las superficie de la tierra. Gracias a su mediana altitud se necesitan menos satélites para lograr una cobertura global. En esta órbita podemos encontrar los satélites de navegación espacial. Por lo que, a pesar de ser una órbita relativamente alta, aun se tiene una cantidad importante de satélites, puesto que su misión también influye en el tamaño de la constelación en una órbita [4].

### **1.3.3 Órbita Geoestacionaria (GEO)**

La órbita geoestacionaria o geosíncrona se encuentra a una altura conveniente de aproximadamente 36,000 km. Esto permite al satélite girar alrededor de la tierra en aproximadamente una vez cada 24 horas, lo que significa que el satélite parece permanecer en un sólo punto con respecto a la tierra. Además, no se necesitan más de tres satélites para cubrir el planeta. Pero sin duda la mayor ventaja de los satélites que se encuentran en esta órbita es que se pueden mantener en contacto continuo con estaciones terrestres [4].

### **1.3.4 Órbita altamente elíptica (HEO)**

Estas órbitas se caracterizan por ser muy largas y tienen tiempo de caída muy elevado sobre la superficie de la tierra. Estos satélites pueden

aparecer en el mismo lugar durante 8 a 12 horas, especialmente en lugares cercanos a los extremos polares [4].

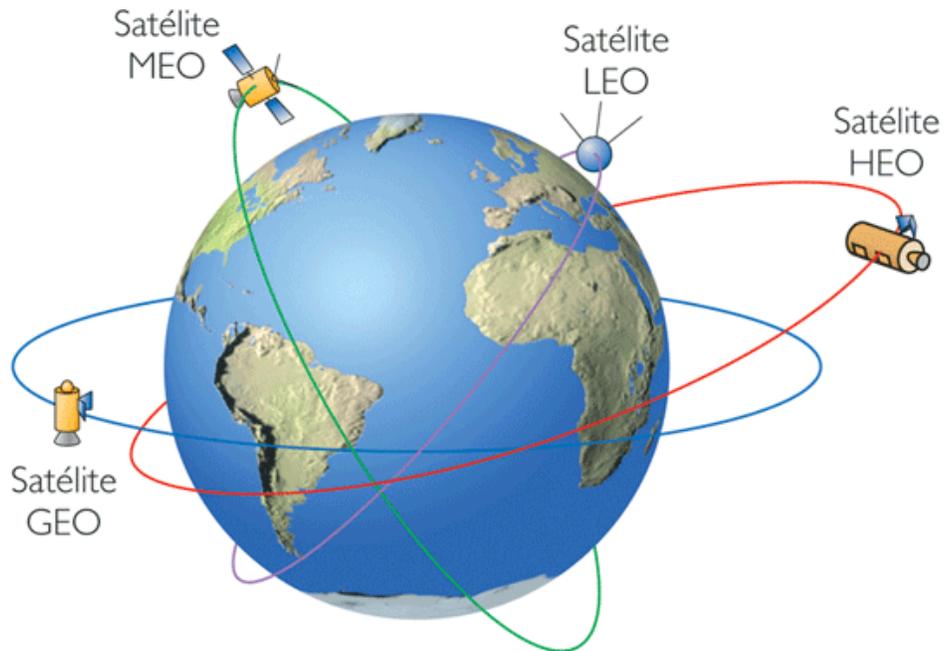


Figura 1-1 Órbitas satelitales

#### 1.4 Clasificación de Satélites

Entre otras clasificaciones, los satélites pueden dividirse por dos importantes aspectos; masa y misión.

Hay varias definiciones diferentes de los pequeños satélites. La definición más común es la presentada en el estudio de la IAA de los satélites [5].

De 1 kg –10 kg se denominan nano-satélites

De 10 kg – 100 kg se denominan micro-satélites

De 100 kg –1000 kg se denominan mini-satélites



Figura 1-2 Clasificación de satélites por su tamaño

La clasificación de satélites según su misión a menudo cubre una gama de áreas diferentes. El objetivo de esta clasificación es también una manera indirecta de reconocer la órbita en donde se encuentra el satélite. A continuación, se enlistan las clasificaciones de los satélites de acuerdo a su misión:

### **Satélites de comunicaciones**

Son satélites geoestacionarios, pero también hay constelaciones de estos satélites en la órbita LEO para la cobertura global. Los satélites que ofrecen servicios de comunicaciones comerciales representan la industria más grande.

### **Recursos de la tierra**

Se encuentran también en la órbita LEO. Son diseñados para aplicaciones no militares; como control de medio ambiente, meteorología y cartografía.

### **Clima**

Los satélites encargados del monitoreo del clima pueden encontrarse orbitando en la órbita LEO, pero también hay satélites geoestacionarios que cumplen con el mismo objetivo [6].

### **Navegación**

Los satélites de navegación espacial, como los sistemas de posicionamiento global (GPS), cumplen con la función de obtener una ubicación exacta. Se encuentran en la órbita MEO y son necesarios de 24 a 27 satélites operativos para que se puedan ver al mismo tiempo múltiples satélites [4].

### **Militares**

Los satélites que sirven para comunicaciones militares o de defensa generalmente se encuentran en la órbita LEO para una cobertura global, pero se pueden encontrar en otras órbitas [4].

### **Demostraciones tecnológicas**

No tienen una órbita específica, esto se debe a que las demostraciones e investigación se llevan a cabo en todas las órbitas satelitales, desarrollando diferentes misiones [6].

## 1.5 CubeSat.

El Proyecto CubeSat comenzó en 1999 como una colaboración entre Universidad Politécnica de California (Cal Poly) y el Laboratorio de Desarrollo de Sistemas Espaciales (SSDL) de la Universidad de Stanford.

El propósito del proyecto fue proporcionar un estándar para el diseño de pico-satélites para reducir costos y tiempo de desarrollo, aumentar la accesibilidad al espacio y sostener lanzamientos frecuentes. En la actualidad, el Proyecto CubeSat es una colaboración internacional de más de 100 universidades, escuelas secundarias y empresas privadas que desarrollan pico-satélites que contienen cargas científicas, privadas y gubernamentales.

Un CubeSat de una unidad (1U) es un cubo de 10 cm por lado con una masa de hasta 1.33 kg, el de 2U son dos cubos interconectados con una masa máxima de 2.66 kg y el de 3U son tres cubos conectados con una masa de hasta 4 kg como se muestra en la figura 1-3 [3].

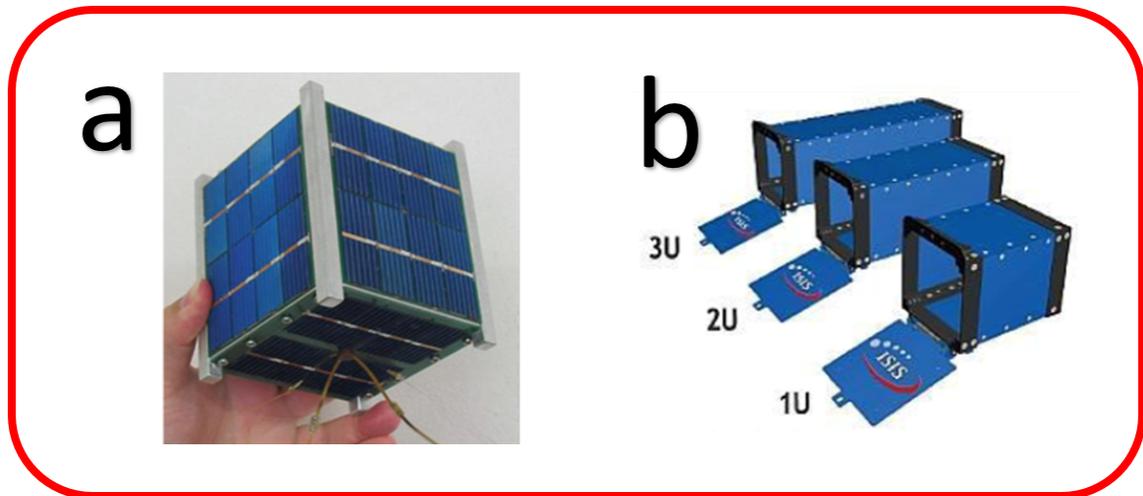


Figura 1-3 a) CubeSat Físico de 1U. b) Segmentación del CubeSat

### 1.5.1 Requisitos básicos del CubeSat

Los requisitos del CubeSat pretenden cumplir objetivos específicos con la finalidad de simplificar la estructura y manufactura de un nanosatélite de bajo costo. En la siguiente tabla se muestran las especificaciones básicas a considerar en un nanosatélite. En la tabla 1-3 se muestran los elementos y su descripción.

| Elemento            | Descripción  |
|---------------------|--|
| <b>Masa</b>         | Cada CubeSat de 1U no debe exceder de 1.33 kg de masa.   |
| <b>Estructura</b>   | El CubeSat debe respetar las medidas de coloración de pilares que proporcionan la separación entre los nanosatélites, así como las características recomendadas para la prevención de desgaste.  |
| <b>Material</b>     | Se recomienda para la estructura principal el uso de aluminio 7075 o 6061-T6.  |
| <b>Comunicación</b> | Deberá haber un retraso de varios minutos a una hora antes de que se dé la orden de que se activen todos los transmisores primarios. Los transmisores de baja potencia se pueden activar después del despliegue.<br>Los operadores deben contar con la licencia aprobatoria para el uso de la frecuencia.  |
| <b>Potencia</b>     | Utilizando baterías, los CubeSats deben tener la capacidad para recibir un comando para el paro del transmisor obedeciendo las órdenes de la computadora en vuelo.<br>Se requieren conectores removibles para activar o desactivar el CubeSat durante su integración fuera de la unidad de despliegue y serán removidos una vez que el CubeSat sea colocado dentro de la unidad de despliegue. |

*Tabla 1-3 Descripción de requisitos para CubeSat [7].*

## **1.6 Subsistemas satelitales**

Cada sistema satelital depende las radiocomunicaciones para cumplir con sus objetivos. Los subsistemas de un satélite de comunicaciones, generalmente incluye un sistema generador de energía, control ambiental y orbital, la carga útil de comunicación entre otros [2].

Para los satélites geoestacionarios, los principales retos a los que se enfrenta son, por ejemplo; el grado de exactitud y control de mantenimiento de la estación, suministro de energía eléctrica confiable, operación durante el eclipse solar, etc

### **1.6.1 Subsistema de energía eléctrica**

Para funcionar correctamente, necesariamente los satélites necesitan un suministro de potencia eléctrica sin interrupción y sin variaciones significativas en los niveles de voltaje y de corriente. El subsistema de energía eléctrica contiene tres elementos fundamentales: una fuente primaria, una fuente secundaria y un acondicionador de potencia; este último está integrado por dispositivos como reguladores, convertidores y circuitos de protección, que permiten regular y distribuir la electricidad con los niveles adecuados a cada una de las partes del satélite.

### **1.6.2 Subsistema de control térmico**

Las diferentes partes de un satélite requieren intervalos distintos de temperatura para operar adecuadamente, y que es necesario conservar un balance o equilibrio térmico del conjunto para que dichos intervalos se conserven.

### **1.6.3 Subsistema de posicionamiento y orientación**

Ya que el objetivo de un sistema en comunicaciones es recibir señales desde la Tierra y retransmitirlas a través de su subsistema de antenas direccionales, las cuales deben estar perfectamente orientadas hacia la zona geográfica de servicio. Es necesario mantener estable la orientación de la estructura del satélite con respecto a la superficie de la Tierra, lo cual se logra mediante las técnicas de estabilización.

### **1.6.4 Subsistema de rastreo, telemetría y comando**

Este subsistema permite conocer a control remoto la operación y posición del satélite, así como enviarle órdenes para que algún cambio deseable se ejecute.

### 1.6.5 Subsistema estructural

La estructura del satélite es el armazón que sostiene a todos los equipos que lo forman y le da la rigidez necesaria para soportar las fuerzas y aceleraciones a las que se somete desde el momento en que abandona la superficie de la Tierra; este subsistema debe ser de alta durabilidad, resistente y lo más liviano posible [2].

### 1.6.6 Estación Terrena

Como parte de la misión satelital es necesario un equipo de telecomunicaciones encargado, entre otras cosas, de la transmisión y recepción de señales hacia y desde uno o más satélites.

Se le llama estación terrena a las que se encuentran fijas sobre la tierra, a las móviles terrestres, marítimas y aeronáuticas entre otras [8].

La importancia de las estaciones terrenas transportables radica que proporcionan una solución ante los problemas que pueden presentarse ante adversidades climáticas [9].

La estación terrena que se planea utilizar en el IPNSat, es precisamente transportable, con la finalidad de encontrarse en lugares despejados y evitar áreas con alta densidad nubosa, o como se mencionó anteriormente, situaciones climáticas problemáticas para el envío de señales.



Figura 1-4 Estación terrena móvil [23]

### 1.6.7 Subsistemas de comunicación actual

Una antena es un sistema conductor metálico capaz de radiar y capturar ondas electromagnéticas.

Las antenas sirven para conectar las líneas de transmisión con el espacio libre, el espacio libre a líneas de transmisión, o ambas cosas [1].

En cuanto a comunicaciones satelitales, donde es necesario que exista la línea de vista entre el satélite y la estación terrena, deben seleccionar altas frecuencias que sean capaces de atravesar todas las capas de la atmósfera que se vean afectadas lo mínimo posible por condiciones ambientales. Para esto se han elegido las bandas C, K, Ku y Ka del espectro de frecuencias, donde se pueden utilizar arreglos de antenas parche [8].

El multiplexado es el subsistema que permite la transmisión de datos de más de una fuente a más de un destino a través de un solo medio de transmisión. Aunque las transmisiones sucedan en la misma instalación, no necesariamente suceden al mismo tiempo [1]. Sin embargo, el multiplexaje no es necesario en el IPN-SAT debido a que sólo necesitará una fuente.

Un amplificador de RF es la primera etapa activa que encuentra la señal recibida. Los objetivos principales de una etapa RF son selectividad, amplificación y sensibilidad.

La función principal de un amplificador es elevar la potencia de la señal que es amplificada a su entrada. De tal manera que la potencia de la señal en el puerto de la salida del amplificador es mayor que la potencia de la señal en el puerto de entrada [10].

Los sistemas de comunicación actual no son suficientes para abastecer la necesidad actual de servicios. Es por esto que es necesario implementar sistemas a más altas frecuencias ofrecidas por la tecnología óptica.

# Capítulo 2

## **Transmisión óptica por espacio libre**

En este capítulo se abordan el tema de las comunicaciones ópticas. Los elementos necesarios para lograr este tipo de enlaces son descritos y explicados. Finalmente se presentan los conceptos básicos de operación y las misiones exitosas utilizando esta tecnología.

## 2.1 Comunicaciones ópticas

El enorme desarrollo que han conocido las comunicaciones por fibra óptica en los últimos años ha traído consigo grandes mejoras en los distintos elementos que componen estos enlaces. En especial, el avance en la calidad y estabilidad de las fuentes láser ha propiciado el resurgimiento de numerosos proyectos de investigación sobre comunicaciones ópticas no guiadas [10].

Hasta ahora las comunicaciones por satélite se han basado en la tecnología de microondas. Esta solución, que resulta satisfactoria para satélites en órbita terrestre, se ve cada vez más limitada a medida que el terminal remoto se aleja de la Tierra, con lo que, a las distancias involucradas en las misiones en espacio profundo, la capacidad de estos enlaces se ve afectada de forma crítica.

Existen varias razones que hacen convenientes las frecuencias ópticas frente a las tradicionales microondas para ser usadas en las comunicaciones en espacio profundo. Es importante destacar que las antenas y los terminales láser son considerablemente más pequeños y ligeros que los de microondas, factor importante en este tipo de misiones que consigue disminuir notablemente el presupuesto necesario. Pero la principal ventaja que aportan las frecuencias ópticas en un enlace a tan larga distancia es la menor divergencia del haz emitido por un láser en comparación con las frecuencias de microondas usadas actualmente[10].

### 2.1.1 Transmisor, receptor y medio de transmisión

Un transmisor es un conjunto de uno o más dispositivos o circuitos electrónicos que convierte la información de la fuente original en una señal que se presta más a su transmisión a través de determinado medio de transmisión. Este medio se encarga de transportar las señales desde el transmisor hasta el receptor, y puede ser tan sencillo como un par de conductores de cobre que propaguen las señales en forma de flujo de corriente eléctrica. También se puede convertir la información a ondas electromagnéticas luminosas, propagarlas a través de cables de fibra óptica hechas de vidrio o de plástico, o bien se puede usar el espacio libre para transmitir ondas electromagnéticas de radio, a grandes distancias o sobre terreno donde sea difícil o costoso instalar un cable físico. Un receptor es un conjunto de dispositivos y circuitos electrónicos que acepta

del medio de transmisión las señales transmitidas y las reconvierte a su forma original [1].

## **2.2 Conceptos básicos de la operación**

El objeto del sistema de comunicación es transferir datos o información desde un transmisor en un punto a un receptor en otro a través del canal atmosférico intermedio con una tasa de error aceptable mientras proporciona una alta fiabilidad. El transmisor consiste básicamente en un láser, un modulador (con un esquema de modulación seleccionado), un controlador láser (para proporcionar la fuente de alimentación necesaria) y un telescopio. Según el formato de modulación, el modulador convierte bits de información en una señal eléctrica y modula el láser para generar una señal óptica. El telescopio expande el haz óptico a efectos de reducción de refractividad que separan el haz. La señal óptica se propaga a través del canal atmosférico y es recogida por el receptor para recuperar los datos. El receptor consiste en un telescopio, un detector y un decodificador para sacar la señal. El telescopio recoge la señal óptica y contrae el tamaño del haz lo suficientemente pequeño como para caber en el detector. El detector convierte la señal óptica en una señal eléctrica. Generalmente para un sistema de detección directa, el receptor consiste en un fotodetector [11].

### **2.2.1 Láser**

La palabra láser está compuesta por las siglas en inglés del fenómeno físico conocido por “amplificación de luz por emisión estimulada de radiación” (light amplification by stimulated emission of radiation).

Un láser es, ante todo, una fuente de luz. Sin embargo, la luz generada por un láser posee unas propiedades que la distinguen de la luz obtenida por las fuentes convencionales y la hacen mucho más útil y manejable. El grado de coherencia temporal y espacial, a potencias muy elevadas, es de mucha mayor magnitud que cualquier otra fuente de luz conocida [12].

El láser que se implementará en el proyecto de IPNSat es de 2 W, utilizando un amplificador que permitirá alcanzar los 6 W.

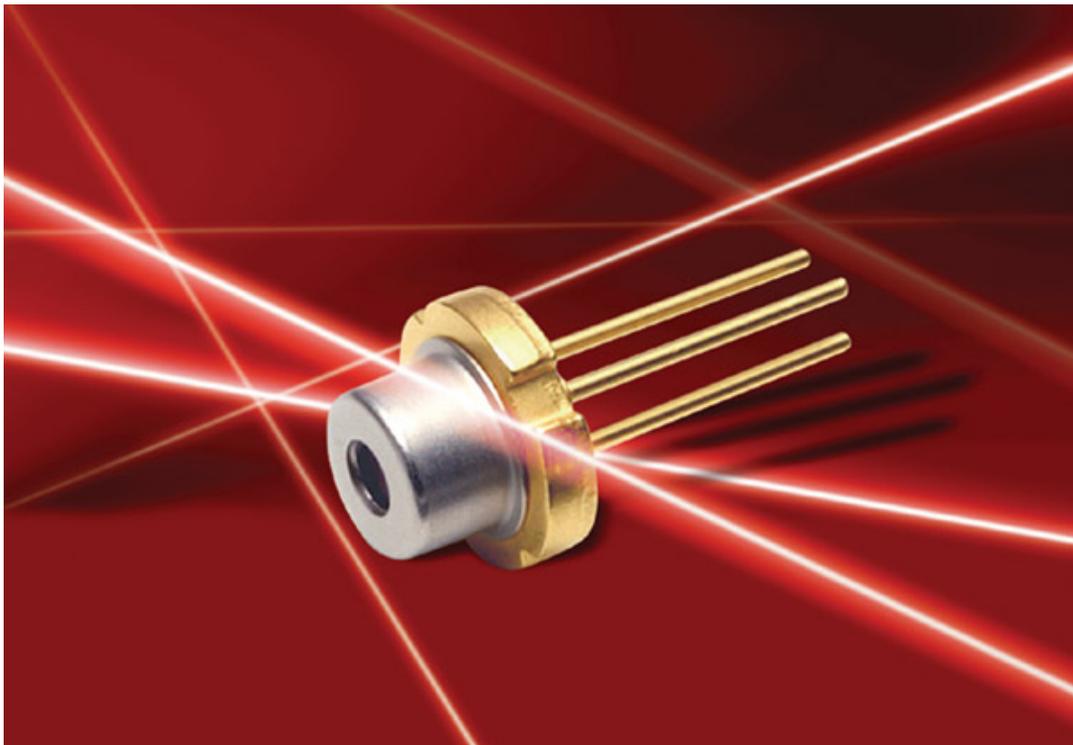
Las principales propiedades del rayo láser son:

**Monocromaticidad.** El haz emitido por el sistema presenta una longitud de onda con una dispersión o ancho de banda muy reducido.

**Gran coherencia en el tiempo y en el espacio.** Para algunos sistemas, las longitudes de coherencia son del orden de los kilómetros.

**Intensidad.** El rayo láser presenta una intensidad mayor que la de cualquier otra fuente de luz. Por intensidad se considera aquí la energía emitida por unidad de tiempo por unidad de área.

**Estrechez.** Además de tener un ancho angular del haz muy pequeño, este presenta una reducida divergencia (muy pequeños incrementos en la sección transversal del haz); esto determina su alto grado de direccionalidad [13].



*Figura 2-1 Diodo Láser TO-56*

### **2.3 Modulación y Demodulación**

La mayoría de veces es necesario modular la información de la fuente, con una señal analógica de mayor frecuencia, llamada portadora.

La señal portadora transporta la información. La señal de información modula a la portadora, cambiando su amplitud, su frecuencia o su fase.

Modulación no es más que el proceso de cambiar una o más propiedades de la portadora, en proporción con la señal de información.

Los dos tipos básicos de comunicaciones electrónicas son analógicos y digitales.

La transmisión digital es un sistema digital, donde los pulsos digitales (con valores discretos, como +5V y tierra), se transfieren entre dos o más puntos en un sistema de comunicaciones. Con la transmisión digital no hay portadora analógica y la fuente original de información puede tener forma digital o analógica. Si está en forma analógica se debe convertir a pulsos digitales antes de transmitirla y se debe reconvertir a la forma analógica en el extremo de recepción. Los sistemas de transmisión digital requieren una instalación física entre el transmisor y el receptor, como por ejemplo un conductor metálico o un cable de fibra óptica [1].

## 2.4 El fotodiodo P-I-N

Se compone de regiones p y n excesivamente dopadas separadas por una región intrínseca (i), como se aprecia en la figura 2-2. Cuando se polariza en inversa, el diodo pin actúa como una capacitancia casi constante. Cuando se polariza en directa, actúa como resistencia variable controlada por corriente. La baja resistencia en directa de la región intrínseca se reduce conforme la corriente se incrementa.

La característica de resistencia en serie con polarización en directa y la característica de capacitancia en inversa se muestran gráficamente en la figura para un diodo pin típico.

El diodo pin se utiliza como interruptor de microondas controlado por cd operado por cambios rápidos de polarización, o como dispositivo modulador que aprovecha las características de resistencia variable en directa. Como no ocurre rectificación en la unión pn, una señal de alta frecuencia puede ser modulada (variada) por una variación de baja frecuencia en la polarización. Un diodo pin también puede ser utilizado como atenuador porque su resistencia puede ser controlada por la cantidad de corriente. Se utilizan ciertos tipos de diodos pin como fotodetectores en sistemas de fibra óptica [14].

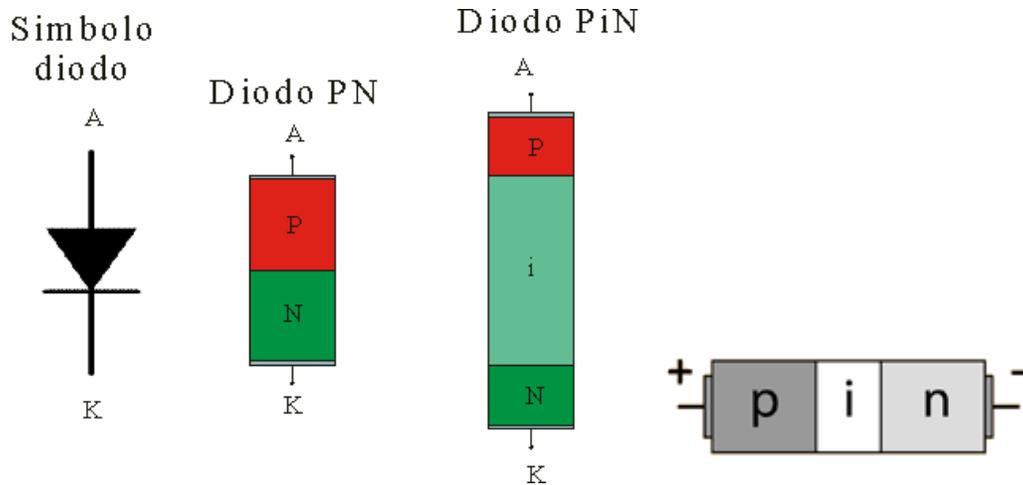


Figura 2-2 Estructura del diodo pin

## 2.5 Amplificador operacional

Un amplificador operacional es un amplificador modulador de etapas múltiples, con entrada diferencial que se acerca a tener las características de un amplificador operacional ideal. Tales como una ganancia infinita de voltaje, impedancia infinita de entrada, impedancia de salida igual a cero, voltaje de salida igual a cero cuando ambos voltajes sean iguales y un ancho de banda infinito.

En la realidad no se pueden alcanzar dichos aspectos, pero se pueden acercar lo suficiente para muchas aplicaciones. En la figura 2-3 se ilustra el esquema interno de un amplificador operacional.

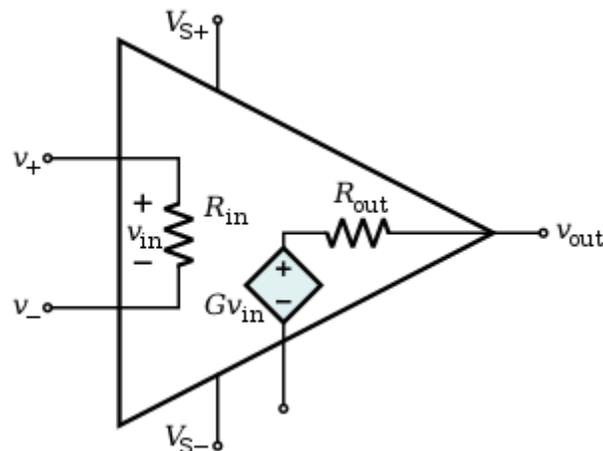


Figura 2-3 Representación interna de un amplificador operacional

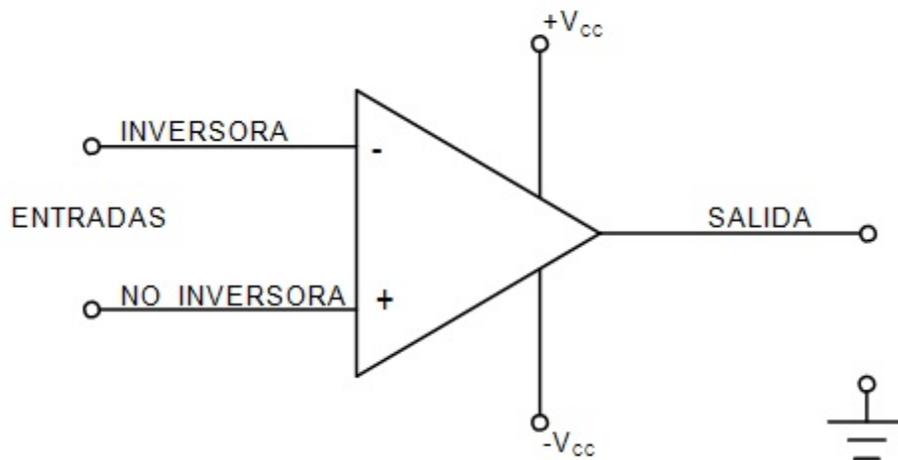


Figura 2-4 Entradas de un amplificador operacional.

## 2.5.1 Modos de señal de entrada

### Modo diferencial

Se aplica una señal a una entrada con la otra conectada a tierra, o se aplican dos señales de polaridad opuestas a las entradas.

### Modo Común

Se aplican dos voltajes de señal de la misma fase, frecuencia y amplitud a las dos entradas. Cuando se aplican señales de entrada iguales a ambas entradas tienen a cancelarse y el resultado es un voltaje de salida cero. Esta acción se llama rechazo en modo común. Su importancia radica en la situación en la que aparece una señal indeseada en ambas entradas del amplificador operacional. Rechazo en modo común significa que esta señal indeseada no aparecerá a la salida, lo que evita que la señal se distorsione [14].

## 2.6 Misiones exitosas

Si bien las primeras misiones de comunicación óptica utilizando láser, demostraron su eficiencia y viabilidad, recientemente las misiones se han centrado en el desarrollo de sistemas óptimos de alto ancho de banda. En la Tabla 1.1 resume algunas de las principales misiones históricas y recientes, así como la diversidad de los participantes mundiales. Los enlaces se han demostrado con éxito entre terminales en órbita geosincrónica (GEO), órbita baja (LEO), aviones, tierra y la luna [15].

| Año  | Misión            | Organización                | Tipo de enlace          | Velocidad de transmisión (Gbps) |
|------|-------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| 2001 | GeoLITE/ALEX      | MIT Lincoln Laboratory      | GEO-Tierra/<br>GEO-aire | >1                              |
| 2001 | SILEX             | ESA                         | LEO-GEO                 | 0.05                            |
| 2005 | LUCE              | JAXA                        | LEO-GEO<br>LEO-Tierra   | 0.05                            |
| 2008 | NFIRE/TierraSAR-X | Tesat Spacecom              | LEO-LEO<br>LEO-Tierra   | 5.65                            |
| 2013 | LLCD              | MIT Lincoln Laboratory/NASA | Luna-Tierra             | 0.622                           |
| 2014 | OPALS             | JPL                         | ISS-Tierra              | 0.05                            |
| 2014 | EDRS              | Tesat Spacecom/ESA          | LEO-GEO<br>GEO-Tierra   | 1.8                             |

Tabla 2-1 Enlaces.

# Capítulo 3

## **Análisis de elementos a utilizar**

En este capítulo se analizan a fondo los elementos necesarios para la elaboración del prototipo y la justificación de su elección.

La comparativa entre los tipos de modulación digital considerados, así como los cálculos para el arreglo del amplificador operacional y la introducción al uso de lenguaje C y su aplicación en la LCD, se encuentran presentes en el siguiente apartado.

### **3.1 Tarjeta circuito impreso**

Una tarjeta de circuito impreso o PCB (del inglés printed circuit board), es un dispositivo compuesto por trazas de material conductor laminado sobre un material dieléctrico. La tarjeta se usa para realizar conexiones entre los componentes y presenta muchas ventajas sobre tarjetas de prototipo, como una superficie para montar los componentes, conexiones fijas, mayor inmunidad a ruido, menor probabilidad de fallas, entre otras [16].

### **3.2 Modulación digital**

Existen diferentes tipos de modulaciones digitales en el campo de las comunicaciones, sin embargo, acercándonos más a nuestros objetivos de comunicaciones ópticas, se desglosó la tabla 3-1, donde se describen los principales esquemas de modulación digital, con la finalidad de ayudar a la elección de la modulación que se ocupo en el prototipo.

En la imagen 3-1 se visualiza gráficamente los tipos de modulación digital, que corresponde a dos estados únicamente; alto (1) y bajo (0). Siendo ASK un sistema de encendido y apagado de la señal, en cambio la modulación FSK disminuye considerablemente su frecuencia cuando recibe un estado bajo. La modulación PSK en cambio, invierte su fase en cada cambio de estado.

| Modulación | Características  | Ventajas   | Desventajas  |
|------------|--|--|--|
| ASK        | Manipula la señal con base en su encendido y apagado.  | Se suelen utilizar en comunicaciones ópticas, ya que las fibras ópticas permiten trabajar con buenas relaciones señal a ruido. | No son eficientes en cuanto a ancho de banda y consumo de potencia.  |
| PSK        | Hace variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos. La fase de la señal portadora representa cada símbolo de información de la señal moduladora. | La gran ventaja de esta modulación es que la potencia de todos los símbolos es la misma.                                       | La señal moduladora es una señal digital y por lo tanto, con un número de estados limitado.  |
| FSK        | Modulación no lineal. Asigna un estado alto y uno bajo a frecuencias diferentes.   | Gran ancho de banda y alta inmunidad al ruido  | La conmutación entre osciladores provoca que el espectro de la señal presente grandes lóbulos laterales que originan interferencias. Es por esto que estas modulaciones no se utilizan en la práctica. |

**Tabla 3-1** Comparación entre los tipos de modulación.

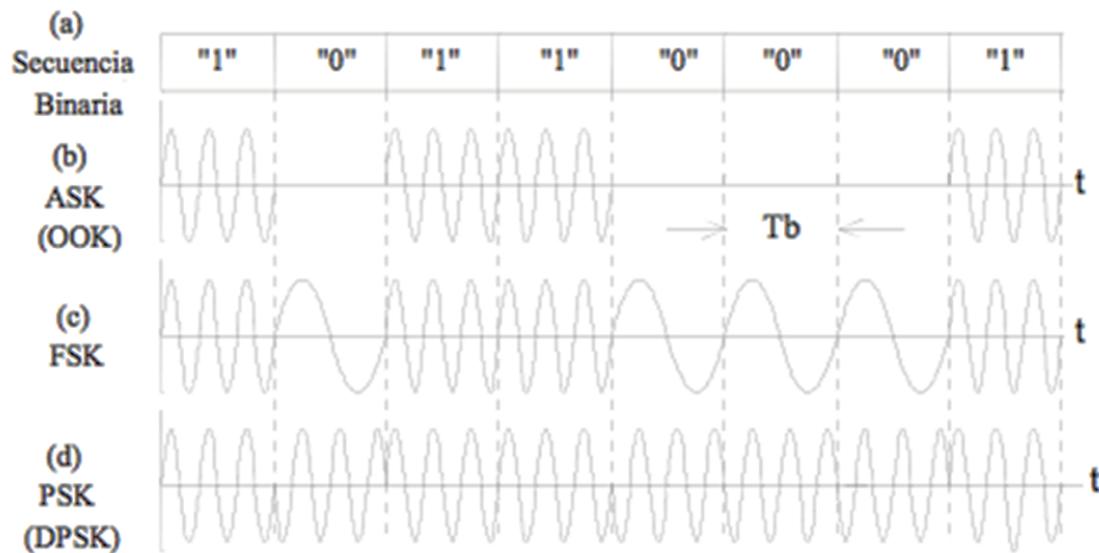


Figura 3-1 Visualización de modulaciones a utilizar

Con la finalidad de hacer más eficiente la comunicación óptica realizada mediante el haz láser, se decidió ocupar la modulación ASK, por su sencillez y confiabilidad.

### 3.3 Circuito de Transimpedancia

El propósito de un circuito de transimpedancia es convertir una corriente de entrada de una fuente de corriente (típicamente un fotodiodo) en una tensión de salida. El método más simple para lograr esta conversión es usar una resistencia conectada a tierra. Sin embargo, la ganancia alcanzable con este método está limitada por los siguientes factores:

1. La fuente de corriente en la impedancia de salida
2. La impedancia de carga
3. Ancho de banda deseado.

Un enfoque de circuito cerrado, utilizando un amplificador operacional, normalmente es beneficioso para la mayoría de las aplicaciones, ya que tiene el potencial de eliminar esos problemas [17].

### 3.3.1 Elección de fotodiodo

Para la elaboración de un receptor óptico, la primera etapa es la detección de un haz de luz. Para esto es necesario un fotodiodo que interprete dicho haz y nos entregue corriente. Posteriormente es necesario convertir esta corriente a voltaje para su futuro acondicionamiento.

El OPT101 es un fotodiodo de área extensa integrado con un amplificador operacional optimizado que lo hace un dispositivo pequeño, fácil de usar y de baja tensión. El fotodiodo tiene un área de medición muy grande que recoge una cantidad significativa de luz, gracias a esto permite mediciones con un importante grado de sensibilidad. El fotodiodo tiene una amplia respuesta espectral con un pico máximo en el espectro infrarrojo, y un rango utilizable de 300 nm a 1100 nm. También proporciona un alto intervalo de alimentación que va desde 2.7 V hasta los 36 V. En la figura 3-2 se observa el circuito integrado internamente [18].

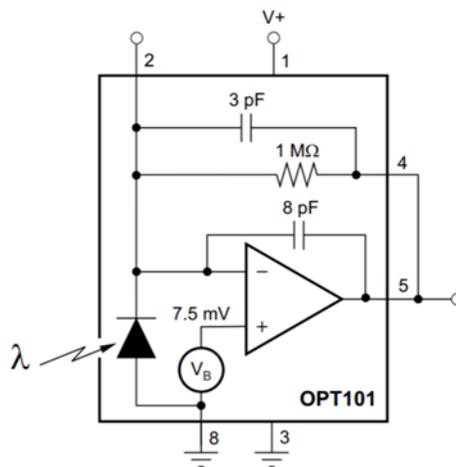


Figura 3-2 OPT101 Circuito de Transimpedancia con fotodiodo integrado

La salida de tensión OPT101 es el producto de la corriente del fotodiodo por la resistencia de realimentación ( $I_D R_F$ ) más un voltaje de pedestal.

A una longitud de onda de 650 nm (rojo visible), la responsividad del fotodiodo es de 0.45 A / W. La responsividad en otras longitudes de onda se muestra en la Figura 3-3.

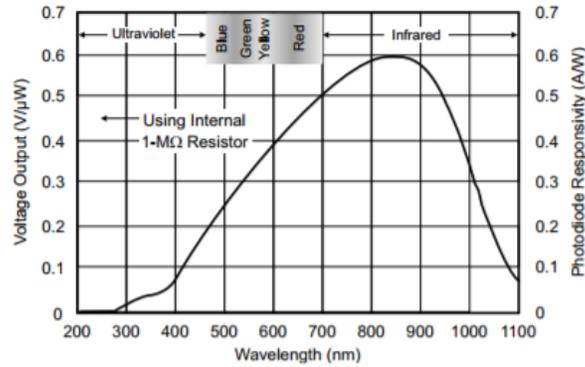


Figura 3-3 Respuesta en voltaje respecto a longitud de onda [18]

Como se muestra en la figura 3-3, el voltaje que recibiremos con una longitud de onda de aproximadamente 650nm, será de 0.45V. Este voltaje será el voltaje de entrada en la etapa de amplificación descrito a continuación.

### 3.4 Amplificador no inversor

La configuración del amplificador no inversor permite usar el amplificador operacional como un amplificador no inversor con alta impedancia de entrada, en el cual la ganancia de voltaje del circuito se puede establecer dentro de los límites precisos de las resistencias  $R_1$  y  $R_f$ , como se muestra en la figura 3-4. La impedancia de entrada es alta porque el único paso a la tierra para la corriente de entrada es a través de la alta impedancia de entrada del amplificador [19].

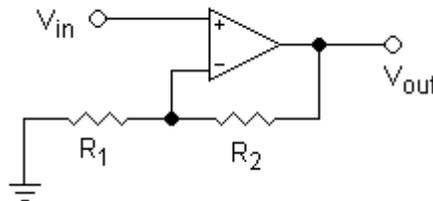


Figura 3-4 Amplificador operacional modo no inversor

El voltaje a la salida de nuestro arreglo en las primeras pruebas está dado por el producto de la ganancia, multiplicado por el voltaje de entrada.

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)(V_{in})$$

### 3.5 Programación del Microcontrolador

Debido a que estamos usando un microcontrolador Microchip, aprovechamos el software MPLAB® X IDE que ofrece la empresa de forma gratuita para la programación del mismo.

MPLAB® X IDE es un programa de software que se utiliza para desarrollar aplicaciones para microcontroladores Microchip y controladores de señal digital.

Esta herramienta se conoce como un entorno de desarrollo integrado o IDE, ya que proporciona un único “entorno” integrado para desarrollar código para microcontroladores integrados.

Un sistema embebido o integrado es típicamente un diseño que usa la potencia de un microcontrolador pequeño, como el microcontrolador Microchip PIC® (MCU) o el controlador de señal digital dsPIC® (DSC). Estos microcontroladores combinan una unidad de microprocesador (como la CPU en una computadora personal) con algunos circuitos adicionales llamados periféricos, más algunos circuitos adicionales, en el mismo chip para hacer un pequeño módulo de control que requiere pocos otros dispositivos externos. Este dispositivo individual puede integrarse en otros dispositivos electrónicos y mecánicos para un control digital de bajo costo [20].

### 3.6 Lenguaje C

C es un lenguaje científico por estar perfectamente estructurado cuyas características pueden resumirse en los puntos siguientes:

- Presenta características de bajo nivel: C trabaja con la misma clase de objetos que la mayoría de los computadores (Caracteres, números y direcciones). Esto permite la creación de programas eficientes.
- Está estrechamente asociado con el sistema operativo UNIX. UNIX y su software fueron escritos en C.
- Es un lenguaje adecuado para programación de sistemas por su utilidad en la escritura de sistemas operativos, ya que C permite tener un control casi absoluto de la computadora.
- Permite la creación de programas transportables.

### 3.6.1 Desarrollo de programas en el lenguaje C

El desarrollo del software requiere, en cualquier lenguaje y entorno, realizar una serie de operaciones definidas, que se conocen como el ciclo de desarrollo de un programa o ciclo de edición/compilación/ejecución.

Para poder realizar un programa en C se necesitan, entre otros, los siguientes elementos:

- Editor de texto.
- Preprocesador
- Compilador
- Ensamblador
- Archivos de cabecera
- Archivos de biblioteca
- Enlazador
- Depurador

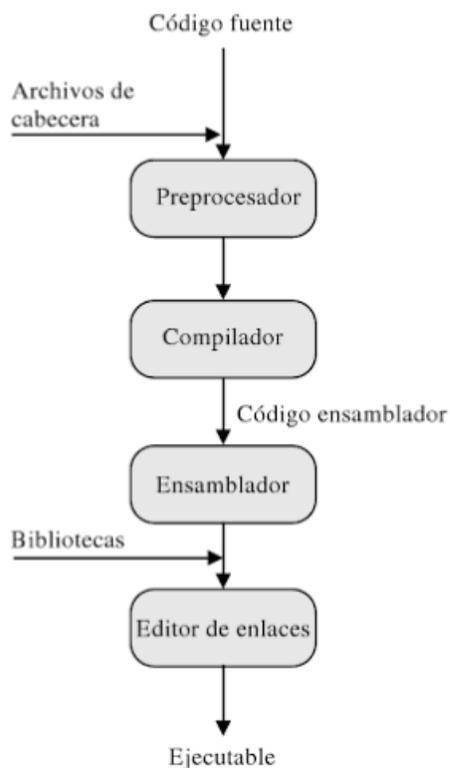


Figura 3-5 Ciclo de desarrollo de un programa

El procesador incluye dentro del archivo de código fuente los archivos indicados mediante la directiva #include.

Un componente clave de estos sistemas es el compilador, un programa que lee un programa escrito en un lenguaje de programación y genera un programa de lenguaje ensamblador o en otro lenguaje de programación distinto al del origen. La entrada al compilador se denomina código fuente y la salida se denomina código objeto. Los traductores se dividen típicamente según su lenguaje fuente y destino. Habitualmente los compiladores de C usan como código fuente programas en lenguaje C y generan como código de salida programas en el lenguaje ensamblador del sistema destino. Este código ensamblador es ensamblado posteriormente para obtener un lenguaje máquina binario. Un programa en lenguaje máquina binario se denomina a menudo código objeto. El proceso de usar un compilador para traducir un programa en lenguaje de alto nivel se denomina compilación [21].

### 3.7 Display LCD

Para apreciar el mensaje decodificado en el microcontrolador, el cual fue recibido a través del láser se implementó un display de cristal líquido donde se muestra en la primera línea los pulsos representados en unos y ceros. En la segunda línea se muestra el significado de dichos pulsos en código ASCII.

Existen Displays de cristal líquido (LCD) que incluyen un circuito controlador para poder mostrar los caracteres en su pantalla. Los más populares son los basados en el controlador Hitachi 44780, estos displays se pueden encontrar en configuraciones de dos líneas de 16 caracteres (16x2) o más como 20x2 o 40x4 donde cada carácter está formado por una matriz de puntos de 5x7.

El módulo LCD debe tener 14 o 16 pines. La diferencia entre tener 14 ó 16 terminales, es la luz de fondo que usa dos pines extra para su conexión.

A continuación, se ve a detalle la función de los pines:

Vss: este pin es para conectar a tierra o masa

Vcc: Este pin recibirá el voltaje de alimentación para el display a 5v.

Vee: controla el contraste de la pantalla

RS (Register select): Hay dos registros muy importantes dentro de la pantalla LCD. El pin RS se utiliza para la selección de estos registros. El primero nos permite usar el registro de datos (data register) que es donde enviaremos los códigos o caracteres que se mostraran en la pantalla del display. El segundo es el registro de instrucciones o comandos (instruction register), el cual recibirá instrucciones para el control o configuración del display.

R/W (Read/Write): Como la mayoría de los dispositivos que contienen memorias, podemos leer o escribir en ellos. Este pin nos permite seleccionar si vamos a leer o escribir en el display.

E (Enable): habilita o deshabilita el display. Si ponemos un 0 en él, deshabilitaremos el display y el el bus de datos entra en modo de alta impedancia. Si colocamos un 1 habilitaremos el display para enviar o recibir datos.

DB0 a DB7. Estas 8 líneas son el bus de datos que usaremos para escribir datos o instrucciones en el display, o leer datos en él.

También se puede conectar el display al pic mediante un bus de datos de 4 o de 8 bits. En caso de usar el display con un bus de 4 bits se tiene que enviar dos paquetes de datos de 4 bits al display para completar el comando, ahorrándonos 4 líneas de conexión [22].



Figura 3-6 Display LCD 2x16

Una vez se han descrito los elementos más importantes en la elaboración del presente proyecto, se procede al armado de la circuitería para posteriormente realizar las mediciones y reafirmar los cálculos realizados en este capítulo.

Con las herramientas brevemente estudiadas en este capítulo se procede al análisis, diseño y elaboración del prototipo.

# Capítulo 4

## **Análisis de resultados**

En este capítulo se presentan las pruebas de laboratorio realizadas al circuito, el esquemático y diseño previo a la elaboración del PCB y la programación del microcontrolador representada en un diagrama de flujo.

## 4.1 Pruebas de laboratorio

El primer paso fue corroborar el funcionamiento del integrado OPT101, para tomar lectura del voltaje entregado con la longitud de onda del láser rojo.

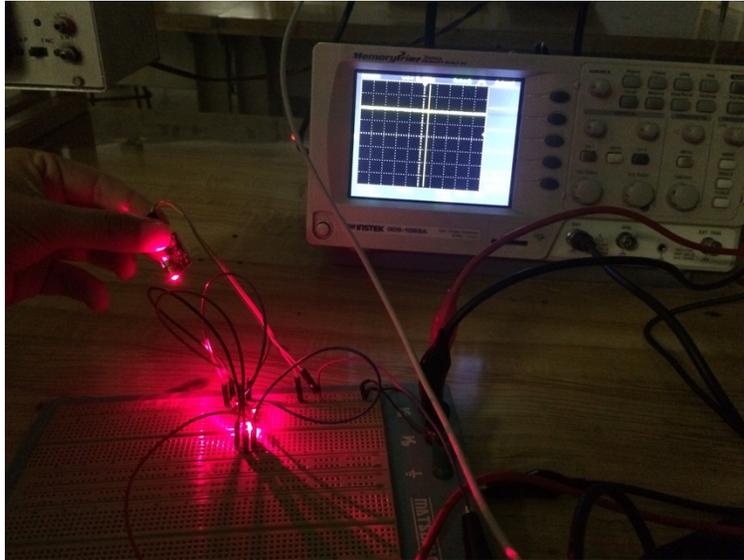


Figura 4-1 Respuesta en voltaje a longitud de onda 650nm

Esta prueba se hizo sin utilizar el arreglo de amplificador operacional, gracias a este resultado comprobamos que el OPT101 es capaz de brindarnos 4.2V con un voltaje de alimentación de 5V y con un laser de 650nm sin necesidad de la etapa de amplificación en modo no inversor.

Una vez se comprobó lo anterior, podemos remover la parte de amplificación que se encuentra en la figura 4-2. Esto con el fin de asegurar un voltaje óptimo para que el microcontrolador pueda asimilarlo como un estado lógico alto y así evitar posibles errores en la lectura.

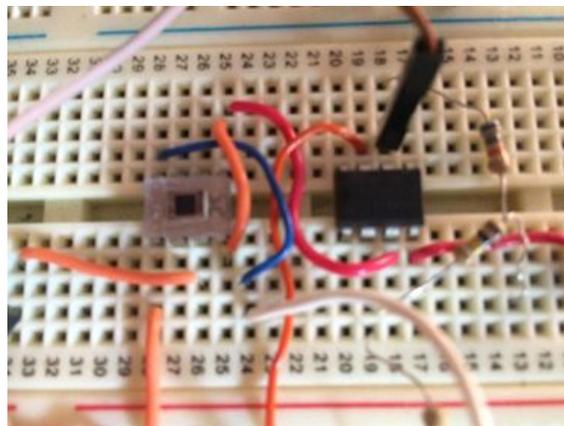


Figura 4-2 Primeras etapas montadas en protoboard

En la figura 4-3 se muestra la lectura en el multímetro del voltaje obtenido en OPT101 mientras el láser rojo incide sobre el fotodiodo.

Para hacer visible el correcto funcionamiento se colocó un led temporal, únicamente como indicador de que la etapa de detección, conversión y voltaje de salida estaba siendo efectuada correctamente.

Ya que se obtuvo el voltaje deseado en OPT101, este resultado se llevó a un puerto de lectura del microcontrolador.

Posteriormente, para comprobar que el microcontrolador estaba asimilando correctamente el voltaje de la etapa anterior, se instaló un display LCD para poder visualizar el estado lógico como se muestra en la figura 4-3.

Ya comprobando que el microcontrolador estaba reconociendo bien el pulso recibido, se procedió a hacer la codificación para interpretar los pulsos recibidos por el transmisor.

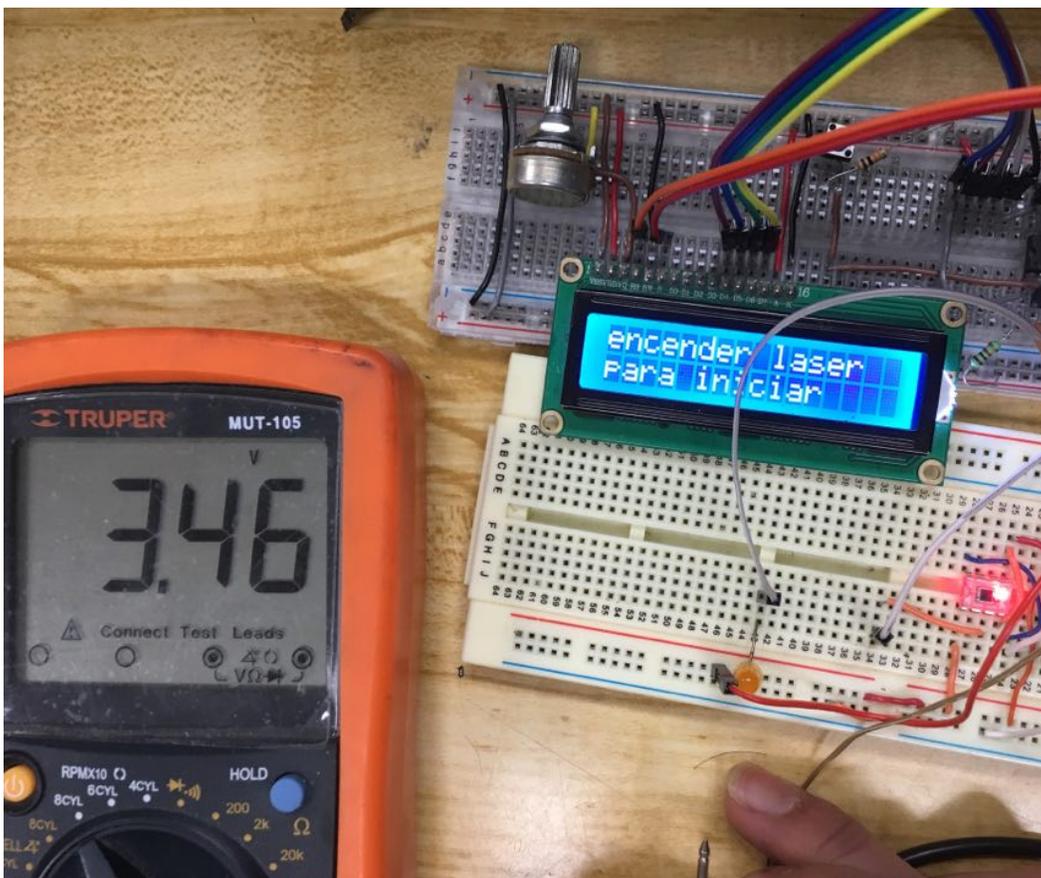


Figura 4-3 Lectura de voltaje de salida en la etapa de amplificación

## 4.2 Programación

El microcontrolador que se utilizó es el PIC18F2550. Las medidas del empaquetado del mismo son de 7.24x34.67mm en un empaquetado PDIP.

El programa inicia con la configuración de oscilador, la definición de variables y la configuración de puertos.

Seguidamente el programa comenzará a funcionar al recibir un estado alto inicial, después de este, los siguientes ocho pulsos de entrada serán interpretados para su codificación, además el display LCD imprimirá un “0” cuando haya un estado bajo, y un “1” cuando haya un estado alto, hasta completar las ocho lecturas.

Para la interpretación de las letras utilizamos el código ASCII mostrado en la tabla 4-1.

Como se observa, todas las letras inician con “01” esto implica que si el programa lee otro par de valores distintos a estos, imprimirá un mensaje de error en el display y volverá a iniciarse.

Esto último sucederá cuando el programa encuentre combinaciones que no están definidas en el código.

Ahora bien, cuando el programa finalice la lectura de los ocho datos, imprimirá en la segunda línea del display la letra que corresponde.

| Carácter | ASCII     | Carácter | ASCII     |
|----------|-----------|----------|-----------|
| A        | 0100 0001 | W        | 0101 0111 |
| B        | 0100 0010 | X        | 0101 1000 |
| C        | 0100 0011 | Y        | 0101 1001 |
| D        | 0100 0100 | Z        | 0101 1010 |
| E        | 0100 0101 | 0        | 0011 0000 |
| F        | 0100 0110 | 1        | 0011 0001 |
| G        | 0100 0111 | 2        | 0011 0010 |
| H        | 0100 1000 | 3        | 0011 0011 |
| I        | 0100 1001 | 4        | 0011 0100 |
| J        | 0100 1010 | 5        | 0011 0101 |
| K        | 0100 1011 | 6        | 0011 0110 |
| L        | 0100 1100 | 7        | 0011 0111 |
| M        | 0100 1101 | 8        | 0011 1000 |
| N        | 0100 1110 | 9        | 0011 1001 |
| O        | 0100 1111 | +        | 0010 1011 |
| P        | 0101 0000 | -        | 0010 1101 |
| Q        | 0101 0001 | *        | 0010 1010 |
| R        | 0101 0010 | :        | 0011 1010 |
| S        | 0101 0011 | =        | 0011 1101 |
| T        | 0101 0100 | <        | 0011 1100 |
| U        | 0101 0101 | ;        | 0011 1011 |
| V        | 0101 0110 |          |           |

Tabla 4-1 Código ASCII

### 4.2.1 Diagrama de flujo

En las siguientes figuras se muestra el diagrama de flujo ya explicado brevemente en el apartado anterior, y del programa que se encuentra en el anexo 1.

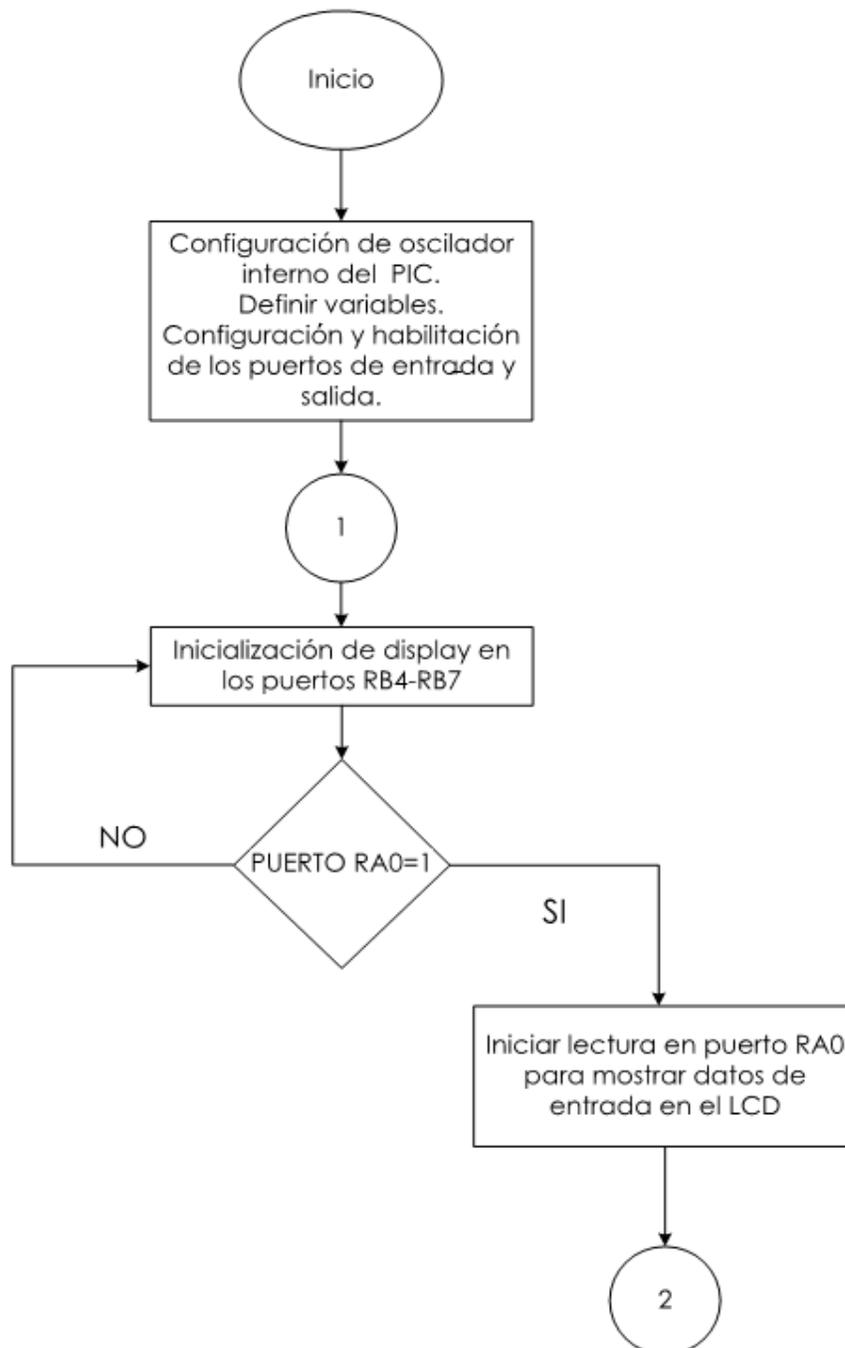


Figura 4-4 Diagrama de flujo del inicio de programa en el microcontrolador

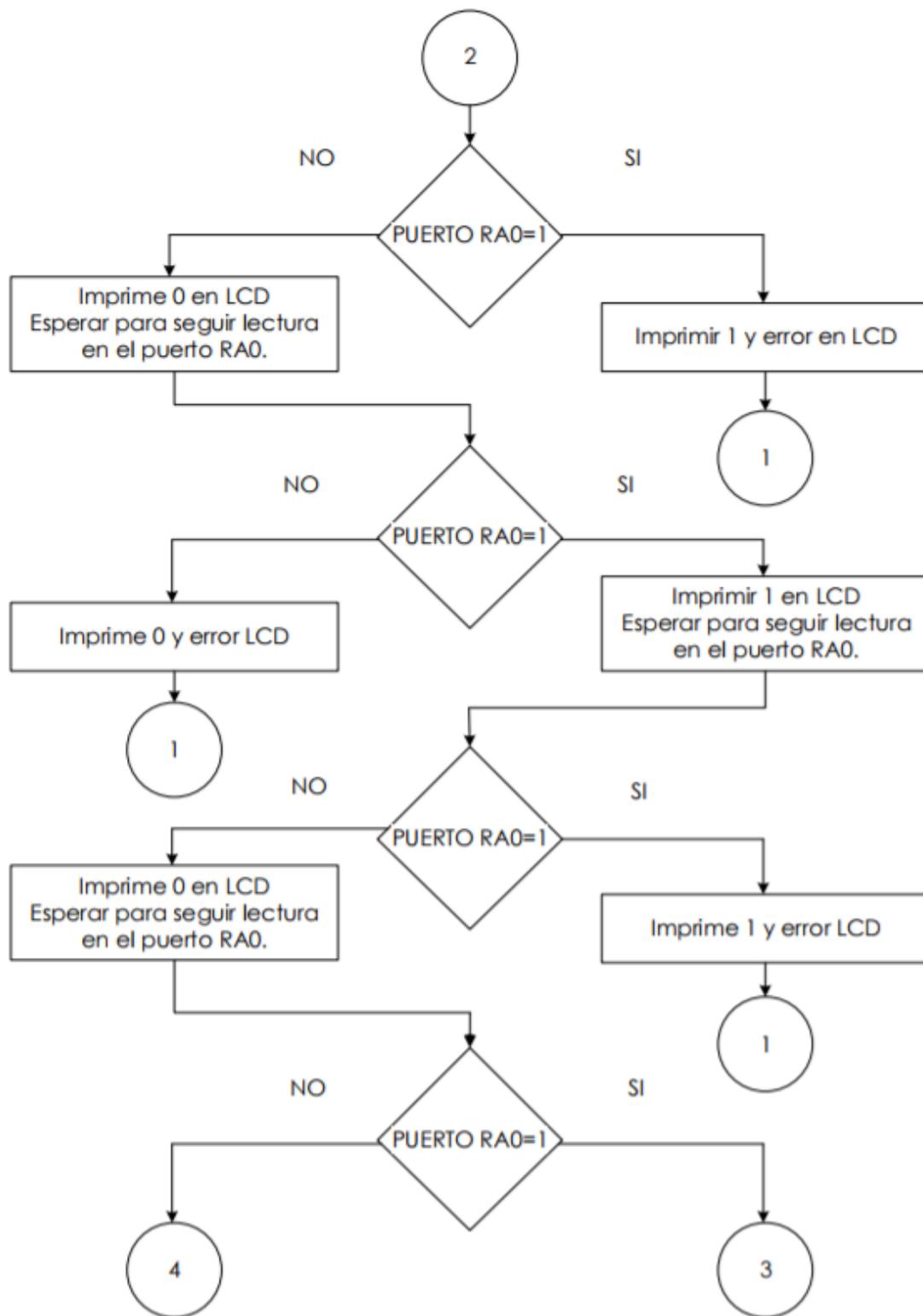


Figura 4-5

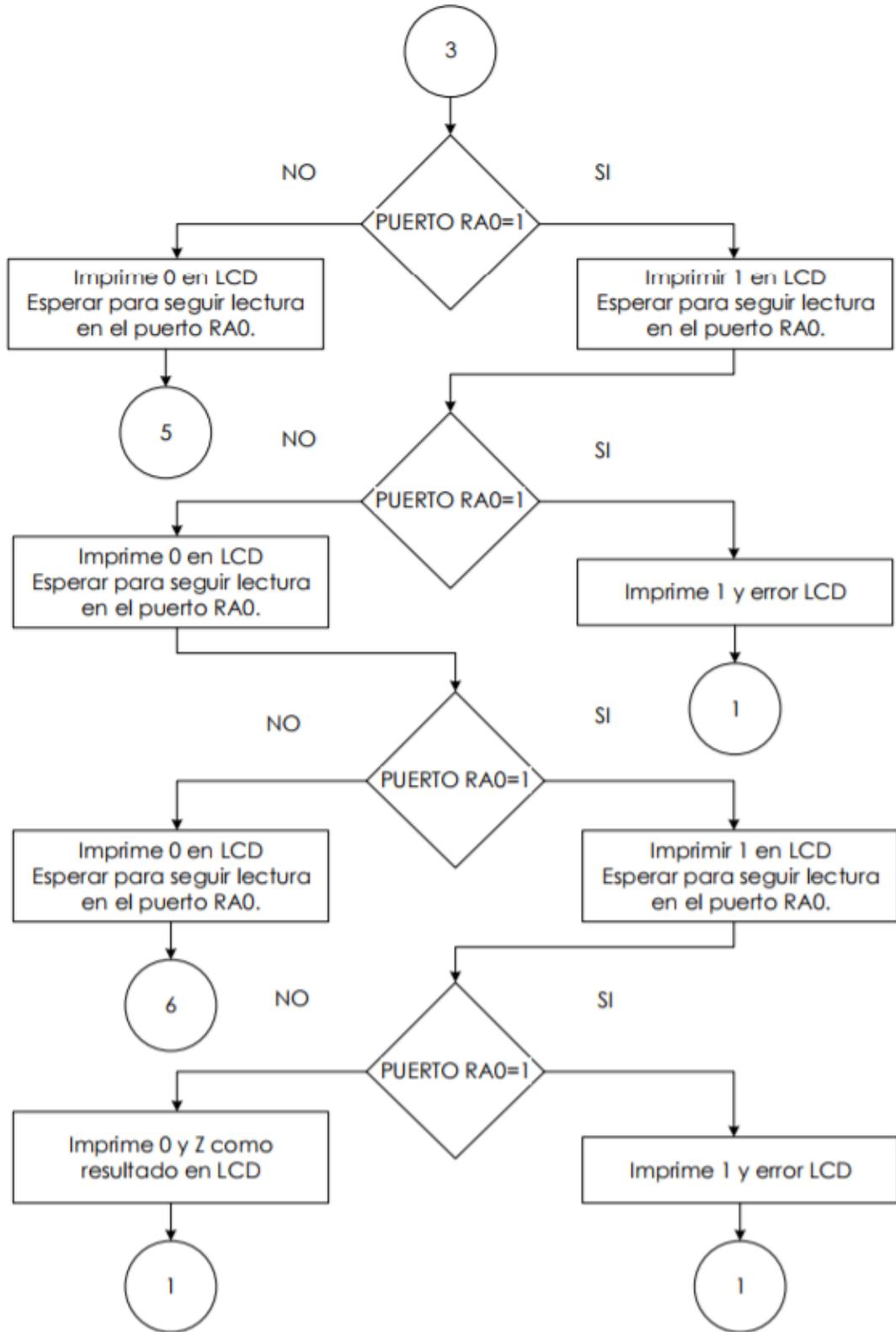


Figura 4-6

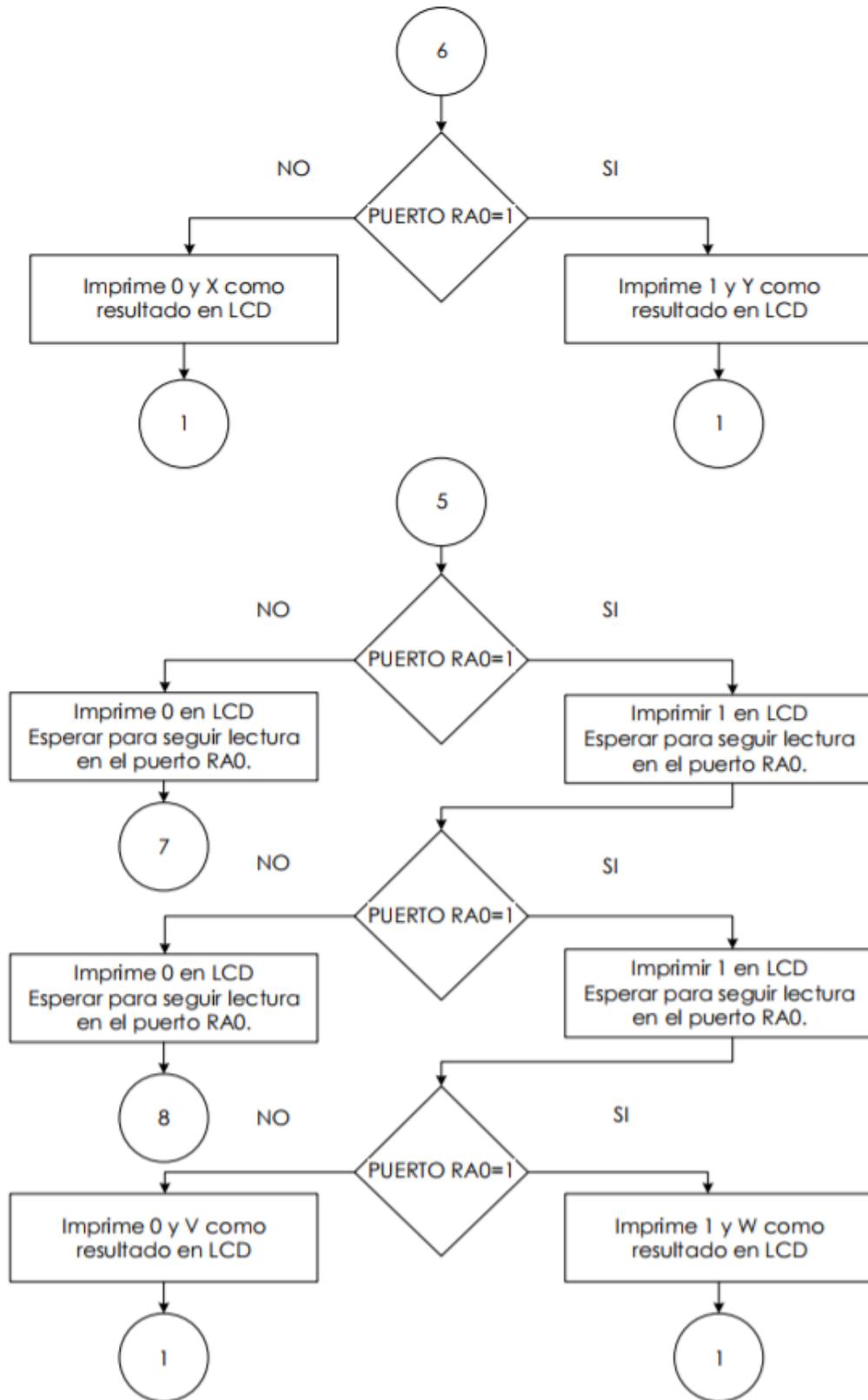


Figura 4-7

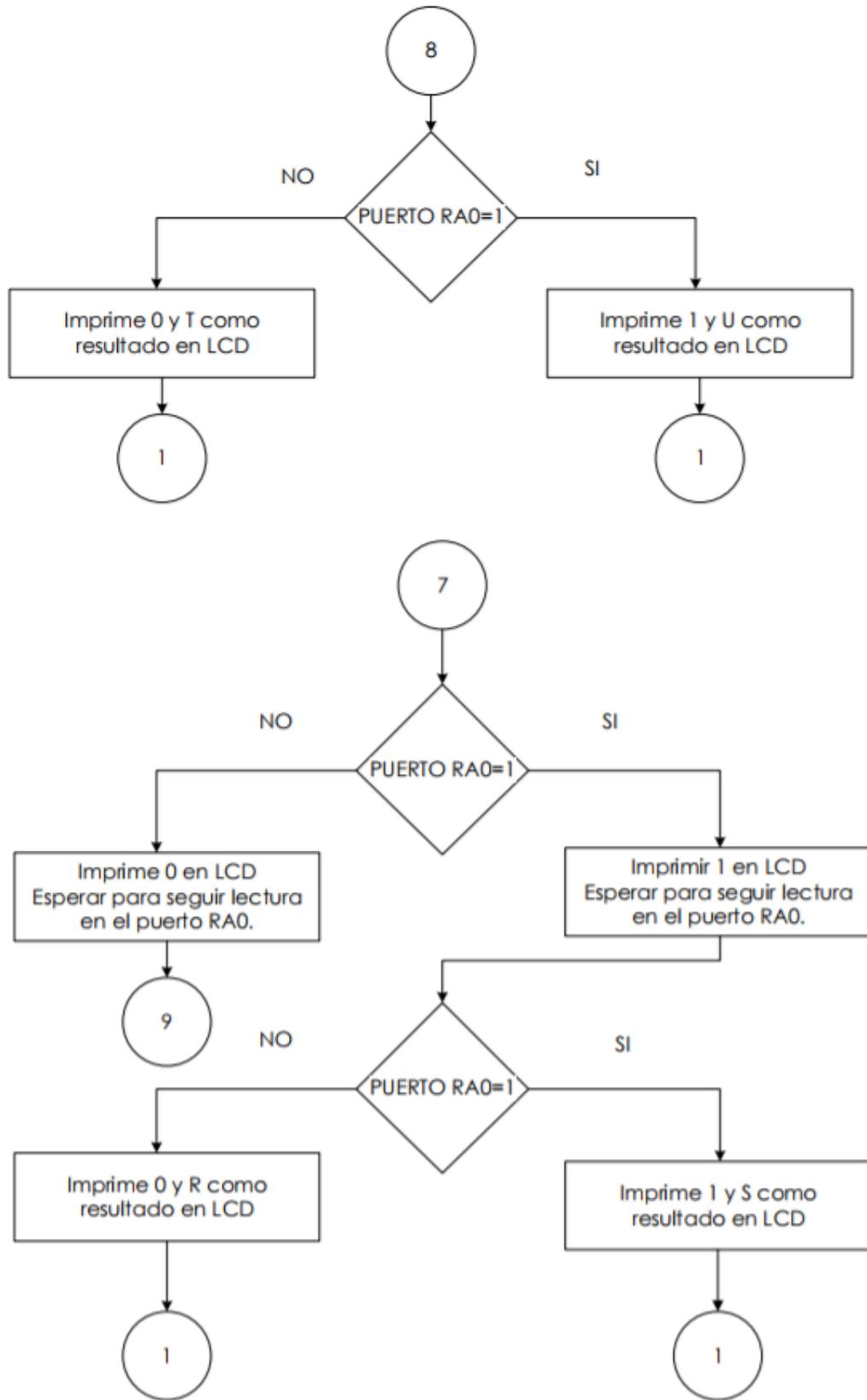


Figura 4-8

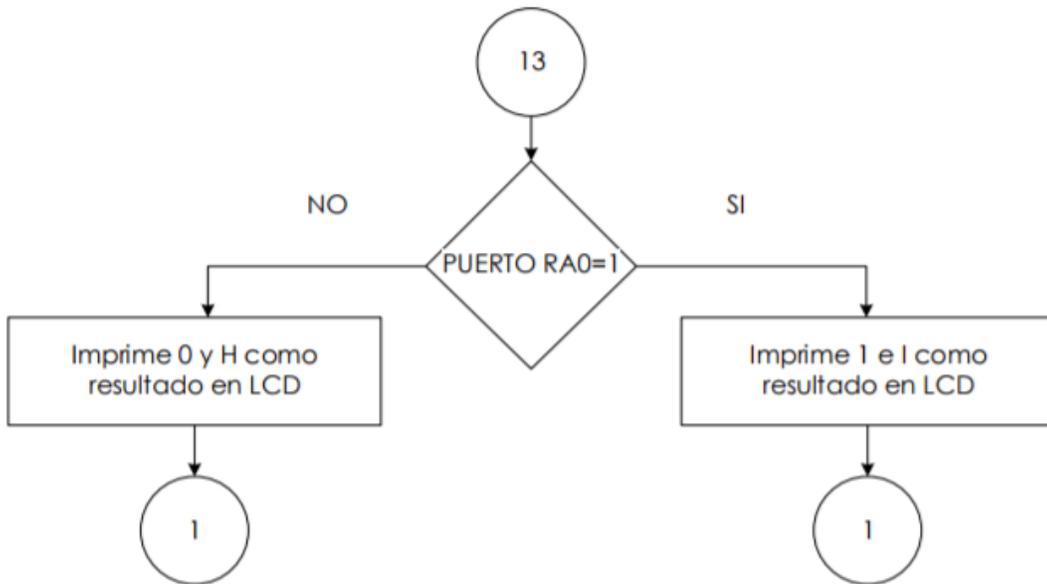
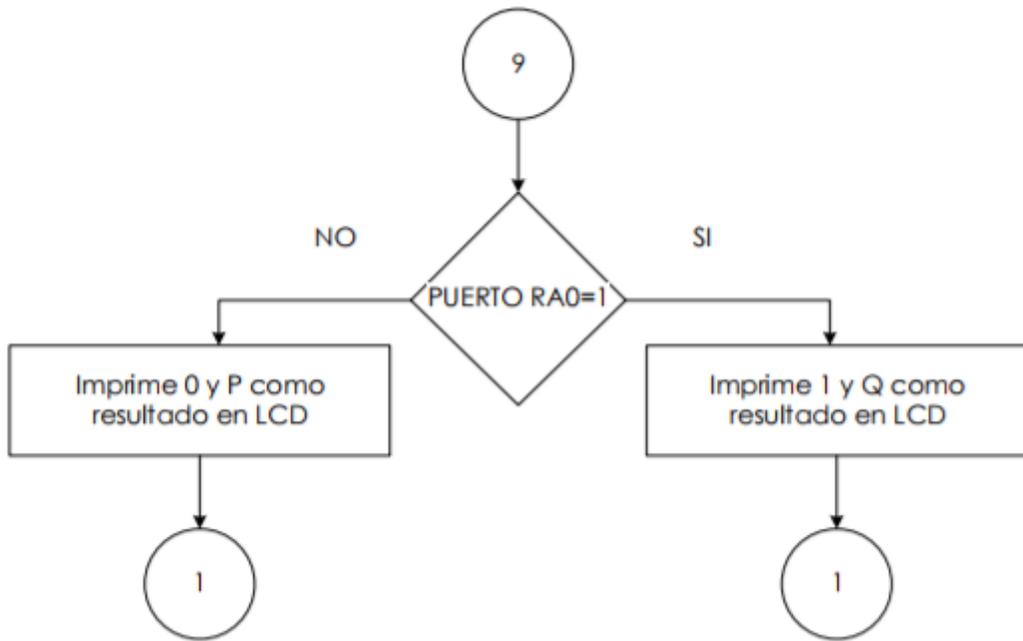


Figura 4-9

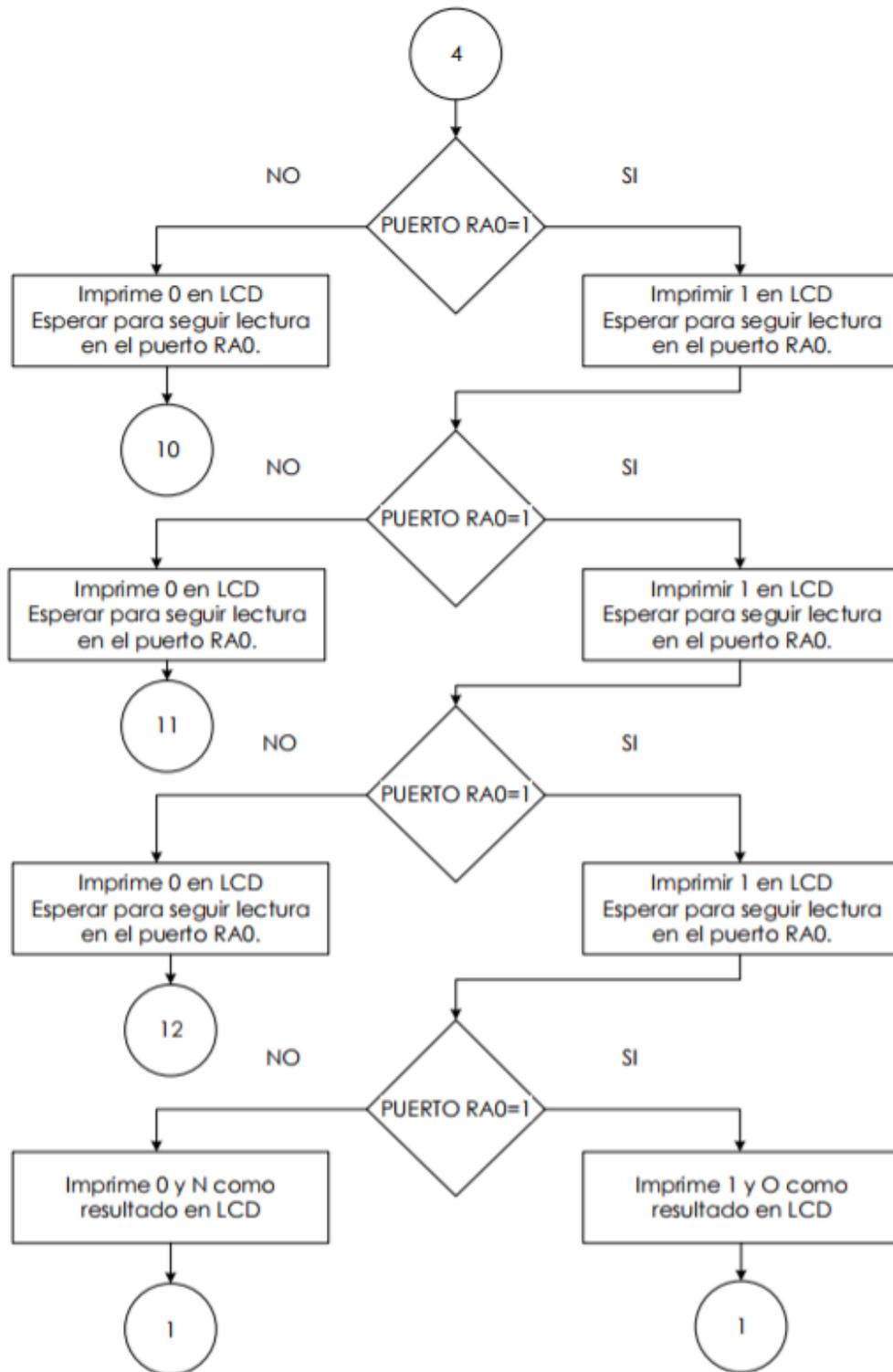


Figura 4-10

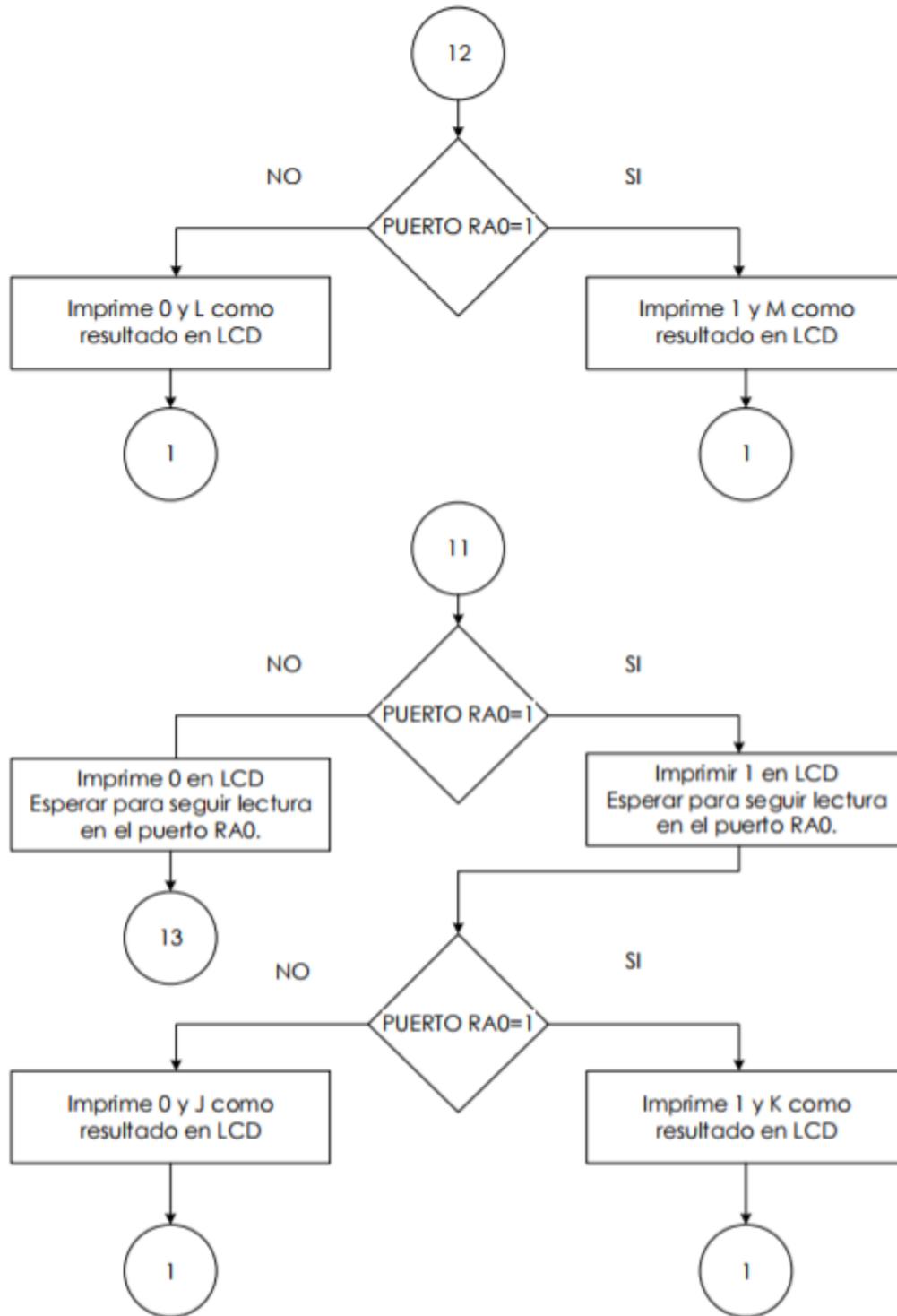


Figura 4-11

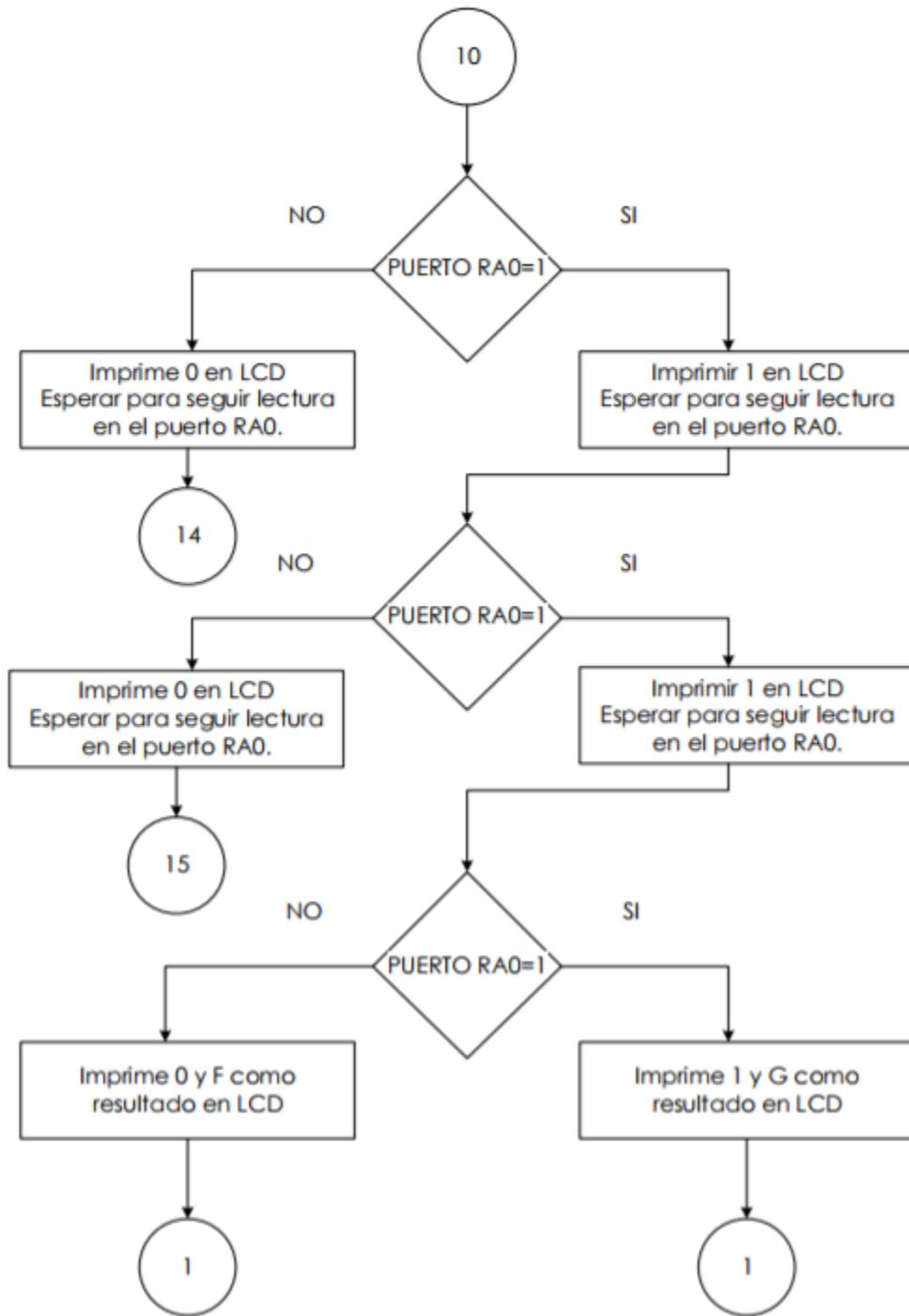


Figura 4-12

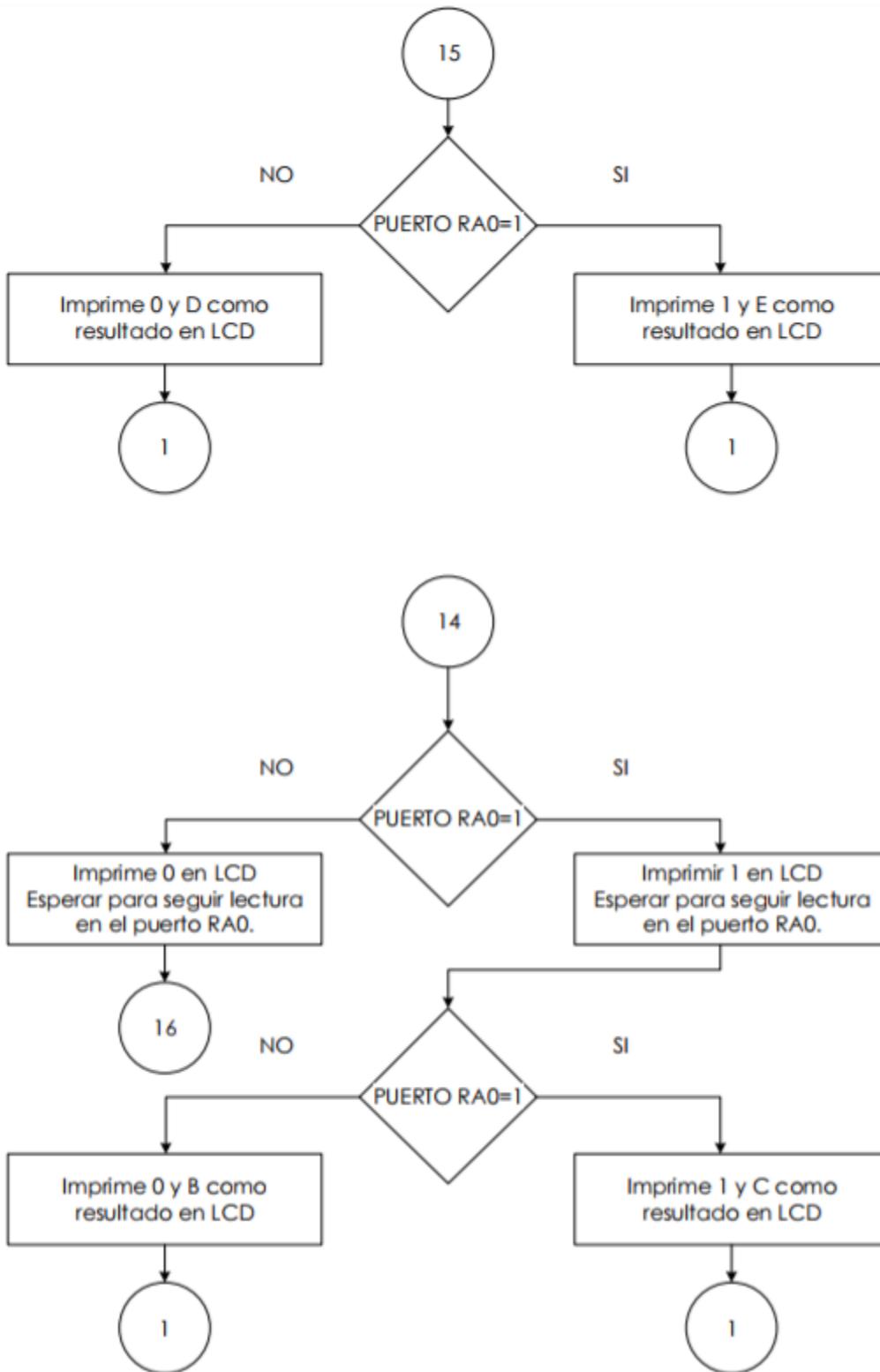


Figura 4-12

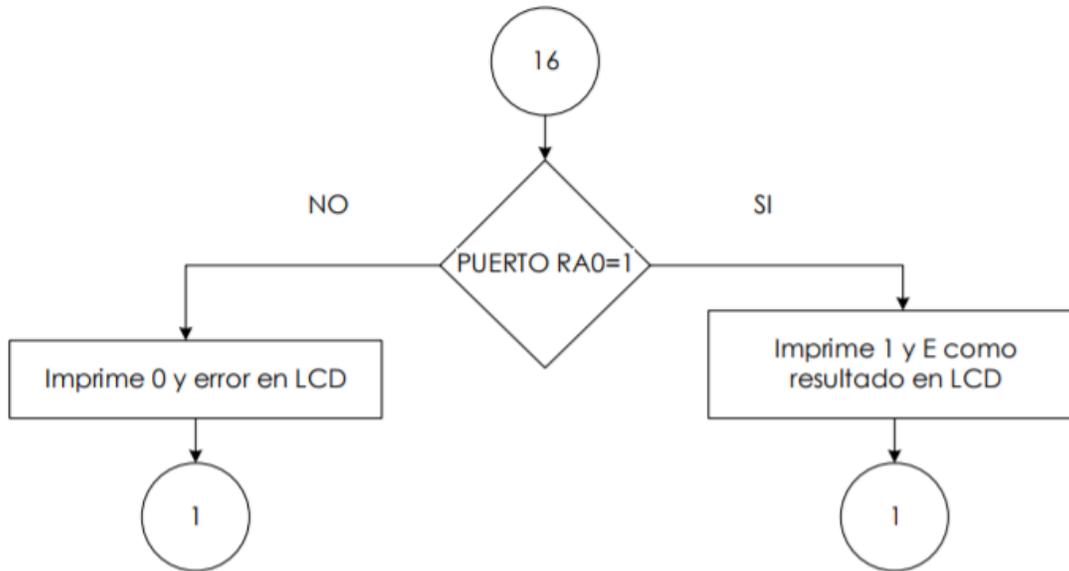


Figura 4-14

#### 4.2.2 Visualización en LCD

El prototipo completo se armó en un par de de protoboards y se probó el programa en la LCD como se muestra en la figura 4-15.



Figura 4-15 Inicialización de programa

En las imágenes siguientes se muestran algunos ejemplos del mensaje de error.

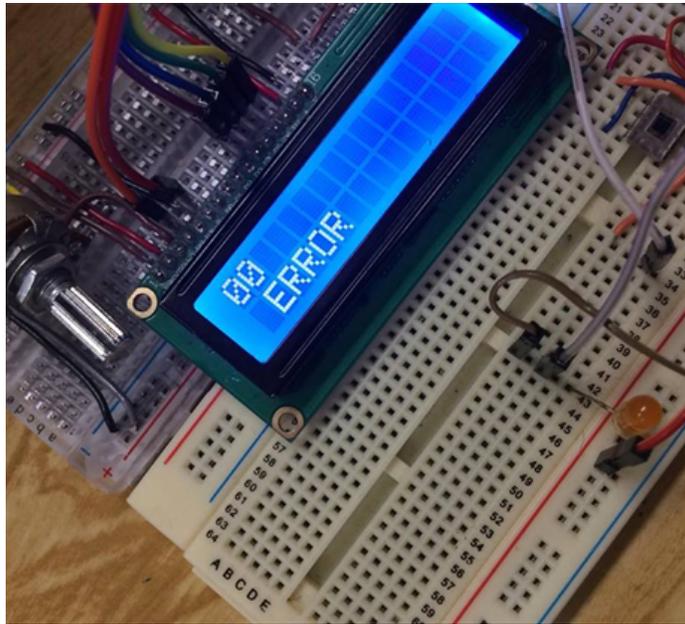


Figura 4-16 Ejemplo tipo de error

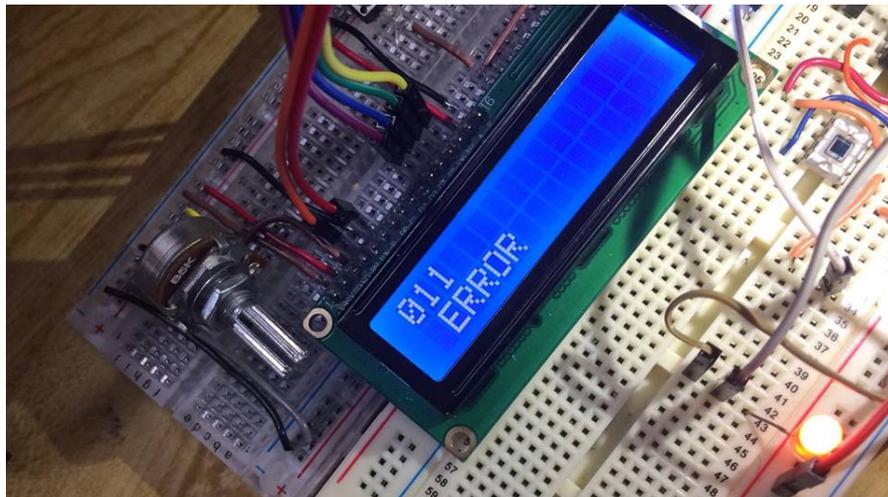


Figura 4-17 Ejemplo mensaje de error

Finalmente después de la lectura de los ocho datos y sin error se imprime la letra como se muestra a continuación en la figura 4-18, los datos recibidos se mantienen visibles en la primera línea del LCD, mientras que en la segunda línea se muestra la letra correspondiente.

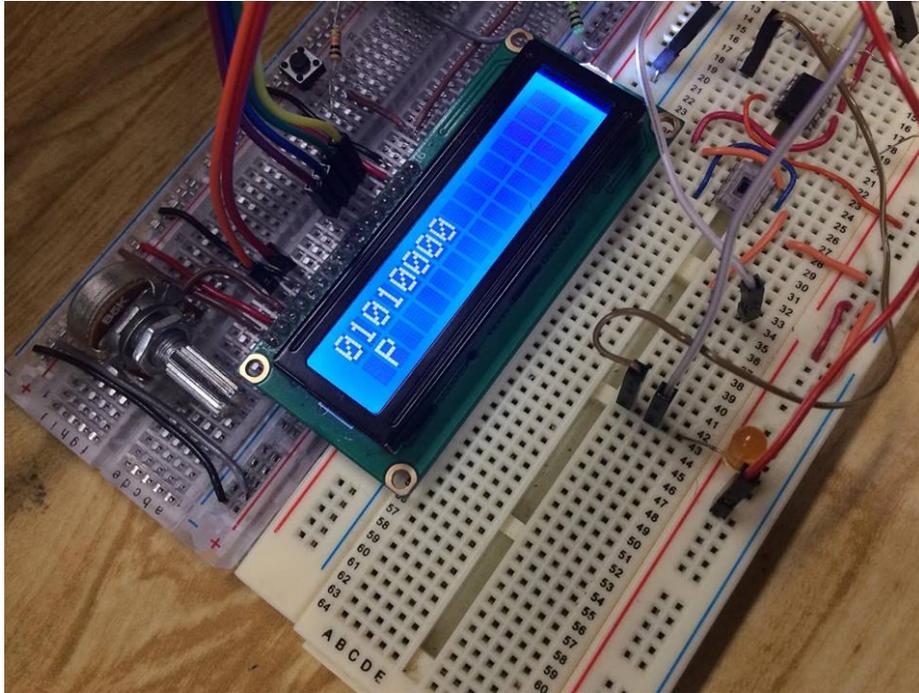


Figura 4-18 Letra impresa en LCD

## 4.3 Diseño y Elaboración de PCB

### 4.3.1 Puerto de programación

El prototipo final incluye un puerto de programación, esto es con la finalidad de poder hacer modificaciones o actualizaciones al firmware. Recordando que este prototipo pretende seguir siendo mejorado, este recurso permitirá a desarrolladores futuros implementar mejoras en el código de programación utilizando la misma tarjeta e incluso otra carga útil.

### 4.3.2 Esquemático

En la Figura 4-19 se puede apreciar el primer circuito diseñado del prototipo completo.

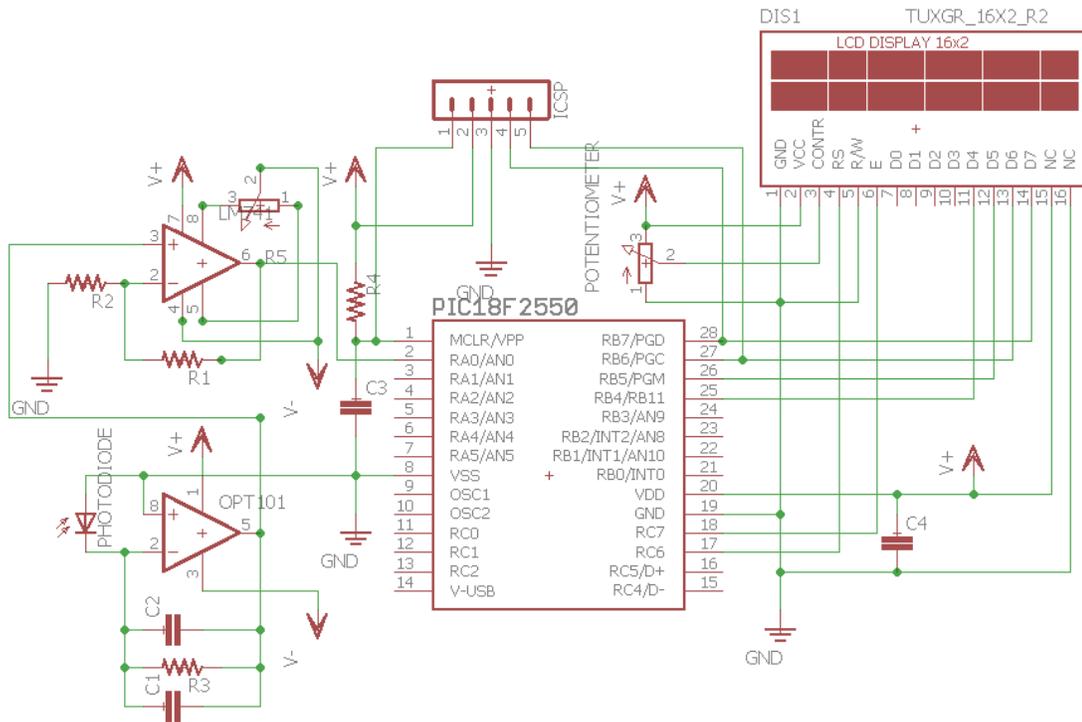


Figura 4-19 Diagrama primer esquemático PCB

En la figura 4-20 se encuentra el esquemático del protipo con las correcciones implementadas

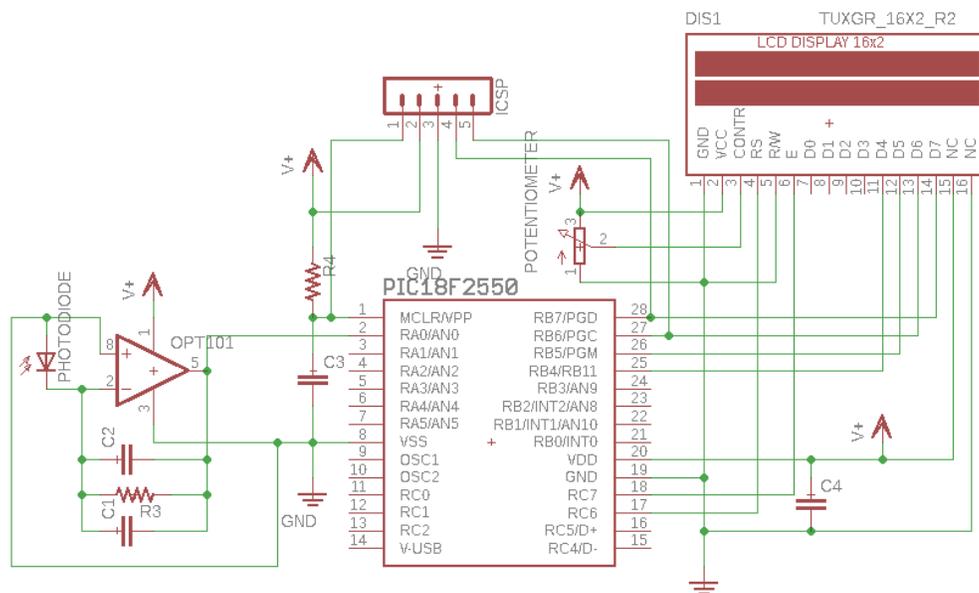


Figura 4-20 Diagrama esquemático PCB con correcciones

### 4.3.3 Diseño de PCB

Para el display LCD se ideó un PCB aparte, como se muestra en la imagen 4-21.

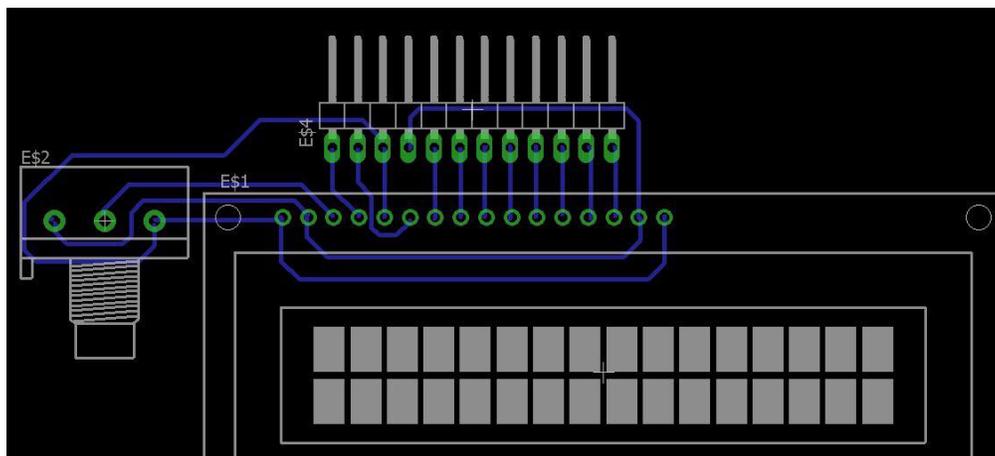


Figura 4-21 Diseño de PCB para LCD con potenciómetro

Diseño de PCB, con puerto de programación.

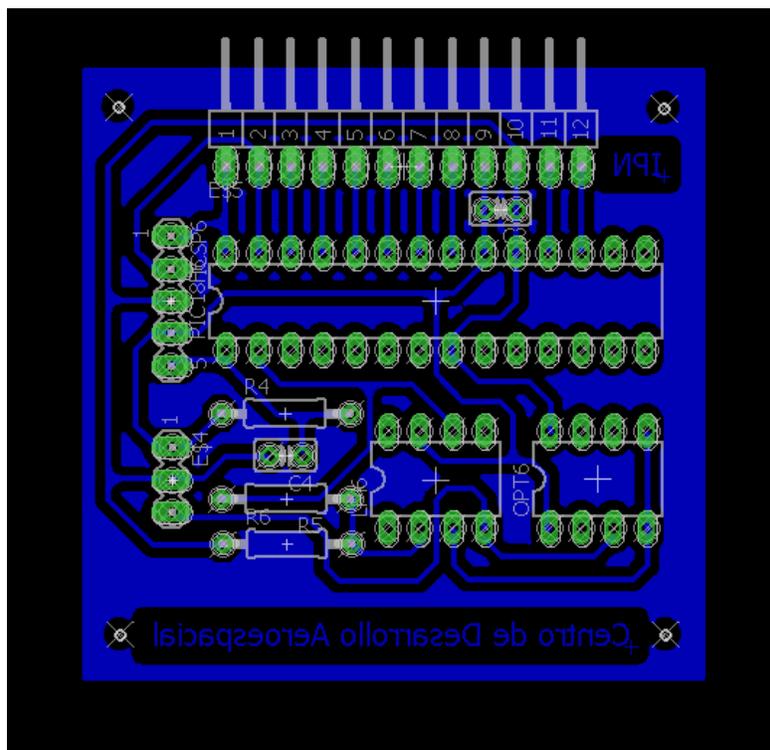


Figura 4-22 Diseño PCB de circuito prototipo de receptor óptico IPNSat

#### 4.3.4 Elaboración de PCB

En la figura 4-23 y 4-24 se muestran las placas del prototipo, la principal (4-23) y la secundaria (4-24). La placa secundaria se puede interpretar como la placa de visualización, puesto que está diseñada únicamente para el montaje de LCD y el control de contraste del mismo.

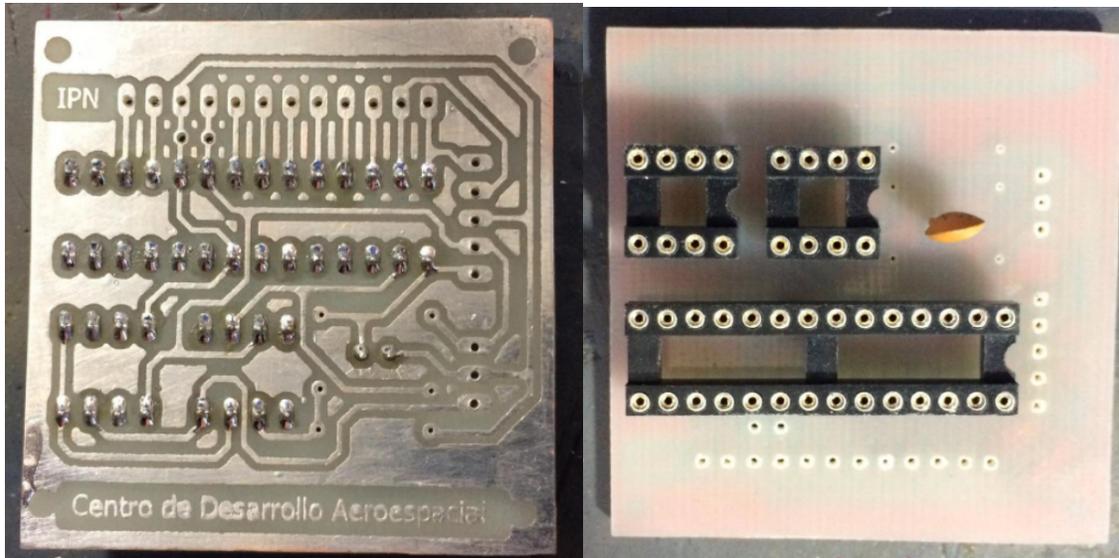


Figura 4-23 PCB Principal

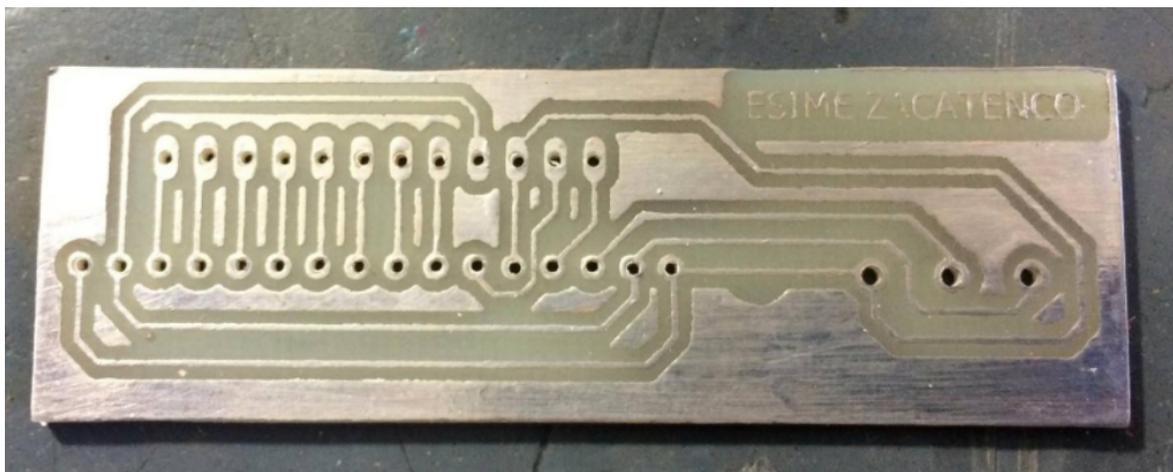


Figura 4-24 PCB de display LCD

# Capítulo 5

## **Conclusiones y trabajos a futuro**

En este capítulo se presentan las conclusiones generales respecto al desarrollo y resultados obtenidos del receptor óptico y se mencionan las consideraciones a integrar para sus futuras mejoras.

## 5.1 Conclusiones

Las comunicaciones ópticas han dado resultados prometedores, fomentando su investigación para futuras aplicaciones, a cortas y largas distancias. Aunado a esto las ventajas que ofrece el láser como una opción de transmisión no guiada aumentan la ambición por aprovechar esta tecnología para las nuevas comunicaciones.

Si bien no es un sistema libre de desventajas, la modulación ASK (OOK) permite facilitar su utilización en un sistema de comunicación.

El circuito prototipo elaborado, no superó los 5 x 5 cm en sus dimensiones, lo que lo hace adecuado para su instalación en un CubeSat.

En el entendido de que la idea principal de un Cubesat se desarrolló para ayudar a las universidades alrededor del mundo a realizar proyectos de ciencia espacial y con frecuencia se utilizan componentes comerciales para su electrónica, el circuito prototipo no superó los 500 pesos. [Vease Anexo 3]

Al implementar un puerto de programación promovemos el libre uso de este prototipo para estudios futuros o nuevas implementaciones al firmware.

## 5.2 Trabajos a futuro

El trabajo a futuro más cercano es la implementación del protocolo de comunicación I2C en el microcontrolador, que permitirá enviar la información recibida del receptor hacia la computadora a bordo.

Para facilitar la incidencia de luz en el fotodiodo es necesario una antena óptica o colimador de haz para homogenizar los rayos obtenidos del transmisor.

Un factor muy importante es la aplicación de resina Epoxica. Estas resinas son utilizadas para aplicaciones estructurales y de altas temperaturas, se pretende recubrir el presente circuito con este tipo de resina, y así proteger los componentes de los cambios bruscos de temperatura o bien realizar el análisis de componentes de carácter aeroespacial para futura implementación en prototipo.

# Anexos

## Anexo 1

A continuación se muestra el programa desarrollado en lenguaje C, y previamente esquematizado en el diagrama de flujo mostrado en el capítulo 3.

```
// PIC18F2550 Configuration Bit Settings
// 'C' source line config statements
// CONFIG1L
#pragma config PLLDIV = 1      // PLL Prescaler Selection bits (No prescale
(4 MHz oscillator input drives PLL directly))
#pragma config CPUDIV = OSC1_PLL2 // System Clock Postscaler Selection
bits ([Primary Oscillator Src: /1][96 MHz PLL Src: /2])
#pragma config USBDIV = 1      // USB Clock Selection bit (used in Full-
Speed USB mode only; UCFG:FSEN = 1) (USB clock source comes directly
from the primary oscillator block with no postscale)

// CONFIG1H
#pragma config FOSC = INTOSC_HS // Oscillator Selection bits (Internal
oscillator, HS oscillator used by USB (INTHS))
#pragma config FCMEN = OFF     // Fail-Safe Clock Monitor Enable bit (Fail-
Safe Clock Monitor disabled)
#pragma config IESO = OFF     // Internal/External Oscillator Switchover bit
(Oscillator Switchover mode disabled)

// CONFIG2L
#pragma config PWRT = OFF      // Power-up Timer Enable bit (PWRT
disabled)
#pragma config BOR = OFF      // Brown-out Reset Enable bits (Brown-out
Reset disabled in hardware and software)
#pragma config BORV = 3      // Brown-out Reset Voltage bits (Minimum
setting 2.05V)
#pragma config VREGEN = OFF   // USB Voltage Regulator Enable bit (USB
voltage regulator disabled)

// CONFIG2H
#pragma config WDT = OFF      // Watchdog Timer Enable bit (WDT
disabled (control is placed on the SWDTEN bit))
```

```
#pragma config WDTPS = 32768 // Watchdog Timer Postscale Select bits  
(1:32768)
```

```
// CONFIG3H
```

```
#pragma config CCP2MX = OFF // CCP2 MUX bit (CCP2 input/output is  
multiplexed with RB3)
```

```
#pragma config PBADEN = OFF // PORTB A/D Enable bit (PORTB<4:0> pins  
are configured as digital I/O on Reset)
```

```
#pragma config LPT1OSC = OFF // Low-Power Timer 1 Oscillator Enable bit  
(Timer1 configured for higher power operation)
```

```
#pragma config MCLRE = ON // MCLR Pin Enable bit (MCLR pin  
enabled; RE3 input pin disabled)
```

```
// CONFIG4L
```

```
#pragma config STVREN = OFF // Stack Full/Underflow Reset Enable bit  
(Stack full/underflow will not cause Reset)
```

```
#pragma config LVP = OFF // Single-Supply ICSP Enable bit (Single-  
Supply ICSP disabled)
```

```
//#pragma config ICPR1 = OFF // Dedicated In-Circuit  
Debug/Programming Port (ICPORT) Enable bit (ICPORT disabled)
```

```
#pragma config XINST = OFF // Extended Instruction Set Enable bit  
(Instruction set extension and Indexed Addressing mode disabled (Legacy  
mode))
```

```
// CONFIG5L
```

```
#pragma config CP0 = OFF // Code Protection bit (Block 0 (000800-  
001FFFh) is not code-protected)
```

```
#pragma config CP1 = OFF // Code Protection bit (Block 1 (002000-  
003FFFh) is not code-protected)
```

```
#pragma config CP2 = OFF // Code Protection bit (Block 2 (004000-  
005FFFh) is not code-protected)
```

```
#pragma config CP3 = OFF // Code Protection bit (Block 3 (006000-  
007FFFh) is not code-protected)
```

```
// CONFIG5H
```

```
#pragma config CPB = OFF // Boot Block Code Protection bit (Boot  
block (000000-0007FFFh) is not code-protected)
```

```
#pragma config CPD = OFF // Data EEPROM Code Protection bit (Data  
EEPROM is not code-protected)
```

```
// CONFIG6L
```

```
#pragma config WRT0 = OFF // Write Protection bit (Block 0 (000800-  
001FFFh) is not write-protected)
```

```

#pragma config WRT1 = OFF // Write Protection bit (Block 1 (002000-
003FFFh) is not write-protected)
#pragma config WRT2 = OFF // Write Protection bit (Block 2 (004000-
005FFFh) is not write-protected)
#pragma config WRT3 = OFF // Write Protection bit (Block 3 (006000-
007FFFh) is not write-protected)

// CONFIG6H
#pragma config WRTC = OFF // Configuration Register Write Protection
bit (Configuration registers (300000-3000FFh) are not write-protected)
#pragma config WRTB = OFF // Boot Block Write Protection bit (Boot
block (000000-0007FFh) is not write-protected)
#pragma config WRTD = OFF // Data EEPROM Write Protection bit (Data
EEPROM is not write-protected)

// CONFIG7L
#pragma config EBTR0 = OFF // Table Read Protection bit (Block 0
(000800-001FFFh) is not protected from table reads executed in other
blocks)
#pragma config EBTR1 = OFF // Table Read Protection bit (Block 1
(002000-003FFFh) is not protected from table reads executed in other
blocks)
#pragma config EBTR2 = OFF // Table Read Protection bit (Block 2
(004000-005FFFh) is not protected from table reads executed in other
blocks)
#pragma config EBTR3 = OFF // Table Read Protection bit (Block 3
(006000-007FFFh) is not protected from table reads executed in other
blocks)
// CONFIG7H
#pragma config EBTRB = OFF // Boot Block Table Read Protection bit
(Boot block (000000-0007FFh) is not protected from table reads executed in
other blocks)
// #pragma config statements should precede project file includes.
// Use project enums instead of #define for ON and OFF.
#include<stdlib.h>
#include<stdio.h>
#include <xc.h>
#define _XTAL_FREQ 8000000// oscilador interno
#define LCD_TRIS_RS TRISCbits.TRISC6
#define LCD_TRIS_E TRISCbits.TRISC7
#define LCD_PIN_RS PORTCbits.RC6
#define LCD_PIN_E PORTCbits.RC7

#define LCD_TRIS_D TRISB

```

```

#define LCD_PIN_D PORTB

void lcd_control(char);
void lcd_limpiar_display();
void lcd_iniciar();
void lcd_print(char*);
void lcd_time();
void lcd_dato(char);
void lcd_cursor_home();
void lcd_print_posicion(int,int,char*);
void lcd_limpiar_display() {
    lcd_control(0x01);
}
void lcd_iniciar(){
    LCD_TRIS_RS=0;//CONFIGURACION DE RS COMO SALIDA
    LCD_TRIS_E=0;// CONFIGURACION DE ENABLE COMO SALIDA
    LCD_TRIS_D=0x0F;//USAR D4 A D7 EN PUERTO B4 A B7
    LCD_PIN_RS=0;//LIMPIAR
    LCD_PIN_E=0;//LIMPIAR
    LCD_PIN_D=0x00;//LIMPIAR
    __delay_ms(50); // Tiempo de espera a que se estabilicen los puertos
    lcd_control(0x02); //Asegura el Cursos del LCD Al inicio (Home)
    lcd_control(0x28); //Configura el LCD a 4 Bits, 2 Lineas Y Fuente de 5*8;
    Lineas Esto se llama el function set
    lcd_control(0x0C); //LCD Prendido, Cursor Apagado, Destello Cursor
    apagado; Esto se Llama Diplay on/off Control
    lcd_control(0x06); //No rota el mensaje Y se incrementa el contador de
    direccion. Esto se Llama Entry Mode Set

}
/*
 * Esta rutina se encarga de tomar un dato y ponerlo en el puerto de datos
 * teniendo en cuenta que es a 4 bits, por lo tanto tiene que hacer cambio
de nibbles(cuatro digitos binarios)
 * primer se envia el nibble mas significativo y luego se envia el menos
significativo
 */
void lcd_control(char dato){
    LCD_PIN_RS=0;
    LCD_PIN_D= dato & 0xF0;
    lcd_time();
    LCD_PIN_D=((dato & 0x0F) << 4);//desplazamineto a la izquierda a bits
menos significativos por que esta configurado a los ultimos cuatro bits
    lcd_time();
}

```

```

    __delay_ms(2);
}
//enable en alto para enviar dato
void lcd_time(){
    LCD_PIN_E = 1;
    __delay_us(5);
    LCD_PIN_E = 0;
    __delay_us(5);
}
void lcd_dato(char dato) { //escribir caracter en los datos
    LCD_PIN_RS=1;
    LCD_PIN_D= dato & 0xF0;
    lcd_time();
    LCD_PIN_D= ((dato & 0x0F) << 4);
    lcd_time();
    __delay_us(50);
}
/*
 * El puntero regresa al inicio sin modificar los datos del LCD
 */
void lcd_cursor_home() {
    lcd_control(0x02);
}
void lcd_print_posicion(int x, int y, char *dato) {
    char posicion;
    switch (y) {
        case 1: posicion = 0x80 + x;
            break;
        case 2: posicion = 0xC0 + x;
            break;
        default: posicion = 0x80 + x;
            break;
    }
    lcd_control(posicion);
    lcd_print(dato);
}

void lcd_print(char *dato){ //indireccion usada como puntero a dato
while (*dato) // Mientras no sea Null
{
    lcd_dato(*dato); // Envio el dato al LCD
    dato++; // Incrementa el buffer de dato
}
}

```

```

//prueba 1
void main()
{
    ADCON1=0x0F; //1=ENTRADAS 0=SALIDAS DIGITALES PARA PIC18F4550
    ACCON1 ES PARA SALIDAS ANALOGICAS
    TRISA=0x01; //1=entrada
    PORTA=0x00;//limpiar puertos A
    lcd_iniciar();
    lcd_limpiar_display();
    lcd_print("encender laser");
    lcd_print_posicion(0,2,"para iniciar");
    if (PORTAbits.RA0==1)
    {
        lcd_limpiar_display();
    while(1) //si llevo a cabo el programa repetir
    {

        __delay_ms(100);
        if (PORTAbits.RA0==1)//bit 1
        {

            lcd_dato(0x31);
            lcd_print_posicion(1,2,"ERROR");
            break;
        }
        else //bit1
        {
            lcd_dato(0x30);//imprime 0
            __delay_ms(100);
            if (PORTAbits.RA0==1) //bit2
            {
                lcd_dato(0x31);
                __delay_ms(100);
                if (PORTAbits.RA0==1) //bit3
                {
                    lcd_dato(0x31); //imprime 1
                    lcd_print_posicion(1,2,"ERROR");
                    __delay_ms(100);
                    break;
                }
            }
            else // bit3
            {
                lcd_dato(0x30);//imprime 0
                __delay_ms(100);
            }
        }
    }
}

```

```

if (PORTAbits.RA0==1)//bit 4 P-Z
{
lcd_dato(0x31); //imprime 1
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit 5 X-Z
{
lcd_dato(0x31); //imprime 1
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit 6
{
lcd_dato(0x31); //imprime 1
lcd_print_posicion(1,2,"ERROR");
__delay_ms(100);
break;
}
else// bit 6 X-Z
{
lcd_dato(0x30); //imprime 0
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)// bit7 Z
{
lcd_dato(0x31); //imprime 1
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1) //bit8 Z
{
lcd_dato(0x31); //imprime 1
lcd_print_posicion(1,2,"ERROR");
__delay_ms(100);
break;
}
}
else
{
lcd_dato(0x30); //imprime 0
lcd_print_posicion(1,2,"Z");
__delay_ms(100);
break;
}
}
else//bit7 X-Y
{
lcd_dato(0x30); //imprime 0
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit8 Y
{

```

```

lcd_dato(0x31); //imprime 1
lcd_print_posicion(1,2,"Y");
__delay_ms(100);
break;
}
else//bit8 X
{
lcd_dato(0x30);//imprime 0
lcd_print_posicion(1,2,"X");
__delay_ms(100);
break;
}
}
}
}
else //bit 5 P-W
{
lcd_dato(0x30);//imprime 0
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit6 T-W
{
lcd_dato(0x31);
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit7 V-W
{
lcd_dato(0x31);
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit8 W
{
lcd_dato(0x31);
lcd_print_posicion(1,2,"W");
__delay_ms(100);
break;
}
}
}
else//bit8 V
{
lcd_dato(0x30);//imprime 0
lcd_print_posicion(1,2,"V");
__delay_ms(100);
break;
}
}
else//bit7 TU
{

```

```

lcd_dato(0x30);//imprime 0
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit8 U
{
lcd_dato(0x31);
lcd_print_posicion(1,2,"U");
__delay_ms(100);
break;
}
else//bit8 T
{
lcd_dato(0x30);//imprime 0
lcd_print_posicion(1,2,"T");
__delay_ms(100);
break;
}
}
}
else//bit6 P-S
{
lcd_dato(0x30);//imprime 0
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit7 R-S
{
lcd_dato(0x31);
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit8 S
{
lcd_dato(0x31);
lcd_print_posicion(1,2,"S");
__delay_ms(100);
break;
}
}
else//bit8 R
{
lcd_dato(0x30);//imprime 0
lcd_print_posicion(1,2,"R");
__delay_ms(100);
break;
}
}
else//bit7 P-Q
{
lcd_dato(0x30);//imprime 0

```

```

__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit8 Q
{
lcd_dato(0x31);
lcd_print_posicion(1,2,"Q");
__delay_ms(100);
break;
}
else //bit8 P
{
lcd_dato(0x30);//imprime O
lcd_print_posicion(1,2,"P");
__delay_ms(100);
break;
}
}
}
}
}
}
else //bit 4 A-O
{
lcd_dato(0x30);//imprime 0
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit5 H-O
{
lcd_dato(0x31);
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit6 L-O
{
lcd_dato(0x31);
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit7 N-O
{
lcd_dato(0x31);
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit8 O
{
lcd_dato(0x31);
lcd_print_posicion(1,2,"O");
__delay_ms(100);
break;
}
}
}
}
else//bit8 N
{

```

```

lcd_dato(0x30);//imprime O
lcd_print_posicion(1,2,"N");
__delay_ms(100);
break;
}
}
else//bit7 L-M
{
lcd_dato(0x30);//imprime O
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit8 M
{
lcd_dato(0x31);
lcd_print_posicion(1,2,"M");
__delay_ms(100);
break;
}
else //bit8 L
{
lcd_dato(0x30);//imprime O
lcd_print_posicion(1,2,"L");
__delay_ms(100);
break;
}
}
}
else//bit6 H-K
{
lcd_dato(0x30);//imprime O
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit7 J-K
{
lcd_dato(0x31);
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit8 K
{
lcd_dato(0x31);
lcd_print_posicion(1,2,"K");
__delay_ms(100);
break;
}
}
else//bit8 J
{
lcd_dato(0x30);//imprime O

```

```

lcd_print_posicion(1,2,"J");
__delay_ms(100);
break;
}
}
else//bit7 H-I
{
lcd_dato(0x30);//imprime O
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit8 I
{
lcd_dato(0x31);
lcd_print_posicion(1,2,"I");
__delay_ms(100);
break;
}
else//bit8 H
{
lcd_dato(0x30);//imprime O
lcd_print_posicion(1,2,"H");
__delay_ms(100);
break;
}
}
}
}
else//bit5 A-G
{
lcd_dato(0x30);//imprime O
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit6 D-G
{
lcd_dato(0x31);
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit7 F-G
{
lcd_dato(0x31);
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit8 G
{
lcd_dato(0x31);
lcd_print_posicion(1,2,"G");
__delay_ms(100);
break;
}
}
}
}
}
}

```

```

}
else//bit8 F
{
lcd_dato(0x30);//imprime O
lcd_print_posicion(1,2,"F");
__delay_ms(100);
break;
}
}
else//bit7 D-E
{
lcd_dato(0x30);//imprime O
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit8 E
{
lcd_dato(0x31);
lcd_print_posicion(1,2,"E");
__delay_ms(100);
break;
}
else//bit8 D
{
lcd_dato(0x30);//imprime O
lcd_print_posicion(1,2,"D");
__delay_ms(100);
break;
}
}
}
else//bit6 A-C
{
lcd_dato(0x30);//imprime O
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit7 B-C
{
lcd_dato(0x31);
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit8 C
{
lcd_dato(0x31);
lcd_print_posicion(1,2,"C");
__delay_ms(100);
break;
}
}
}
}

```

```

else//bit8 B
{
lcd_dato(0x30);//imprime O
lcd_print_posicion(1,2,"B");
__delay_ms(100);
break;
}
}
else//bit7 A
{
lcd_dato(0x30);//imprime O
__delay_ms(100);
if (PORTAbits.RA0==1)//bit8 A
{
lcd_dato(0x31);
lcd_print_posicion(1,2,"A");
__delay_ms(100);
break;
}
else//bit8
{
lcd_dato(0x30);
lcd_print_posicion(1,2,"ERROR");
__delay_ms(100);
break;
}
}
}
}
}
}
}
}
}
else//bit2
{
lcd_dato(0x30);
lcd_print_posicion(1,2,"ERROR");
__delay_ms(100);
break;//
}
}
}
return; }

```

## Anexo 2 Código ASCII

Figura A.1 Tabla de código ASCII

Históricamente, en informática se han utilizado diferentes formas de codificación. En la actualidad, cabe citar por ejemplo la codificación EBCDIC (extended Binary Coded Decimal Interchange Code) o una de las codificaciones más universalmente utilizada, la conocida como ASCII (American Standard Code for Information Interchange).

La codificación ASCII tiene codificados 128 caracteres, lo cual es suficiente para incluir mayúsculas y minúsculas del abecedario inglés, además de cifras, puntuación, y algunos caracteres de control, pero el ASCII no incluye ni los caracteres acentuados, ni el comienzo de interrogación que se usa en castellano.

Sin embargo, la codificación ASCII expandido o extendido dispone de la codificación 128 caracteres más. De este modo, la información de entrada y salida en los ordenadores se realiza habitualmente en ASCII, un carácter por byte; a esta información fácilmente reconocible y que respeta la forma de expresión de las mentalidades naturales se le llama información en ASCII.

| ASCII | Hex | Símbolo | ASCII | Hex | Símbolo |
|-------|-----|---------|-------|-----|---------|
| 64    | 40  | @       | 80    | 50  | P       |
| 65    | 41  | A       | 81    | 51  | Q       |
| 66    | 42  | B       | 82    | 52  | R       |
| 67    | 43  | C       | 83    | 53  | S       |
| 68    | 44  | D       | 84    | 54  | T       |
| 69    | 45  | E       | 85    | 55  | U       |
| 70    | 46  | F       | 86    | 56  | V       |
| 71    | 47  | G       | 87    | 57  | W       |
| 72    | 48  | H       | 88    | 58  | X       |
| 73    | 49  | I       | 89    | 59  | Y       |
| 74    | 4A  | J       | 90    | 5A  | Z       |
| 75    | 4B  | K       | 91    | 5B  | [       |
| 76    | 4C  | L       | 92    | 5C  | \       |
| 77    | 4D  | M       | 93    | 5D  | ]       |
| 78    | 4E  | N       | 94    | 5E  | ^       |
| 79    | 4F  | O       | 95    | 5F  | _       |
| ASCII | Hex | Símbolo | ASCII | Hex | Símbolo |
| 96    | 60  | `       | 112   | 70  | p       |
| 97    | 61  | a       | 113   | 71  | q       |
| 98    | 62  | b       | 114   | 72  | r       |
| 99    | 63  | c       | 115   | 73  | s       |
| 100   | 64  | d       | 116   | 74  | t       |
| 101   | 65  | e       | 117   | 75  | u       |
| 102   | 66  | f       | 118   | 76  | v       |
| 103   | 67  | g       | 119   | 77  | w       |
| 104   | 68  | h       | 120   | 78  | x       |
| 105   | 69  | i       | 121   | 79  | y       |
| 106   | 6A  | j       | 122   | 7A  | z       |
| 107   | 6B  | k       | 123   | 7B  | {       |
| 108   | 6C  | l       | 124   | 7C  |         |
| 109   | 6D  | m       | 125   | 7D  | }       |
| 110   | 6E  | n       | 126   | 7E  | -       |
| 111   | 6F  | o       | 127   | 7F  | ~       |

### Anexo 3 Tabla de costos

| Elemento                               | Costo  |
|--|--------|
| <b>OPT101</b>                          | 55.00  |
| <b>LM471</b>                           | 10.00  |
| <b>Fibra de vidrio</b>                 | 140.00 |
| <b>Pic2550</b>                         | 120.00 |
| <b>LCD</b>                             | 70.00  |
| <b>Bases torneadas para integrados</b> | 30.00  |
| <b>Resistores</b>                      | 5.00   |
| <b>Total</b>                           | 430.00 |

# Referencias

- [1] Wayne Tomasi, Sistemas de comunicaciones electrónicas, Pearson Educación, 2003.
- [2] Rodolfo Neri Vela, Comunicaciones por satélite, Thomson Learning, 2003.
- [3] <https://www.itu.int/rec/R-REC-V.431-7-200005-S/es>
- [4] Joseph N. Pelton, Satellite Communications, Springer, 2012.
- [5] Ram S. Jakhu, Joseph N. Pelton, Small Satellites and Their Regulation, Springer, 2014.
- [6] Spacecraft systems engineering, Third Edition.\*\*
- [7] Especificaciones de diseño del cubesat. (CubeSat Design Specification). California Polytechnic State University.
- [8] Carlos Rosado, Comunicaciones por satélite: principios tecnología y sistemas, Limusa, 2008.
- [9] [https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/orbit\\_feature\\_5-8.html](https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/orbit_feature_5-8.html)
- [10] Oleg Golovin V., Hildeberto Jardón A., Receptores para sistemas de radiocomunicación, Alfaomega, 1998.
- [11] Arun K. Majumdar, Jennifer C. Ricklin, Free-Space laser communications, springer, 2008
- [12] L.Bachs, J. Cuesta, N. Carles, Aplicaciones industriales láser, Productica,1988
- [13] Edgar González, El láser principios básicos , Universidad Santo Tomas.
- [14] Thomas L. Floyd, Dispositivos Electronicos, Pearson Educaicon, 2008
- [15] Kathleen Michelle Riesing, Development of a Pointing, Acquisition, and Tracking System for a nanosatellite Laser Communications Module, Massachusetts Institute of Technology, 2015.
- [16] H. Torres Ortega, Guía de diseño de PCB, 54 pags.

- [17] Texas Instruments, Transimpedance considerations for high-speed amplifiers, 2009
- [18] OPT101 Monolithic Photodiode and Single-Supply Transimpedance Amplifier, Texas Instruments
- [19] Luces M. Faulkenberry, Introducción a los amplificadores operacionales con aplicaciones a ci lineales, LIMUSA, 1990
- [20] MICROCHIP, MPLAB® X IDE User's Guide, Microchip Technology Inc., 2011-2015.
- [21] Felix Garcia Caballeira, Alejandro Calderon Mateos, Jesus Carretero Perez, Javier Fernando Muñoz, Jose Ma. Perez Menor. Problemas Resueltos de programación en lenguaje C, Paraninfo, 2003.
- [22] Victor Rosano, Electronica y microcontroladores PIC, USERS, 2009
- [23] <https://www.jabasat.com/>
- [24] Maureen A. Boyle, Cary J.. Martin, and John D. Neuner, Hexcel Corporation, Epoxy Resins.

