

010

**SEMÁFORO INTER
CON ILUMINACIÓN
ESTADÍSTICA**

**GENTE
CIÓN DE
ÓLIDO**



**LUCY MILENA RAMÍREZ ARBOLEDA
ISABEL YIRLEIBIS QUEJADA PALACIOS
WILSON ALEXANDER PARRA CADAVID**

SEMÁFORO INTELIGENTE CON ILUMINACIÓN DE ESTADO SÓLIDO



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

PROGRAMA DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA

2010

SEMÁFORO INTELIGENTE CON ILUMINACIÓN DE ESTADO SÓLIDO

**LUCY MILENA RAMÍREZ ARBOLEDA
ISABEL YIRLEIBIS QUEJADA PALACIOS
WILSON ALEXANDER PARRA CADAVID**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA
PEREIRA
2010**

SEMÁFORO INTELIGENTE CON ILUMINACIÓN DE ESTADO SÓLIDO

**LUCY MILENA RAMÍREZ ARBOLEDA
ISABEL YIRLEIBIS QUEJADA PALACIOS
WILSON ALEXANDER PARRA CADAVID**

Proyecto de grado

Para optar al título de Tecnólogo Electricista

Director

Jhon Jaime Robby Góez

Docente del Programa de Tecnología Eléctrica

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE TECNOLOGÍA

PROGRAMA DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA

PEREIRA

2010

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Pereira, 6 de abril de 2010

A mis padres quienes me infundieron la ética, la moral y la fortaleza que guían mi transitar por la vida, por su dedicación, sacrificio, esfuerzo y amor. A mis hermanos por confiar en mí y brindarme constantemente su apoyo, en especial mi hermano Antonio por su tenacidad y superación. A mi novio por estar siempre a mi lado, por su ejemplo de lucha y honestidad...por ellos y para ellos.

Con amor, admiración y respeto... Milena Ramírez A.

A Dios por darme la oportunidad de crecer en esta maravillosa experiencia. A mis padres por su labor incansable de educarme con principios y valores, por creer en mí y enseñarme que el éxito está reservado para los valientes.

A mi hermanito por brindarme su apoyo cuando más lo necesité, y a mis familiares porque la distancia no fue impedimento para estar siempre presente en los momentos buenos y sobre todo en los difíciles; ustedes me dieron la fortaleza para seguir adelante.

Gracias a todos por haber alcanzado conmigo un éxito más en mi vida.

Isabel Quejada P.

A mi tía y a mis primas por la oportunidad que me han dado para poder culminar esta carrera, y por enseñarme que para lograr el éxito se debe saber lo que se hace, amar lo que se hace y creer en lo que se hace.

A mis padres por enseñarme que las batallas de la vida no se dirigen al hombre más fuerte o más rápido, pero tarde o temprano, el hombre que gana es aquel que piensa que puede hacerlo.

Wilson Parra C.

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente queremos agradecer a DIOS todo poderoso por habernos dado salud, sabiduría y fortaleza para poder alcanzar nuestros objetivos, por permitir que nos encontráramos para que juntos emprendiéramos el mismo camino, teniendo la certeza de que con confianza, honestidad y trabajo duro, los grandes sueños se pueden hacer realidad.

A nuestras familias por habernos brindado apoyo incondicional en todo momento, por sus consejos, sus valores, por su motivación constante que nos han permitido ser unas personas de bien, pero más que nada, por su amor.

Agradecemos especialmente al director del proyecto de grado Jhon Jaime Robby Góez por su asesoramiento durante toda esta etapa, por su predisposición constante e incondicional, por su compromiso para que creciéramos intelectualmente y por sus grandes sugerencias durante la ejecución y realización del proyecto. Agradecemos también a todos los docentes que nos acompañaron en nuestra vivencia académica y nos animaron a seguir adelante, en especial a los profesores Sigilfredo Arregoces y Walter Cano por su total voluntad al momento de resolver cualquier duda y por sus fundamentales aportes y sugerencias.

Finalmente, gracias a la Universidad Tecnológica de Pereira por convertirse en nuestro segundo hogar y brindarnos sus recursos humanos y tecnológicos necesarios para el óptimo desarrollo de todas las actividades que hoy se traducen en nuestro crecimiento personal e intelectual.

Todo sacrificio vivido honestamente siempre terminará en alegría, tal cual como es la alegría que sentimos hoy al llevar a buen término el trabajo que estamos presentando.

Gracias a todos.

CONTENIDO

	Pág.
CONTENIDO DE FIGURAS	9
CONTENIDO DE TABLAS	13
CONTENIDO DE ANEXOS.....	14
GLOSARIO	17
RESUMEN.....	25
INTRODUCCIÓN	26
1. MEDIDOR DE DENSIDAD DE TRÁFICO VEHICULAR POR BARRERA INFRARRAJA	31
1.1 TRANSMISOR.....	32
1.1.1 Fuente de voltaje regulada de +5VCC	32
1.1.2 Oscilador simétrico	33
1.1.3 Emisor de luz infrarroja	36
1.2 RECEPTOR	40
1.2.1 Fuente de voltaje regulada de +5VCC	40
1.2.2 Módulo receptor IR.....	41
1.2.3 Monoestable	41
1.2.4 Interfaz de potencia.....	42
2. PLACA DE VIBRACIÓN	48
3. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA LAS FUENTES DE ENERGÍA CONVENCIONAL Y ALTERNATIVA.....	51
3.1 FUENTE REGULA CONVENCIONAL DE +12VCC.....	53
3.2 FUENTE ALTERNATIVA	54
3.3 CIRCUITO DE CONTROL DE CARGA DE LA BATERÍA	56
3.3.1 Fuente de voltaje regulada de +5VCC	57
3.3.2 Comparadores analógicos y sensores de nivel de la batería	57
3.3.3 Lógica de control.....	58

3.3.4 Interfaz de potencia.....	59
3.3.5 Bateria recargable	61
4. CONTROL DE GIRO HELIOTRÓPICO.....	65
4.1 MECÁNISMO DE MOVIMIENTO HELIOTRÓPICO.....	67
4.1.1 Panel solar fotovoltaico.....	67
4.1.2 Límites de carrera.....	67
4.1.3 Sensor de luz	68
4.1.4 Motor DC	69
4.2 CIRCUITO DE CONTROL DEL SISTEMA DE GIRO HELIOTRÓPICO.....	70
4.2.1 Interfaz convertidora de resistencia a voltaje.....	70
4.2.2 Comparadores analógicos	70
4.2.3 Lógica.....	74
4.2.4 Puente H.....	76
5. PANEL DE ILUMINACIÓN.....	83
5.1 CIRCUITO CONTROL DE FILAS	94
5.2 CIRCUITO CONTROL DE COLUMNAS	95
6. SISTEMA DE CONTROL DEL SEMÁFORO.....	99
6.1 ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	102
6.1.1 Sensor de luz ambiental LX1972	104
6.1.2 Interruptor y pulsadores de entrada.....	105
6.1.3 Interfaz de potencia de la placa de vibración.....	106
6.1.4 Interfaz de sonido.....	108
6.1.5 Interfaz de comunicación	110
6.1.5.1 El protocolo RS-232.....	110
6.1.5.2 El protocolo RS-485.....	111
6.1.6 Interfaz de potencia con relé	114
6.1.7 Control de barrido	116
6.2 RUTINA DE LECTURA DE ENTRADAS	120
6.3 RUTINA DE COMUNICACIÓN SERIAL USANDO LA USART.....	125
6.3.1 Subrutina del programa principal.....	128

6.3.2 Subrutina de comunicación de recepción.....	129
6.4 RUTINA DE LA PLACA DE VIBRACIÓN Y DE LA INTERFAZ DE SONIDO	132
6.4.1 Subrutina del programa principal.....	133
6.4.2 Subrutina del programa de vibración y sonido	135
6.5 RUTINA DE CONTROL DE LA LÁMPARA VERDE.....	141
6.5.1 Subrutina del temporizador 0	141
6.5.2 Subrutina de conversión A/D.....	143
6.5.3 Subrutina de visualización	146
7. INTERFAZ DE COMUNICACIÓN BIDIRECCIONAL RS-485.....	158
7.1 ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	158
7.1.1 Fuente de voltaje regulada de +5VCC	159
7.1.2 Convertidor de 120VAC a +5VCC	159
7.1.3 Microcontrolador.....	162
7.1.4 Driver de comunicación	163
7.1.5 Interfaz de potencia con relé	163
7.2 INTERFAZ DE COMUNICACIÓN SERIAL USANDO EL 16F628A.....	166
7.2.1 Subrutina de comunicación de recepción.....	170
7.2.2 Subrutina de temporización.....	172
8. PROGRAMA EN AUTÓMATAS LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC) PARA EL CONTROL DE LA SECUENCIA DE ENCENDIDO DEL SEMÁFORO.....	178
8.1 FB1 (GRAFCET).....	180
8.2 FC2 (PROGRAMACIÓN DEL CONTADOR).....	184
8.3 FC3 (ENMASCARAMIENTO DE DATOS Y ACTIVACIÓN DE MEMORIAS)	185
8.4 FC4 (CARGAR LOS TEMPORIZADORES).....	186
8.5 FC5 (RESET DEL CONTADOR).....	188
8.6 OB (LLAMADO A LOS MODULOS DE FUNCIÓN)	188
8.7 DB2 (ASIGNACIÓN DE TIEMPOS)	188
9. CONCLUSIONES	210
10. RECOMENDACIONES	211
BIBLIOGRAFÍA	212

CONTENIDO DE FIGURAS

FIGURA	Pág.
1.1 Medidor de tráfico vehicular.....	31
1.2 Circuito transmisor.....	32
1.3 Diagrama de bloques del transmisor.....	32
1.4 Onda simetrica del temporizador 555.....	33
1.5 Tiempo de carga y descarga del astable simétrico.....	35
1.6 Emisor de luz infrarroja.....	37
1.7 Circuito electrónico del transmisor.....	38
1.8 Diseño del circuito impreso en <i>TraxMaker</i> del transmisor.....	39
1.9 Circuito receptor.....	40
1.10 Diagrama de bloques del receptor.....	40
1.11 Interfaz de potencia electrónica.....	45
1.12 Circuito electrónico del receptor.....	46
1.13 Diseño del circuito impreso en <i>TraxMaker</i> del receptor.....	47
2.1 Placa de vibración.....	48
2.2 Diagrama de bloques de la placa de vibración.....	48
2.3 Aspecto interno de la placa de vibración.....	49
2.4 Circuito electrónico de la placa de vibración.....	50
3.1 Sistema de alimentación para las fuentes de energía convencional y alternativa.....	51
3.2 Diagrama de bloques del sistema de alimentación para las fuentes de energía convencional y alternativa.....	51
3.3 Fuente de voltaje regulada de +12VCC – 1A.....	53
3.4 Circuito electrónico de la fuente de voltaje regulada de +12VCC – 1A.....	53
3.5 Especificaciones técnicas del panel solar fotovoltaico.....	56
3.6 Diagrama de bloques del circuito de control de carga de la batería.....	56
3.7 Interfaz de potencia del control de carga de la batería.....	60
3.8 Batería recargable.....	61

3.9 Curva de descarga de una batería de 2Ah	62
3.10 Circuito electrónico del control de carga de la batería.....	63
3.11 Diseño del circuito impreso en <i>TraxMaker</i> del sistema de alimentación para las fuentes de energía convencional y alternativa	64
4.1 Potencia de salida del panel con y sin control heliotrópico	65
4.2 Diagrama de bloques del control de posición	66
4.3 Diagrama de bloques del sistema de control de giro heliotrópico	66
4.4 Mecanismo de movimiento heliotrópico.....	67
4.5 Limite de carrera	68
4.6 Resistencia dependiente de la luz.....	69
4.7 Símbolo y curva característica de una LDR.....	69
4.8 Circuito de control del sistema de giro heliotrópico	70
4.9 Interfaz de conversión de resistencia a voltaje y comparadores analógicos	72
4.10 Mapa de Karnaugh y funciones EA y ER	76
4.11 Circuito lógicos de EA y ER.....	76
4.12 Condición de avance del puente H.....	77
4.13 Condición de retroceso del puente H	77
4.14 Análisis de mallas en la condición de avance	78
4.15 Circuito electrónico del sistema de control de giro heliotropico	81
4.16 Diseño del circuito impreso en <i>TraxMaker</i> del control de giro heliotrópico y del control de carga de la batería	82
5.1 Panel de iluminación.....	83
5.2 Diagrama de bloques del panel de iluminación	83
5.3 Espectros normalizados de varias fuentes luminosas.....	84
5.4 Circuito electrónico del panel de iluminación	84
5.5 LED verde de alta intensidad con lente cristalina.....	85
5.6 Corriente directa en función del voltaje directo para el diodo LED verde de alta intensidad con lente cristalina	87
5.7 Intensidad luminosa en función de la corriente para el diodo LED verde de alta intensidad con lente cristalina	88

5.8 Diferentes patrones de radiación.....	89
5.9 Distribución de la radiación luminosa del diodo LED verde de alta intensidad con lente cristalina.....	90
5.10 Distribución en plano de la iluminación para el diodo LED verde de alta intensidad con lente cristalina	91
5.11 Distribución del plano equiluminoso del diodo LED verde de alta intensidad con lente cristalina	92
5.12 Panel de iluminación en modo vehicular y peatonal.....	93
5.13 Circuito control de filas.....	94
5.14 Circuito control de columnas	96
5.15 Diseños de los circuitos impresos en <i>TraxMaker</i> del panel de iluminación y la interfaz de la lámpara	98
6.1 Control del semáforo.....	102
6.2 Diagrama de bloques del control del semáforo.....	102
6.3 Sensor de luz LX1972, interfaz de corriente a voltaje y curva característica	104
6.4 Circuito general de entradas.....	105
6.5 Pulsador de vibración y sonido	105
6.6 Pulsador de radio control de emergencia, vibración y sonido	106
6.7 Secuencia de encendido y apagado de la placa de vibración.....	107
6.8 Interfaz de potencia de la placa de vibración.....	107
6.9 Secuencia de encendido y apagado de la interfaz de sonido.....	109
6.10 Interfaz de sonido.....	110
6.11 Transmisión en forma serial asíncrona con protocolo RS-232	112
6.12 Transmisión en forma serial asíncrona con protocolo RS-485	113
6.13 Comunicación RS-485 en modo <i>Full Duplex</i>	113
6.14 Interfaz de comunicación RS-485.....	114
6.15 Interfaz de potencia con relé	115
6.16 Circuito de control de barrido	117
6.17 Circuito electrónico del control del semáforo.....	118
6.18 Diseño del circuito impreso en <i>TraxMaker</i> del control del semáforo.....	119

6.19 Diagrama de flujo de la rutina de lectura de entradas	121
6.20 Diagrama de flujo del programa principal y la subrutina de recepción	127
6.21 Diagrama de flujo de la subrutina del programa principal.....	134
6.22 Diagrama de flujo de la subrutina del programa de vibración y sonido	136
6.23 Diagrama de flujo de la subrutina del temporizador (TMR0).....	142
6.24 Diagrama de flujo de la conversión A/D	144
6.25 Diagrama de flujo de la subrutina de visualización	148
7.1 Interfaz de comunicación	158
7.2 Diagrama de bloques de la interfaz de comunicación bidireccional RS-485.....	159
7.3 Convertidor de 120VAC a +5VCC.....	162
7.4 Interfaz de potencia con relé	164
7.5 Circuito electrónico de la interfaz de comunicación bidireccional RS-485.....	165
7.6 Diseño del circuito impreso en <i>TraxMaker</i> de la interfaz de comunicación bidireccional RS-485	166
7.7 Diagrama de flujo de la interfaz de comunicación serial.....	168
7.8 Diagrama de flujo de la subrutina de comunicación de recepción.....	171
7.9 Diagrama de flujo de la subrutina de temporización	173
8.1 Diagrama de tiempos del encendido de las luces del semáforo	178
8.2 Graficet de la secuencia del semáforo.....	181
8.3 Configuración de la base de datos.....	189

CONTENIDO DE TABLAS

TABLA	Pág.
3.1 Tabla lógica para la carga o descarga de la batería	58
4.1 Tabla de la verdad del circuito lógico	74
8.1 Salidas asociadas a las lámparas del semáforo	182
8.2 Conteos y memorias asociadas.....	184
8.3 Rangos de vehículos y memorias de activación del contador.....	186
8.4 Rangos de conteos de vehículos y memorias asociadas.....	186

CONTENIDO DE ANEXOS

ANEXO	Pág.
1. Regular de voltaje 7805	191
2. Temporizador LM555	193
3. Diodo emisor infrarrojo de alta intensidad	195
4. Módulo receptor infrarrojo LMT-8834-2.....	198
5. Sensor de luz tipo LDR.....	202
6. Sensor de luz ambiental	203
7. Amplificador TDA2003	207

GLOSARIO

ASCII: Abreviatura de *American Standard Code for Information Interchange*, un código binario en el que se pueden representar letras, números, signos de puntuación y símbolos especiales, a la vez que ciertos caracteres de control (como cambio de línea, regreso del carro, etc.). La representación completa de este código requiere siete bits binarios para activar un conjunto de 128 caracteres que incluye letras mayúsculas y minúsculas. Con un código de solo 6 bits, es posible instrumentar un subconjunto de 64 caracteres en el cual se tenga únicamente mayúsculas [1].

ASÍNCRONO: Que no está sincronizado por un reloj maestro. Un ejemplo típico sería una terminal del teletipo o una RS-232, en las cuales los caracteres se transmiten en intervalos asíncronos, y los bits individuales se transmite a una velocidad establecida. El transmisor envía información a una velocidad dependiente de su propio reloj interno, mientras que el receptor muestrea la línea basándose en su propio reloj interno una vez que detecta que se está enviando información [1].

BARRERA DE LUZ INFRARROJA: Es un sistema formado por una barrera de luz invisible al ojo humano de luz infrarroja (IR) que sirve para detectar el paso de cuerpos opacos cada que interrumpen la barrera de luz. Generalmente está compuesta de un emisor infrarrojo (LED IR) y de un fotodiodo receptor infrarrojo. La luz infrarroja es un tipo de radiación electromagnética formada por la combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro [2].

BAUDIO (en inglés *BAUD*): Es una unidad de medida, usada en telecomunicaciones que representa el número de bits transmitidos en un segundo [3].

BUFFER: Es un espacio de memoria, en el que se almacenan datos para evitar que el programa o recurso que los requiere, ya sea hardware o software, se quede en algún momento sin datos.

CELDA: Es un dispositivo simple de dos electrodos y un electrolito capaz de dar electricidad por la acción química dentro de la celda, o de producir una acción química por el paso de electricidad a través de ella [4].

CHASIS: Es la estructura que sostiene y aporta rigidez y forma a un elemento u objeto [5].

CIRCUITO IMPRESO (PCB): PCB es un acrónimo de la definición en inglés *Printer Circuit Board*, o en español Tarjeta para Circuitos Impresos. Es una tarjeta para conexiones electrónicas entre componentes en donde las trayectorias para la circulación de la corriente eléctrica se encuentran impresas. Se construye con una tarjeta de baquelita, fenol o fibra de vidrio, y las pistas o trayectorias están hechas en cobre, su función, es permitir el montaje rápido y eficiente de los circuitos electrónicos [6].

COMUNICACIÓN SERIAL: Es un protocolo muy común para la comunicación entre dispositivos que se incluye de manera estándar en prácticamente cualquier computadora, y también es un protocolo común que se utiliza en varios dispositivos para instrumentación; además, la comunicación serial puede ser utilizada para la adquisición de datos. El protocolo RS-232 se utiliza en ambientes limpios (libres de ruido electromagnético) y su alcance máximo es de 10m.

Otro protocolo de comunicación que es más usado en ambientes industriales por su inmunidad a las interferencias electromagnéticas, por su alcance de comunicación (hasta 4000pies o 1120m) y por su capacidad para conectar dispositivos en anillo (hasta 32), es el protocolo RS-485 que también es conocido como EIA-485, y lleva el nombre del comité que lo convirtió en estándar en 1983. Es un protocolo de comunicaciones en bus de la capa física del Modelo OSI [7].

CONTROL MECÁNICO HELIOTRÓPICO: Es un mecanismo que se usa para orientar hacia el Sol los paneles solares y permitir que los rayos del astro alcancen el panel perpendicularmente, aumentando así considerablemente la eficiencia del sistema de conversión de energía solar a eléctrica.

DECIBELIO (dB): Es la unidad relativa empleada en acústica y telecomunicaciones para expresar la relación entre dos magnitudes (acústica o eléctrica) o entre la magnitud que se estudia y una magnitud de referencia. En realidad es un submúltiplo de la unidad que es el *Belio*, que no se utiliza por ser demasiado grande en la práctica, y por eso se utiliza el decibelio (la décima parte del *Belio*).

Como el decibelio es una unidad relativa, para saber la intensidad de un sonido se toma como referencia el valor de 0dB a una intensidad de 20 micro pascales [8].

DIAGRAMA DE FLUJO: Es la representación gráfica de un algoritmo. También se puede decir que es la representación detallada en forma gráfica de cómo deben realizarse los pasos en la computadora para producir los resultados esperados. Esta representación gráfica se da cuando varios símbolos (que indican diferentes procesos en la computadora),

se relacionan entre sí mediante líneas que indican el orden en que se deben ejecutar los procesos. Los símbolos utilizados han sido normalizados por el instituto norteamericano de normalización (ANSI) [9].

ENSAMBLADOR: Programa que convierte un lenguaje de máquina en forma nemotécnica en un formato objeto binario para que pueda ser ejecutado por la computadora [1].

ESPECTRO DE LUZ: Es la parte del espectro de radiación electromagnética que es visible para el ojo humano. se extiende en la longitud de onda de aproximadamente 400nm a 700nm. También es conocido como el espectro óptico de la luz [10].

FLIP-FLOP: Es un biestable capaz de permanecer en un estado determinado o en el contrario durante un tiempo indefinido. Esta característica es ampliamente utilizada en electrónica digital para memorizar información. El paso de un estado a otro se realiza variando sus entradas [11].

FOTOVOLTAICO: Pertenece o relativo a la generación de fuerza electromotriz por la acción de la luz [12].

FSK (*Frequency Shift Keying*): Es un tipo de modulación de frecuencia cuya señal modulante es un flujo de pulsos binarios que varía entre valores predeterminados [13].

FUENTE CONMUTADA: Es un dispositivo electrónico que transforma energía eléctrica mediante transistores en conmutación. Las fuentes conmutadas tienen por esquema: rectificador, conmutador, transformador, otro rectificador y salida. La regulación se obtiene con el conmutador controlado normalmente por un circuito PWM (*Pulse Width Modulation*) que cambia el ciclo de trabajo [14].

FUENTE DE ENERGÍA CONVENCIONAL: Los sistemas de energía convencionales son aquellos que estamos acostumbrados a usar, para lo cual, se emplea tecnología de uso común desde la extracción del recurso energético natural hasta transformarlo en un producto útil para el consumidor final. A esta base energética convencional pertenece: el petróleo, el carbón mineral, el gas natural, la electricidad, la biomasa, la energía nuclear y la energía hidroeléctrica [15].

FUENTE DE ENERGÍA SOLAR ALTERNATIVA FOTOVOLTAICA: El Sol es una fuente de energía natural limpia e inagotable. La energía solar es producida en la estrella como resultado de reacciones nucleares de fusión y llega a la Tierra en *cuantos* de energía

llamados fotones. Por medio de células fotovoltaicas que también son llamadas células solares o PV, se convierte la energía solar directamente en energía eléctrica continua constante

GRAFSET: Es un diagrama funcional que describe los procesos a automatizar teniendo en cuenta las acciones a realizar y los procesos intermedios que provocan estas acciones.

El grafset está compuesto por:

- **ETAPAS:** Definen un estado en el que se encuentra el automatismo. Las etapas de inicio se marcan con un doble cuadrado.
- **ACCIONES ASOCIADAS:** Definen la acción que va a realizar la etapa, por ejemplo conectar un contactor, desconectar una bobina, etc.
- **TRANSICIONES:** Es la condición o condiciones que, conjuntamente con la etapa anterior, hacen evolucionar el GRAFSET de una etapa a la siguiente, por ejemplo un pulsador, un detector, un temporizador, etc. [16].

ILUMINACIÓN DE ESTADO SÓLIDO (*Solid State Lighting SSL*): Se refiere a un tipo de iluminación en la que se emplean diodos LED como fuentes de luz. El término “estado sólido” hace referencia al hecho que la luz en estos dispositivos es emitida por un objeto sólido (un semiconductor) y no interviene en este proceso el vacío o un gas, como es el caso de las lámparas fluorescentes y las bombillas incandescentes utilizadas tradicionalmente en la iluminación [17].

LED: Es un acrónimo que se origina en la traducción del inglés *Light Emitting Diode* que en español traduce diodo emisor de luz. Es un tipo especial de diodo que trabaja como un diodo común, pero que al ser atravesado por la corriente eléctrica emite luz. Existen diodos LED de varios colores, y esto depende del material con el cual fueron construidos. Hay de color rojo, verde, amarillo, ámbar, infrarrojo, entre muchos otros [18].

LEVA: Es un elemento mecánico hecho de algún material (madera, metal, plástico, etc.) que va sujeto a un eje y tiene un contorno con forma especial [19].

LONGITUD DE ONDA (símbolo λ): Distancia que recorre una onda electromagnética durante un ciclo completo, matemáticamente $\lambda=C/f$, donde C es la velocidad de la luz (en el vacío), f es la frecuencia [1].

LUZ MONOCROMÁTICA: Es aquella que solo está compuesta por componentes de un solo color. (A diferencia de la luz blanca, que está formada por muchos componentes). Es decir, que tiene una sola longitud de onda (o una banda muy angosta de ellas) [20].

MEMORIA EEPROM: Son las siglas de *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory* (ROM programable y borrrable eléctricamente). Es un tipo de memoria ROM que puede ser programado, borrado y reprogramado eléctricamente [21].

MICROCONTROLADOR: Es un dispositivo electrónico capaz de llevar a cabo procesos lógicos. Estos procesos o acciones son programadas en lenguaje ensamblador por el usuario y son introducidos en este a través de un programador [22].

MOTOVIBRADOR: Es un dispositivo construido con una leva o masa excéntrica acoplada al eje de un motor que ocasiona movimientos vibratorios en el motor mismo y en la superficie ligada a dicho sistema cada que el motor gira.

MULTIPLEXAJE: Técnica para reducir la cantidad de hardware con la cual varias lámparas indicadoras o visualizadores son controladas en tiempo compartido a partir de un conjunto de excitadores comunes, con una velocidad de multiplexaje lo suficientemente alta para que el barrido sea imperceptible al ojo humano [1].

PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO: Es un módulo que aprovecha la energía de la radiación solar y la transforma en energía eléctrica. Un panel solar está compuesto de un arreglo de células fotovoltaicas conectadas en serie y en paralelo. Una célula fotovoltaica es un dispositivo generalmente hecho de aleaciones de silicio puro. La intensidad de energía solar disponible en un punto determinado de la tierra depende del día del año, de la hora, de la latitud, de la altitud y de la orientación del panel con respecto a los rayos del Sol [23].

PARLANTE (O ALTAVOZ): También es conocido como bafle, alto parlante, corneta o bocina, es un dispositivo utilizado para la reproducción del sonido. Es un transductor electroacústico en el que el proceso de conversión sigue un doble procedimiento: eléctrico-mecánico-acústico. En la primera etapa convierte energías eléctricas en energías mecánicas, y en la segunda, convierte energías mecánicas en energías acústicas [24].

PLC: Toma su nombre del acrónimo de los términos en inglés *Programmable Logic Controller*, que en español se conoce como Autómata Programable Industrial (API). *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA) define al PLC como un dispositivo electrónico digital que utiliza una memoria programable para almacenar instrucciones y para implementar funciones específicas, tales como, funciones lógicas, secuenciales, de temporización, de conteo y aritméticas para controlar máquinas y procesos en tiempo real [25].

PWM: Es el acrónimo de *Pulse Width Modulation*, que traducido al español es modulación por ancho de pulsos. La PWM de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (una sinusoidal o una cuadrada, por ejemplo), ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga [26].

RADIOFRECUENCIA: También denominado espectro de radiofrecuencia o RF, se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3Hz y unos 300GHz. El Hercio es la unidad de medida de la frecuencia de las ondas radioeléctricas, y corresponde a un ciclo por segundo. Las ondas electromagnéticas de esta región del espectro se pueden transmitir aplicando la corriente alterna originada en un generador a una antena [27].

RAM: Memoria de acceso aleatorio. Las RAM se utilizan típicamente como registro o almacenamiento temporal de datos en la computadora o sistema de microcomputación. Este tipo de memorias permiten escribir o leer datos indistintamente, y por lo general pierden la información cuando se interrumpe la alimentación [1].

REFLEXIÓN: Es el cambio de dirección de un rayo o una onda que ocurre en la superficie de separación entre dos medios, de tal forma que regresa al medio inicial. Ejemplos comunes son la reflexión de la luz, el sonido y las ondas en el agua [28].

REFRACCIÓN: Es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro. Sólo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si éstos tienen índices de refracción distintos. La refracción se origina en el cambio de velocidad que experimenta la onda. El índice de refracción es precisamente la relación entre la velocidad de la onda en un medio de referencia (el vacío para las ondas electromagnéticas) y su velocidad en el medio de que se trate [29].

RESISTENCIA DE PULL-UP: Es una resistencia que se conectan entre una señal lógica y el voltaje de alimentación, su función es asegurar que la señal no quede en un estado flotante [30].

RFID: Siglas de *Radio Frequency IDentification*, en español Identificación por radiofrecuencia. Es un sistema de almacenamiento y recuperación de datos remotos que usa dispositivos denominados etiquetas, transpondedores o tags RFID. El propósito fundamental de la tecnología RFID es transmitir la identidad de un objeto (similar a un número de serie único) mediante ondas de radio. Las tecnologías RFID se agrupan dentro de las denominadas Auto ID (*Automatic IDentification*, o Identificación Automática) [31].

RISC: De Arquitectura computacional, RISC (del inglés *Reduced Instruction Set Computer*), Computadora con Conjunto de Instrucciones Reducidas.

Es un tipo de microprocesador con las siguientes características fundamentales:

- Instrucciones de tamaño fijo y presentado en un reducido número de formatos.
- Sólo las instrucciones de carga y almacenamiento acceden a la memoria de datos [32].

RS-232: Interfaz estándar para la transferencia serial de datos. El estándar lo publica la EIA [1].

RUIDO ELÉCTRICO: Se denomina ruido eléctrico, interferencias o parásitos a todas aquellas señales de origen eléctrico, no deseadas y que están unidas a la señal principal, o útil, de manera que la pueden alterar produciendo efectos que pueden ser más o menos perjudiciales [33].

SEMÁFORO: Es un dispositivo mecánico o eléctrico o electrónico que regula el tráfico de vehículos y peatones en las intersecciones de caminos. El tipo más frecuente tiene tres colores que están estandarizados así: verde, para avanzar; rojo, para detenerse inmediatamente y amarillo o ámbar, como señal de precaución [34].

SÍNCRONO: Que esta sincronizado en el tiempo con un reloj maestro [1].

SONIDO: Es un fenómeno físico que involucra la propagación del movimiento vibratorio de un cuerpo en forma de ondas elásticas audibles o casi audibles a través de un fluido [35].

USART: Es el acrónimo de *Universal Synchronous/Asynchronous Receiver Transmitter*, que traducido al español es Transmisor y Receptor Sincrónico/Asincrónico Universal. Se trata de un periférico para la transmisión de datos en formato serie que utiliza técnicas de transmisión sincrónica o asincrónica, según se configure el periférico [36].

TABIQUE: El tabique es un elemento delimitador que sirve para separar piezas o elementos [37].

RESUMEN

Actualmente el mundo exige, por la complejidad del tráfico y para brindar una calidad de vida más equitativa a los peatones, que los dispositivos de señalización para vehículos y personas, electrónicos y eléctricos, sean más confiables y seguros y que ofrezcan más posibilidades de accesibilidad para aquel que lo desee, sin importar sus limitaciones físicas.

Considerando lo anterior se desarrollará un prototipo de un semáforo inteligente que tiene las siguientes características: lámpara de paso (color verde) con iluminación de estado sólido; tres modos de funcionamiento, que son: peatonal con conteo regresivo, vehicular y para discapacitados con placa vibradora y señal de sonido; posee alimentación convencional (de la red AC) y alternativa (por panel solar); dispone de tres modos con los cuales se puede acceder y controlar el semáforo: local, por radio frecuencia, por comunicación serial; y adicionalmente tiene un medidor de densidad de tráfico vehicular que se acopla e interactúa con el controlador lógico programable (PLC) que maneja toda la secuencia de encendido de las lámparas del semáforo.

INTRODUCCIÓN

La palabra “semáforo” viene de *sema* (señal) y *phorus* (llevar), es decir, que un semáforo “lleva señales”. Este es un dispositivo electrónico o mecánico que regula el flujo de vehículos y peatones en las intersecciones de las calles, avenidas, rutas y caminos en general. El tipo más frecuente consta de tres luces de colores: verde, para avanzar; rojo, para detenerse; amarillo fijo, para detenerse o apurarse; y amarillo intermitente, para circular con precaución.

Los semáforos han evolucionado con el paso del tiempo y actualmente se están utilizando lámparas con LED's en lugar de lámparas incandescentes para la señalización luminosa, puesto que consumen menos energía, tiene una vida útil promedio de 100.000 horas, y en general, ofrecen mejores características eléctricas y visuales. Lo anterior implica importantes ahorros en el costo de la energía consumida y en la inversión del mantenimiento necesario; satisfaciendo el objetivo de conseguir una mayor confiabilidad y seguridad en la señalización de las vías públicas. Adicionalmente se beneficia el planeta al disminuir la polución creada por los desechos, pues el cambio de lámparas de LED's es menos frecuente y son totalmente reciclables.

El uso de dicha tecnología en semáforos únicamente se había aplicado hasta 1995 en indicadores de color rojo y ámbar, pero a partir de ese año aparece en el mercado la aplicación del LED verde, con lo que se completa toda la gama de color para señalización de tráfico.

Debido al crecimiento de la población y al crecimiento de la industria automotriz, los accidentes de tránsito son cada vez mayores, causando graves daños a las personas, problemas sociales e invaluable pérdidas económicas, es así como algunos países y empresas han visto la necesidad de construir e implementar sistemas para el control de tráfico vehicular y peatonal más eficientes. En Sur América, a manera de ejemplo, puede

citarse la empresa argentina *DBUP ELECTRÓNICA* que ha diseñado un semáforo electrónico de estado sólido, visual, numérico y sonoro.

- **Señal Visual:** Usa lámparas de estado sólido para los tres colores estandarizados.
- **Señal Numérica:** Constantemente se ofrece información a los peatones y a los automovilistas sobre el tiempo disponible para cruzar la calle o bien para aguardar pacientemente la próxima luz verde.
- **Señal Sonora:** Un sonido o en algunos modelos una voz, grabada en forma digital, anuncia a los peatones “Cruce”, “Espere” o “Pase” de acuerdo al estado del semáforo.

El principal objetivo de este proyecto es construir un semáforo inteligente para aumentar el margen de seguridad y reducir los fatales accidentes de tránsito y sus consecuencias, contribuyendo con una mejor calidad de vida tanto para personas normales como discapacitadas.

Actualmente sólo los países con alto nivel de desarrollo y gran responsabilidad social cuentan con semáforos que incluyen muchas de las características mencionadas a continuación:

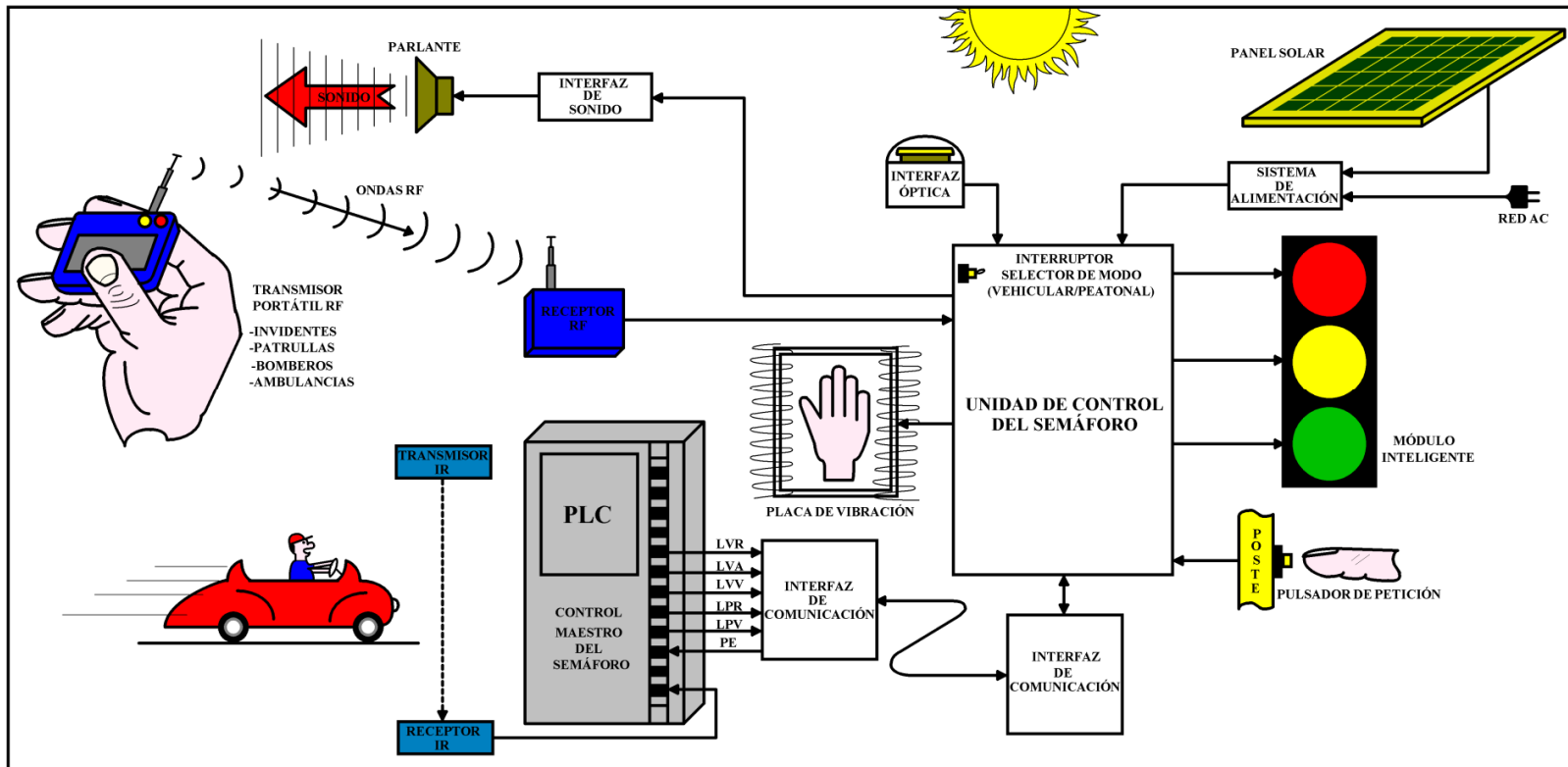
- Iluminación de estado sólido.
- Control y supervisión de todas sus funciones con un microcontrolador.
- Autómata programable (PLC) para el control maestro de las funciones y la secuencia de encendido del semáforo.
- Medidor de densidad de tráfico vehicular acoplado con el sistema de control maestro.

- Fuente de energía convencional, por medio de energía AC.
- Fuente de energía alternativa, por medio de panel solar.
- Sistema de control heliotrópico para el manejo del movimiento del panel solar con el objetivo de aumentar la eficiencia del mismo.
- Lámpara programable manualmente en dos modos fijos (por medio de un interruptor), que son: modo vehicular y modo peatonal.
- Tres modos de información, que son:
 - Modo visual para conductores, con control de brillo automático.
 - Modo audible para invidentes.
 - Modo de vibración, para invidentes sordos.
- Tres modos de comunicación con los cuales se puede controlar y acceder al semáforo, los modos son :
 - Control local o manual para personas con limitaciones visuales y auditivas.
 - Control por radio frecuencia portátil para personas con limitaciones, para patrullas, para ambulancias y para bomberos.
 - Control y comunicación con el autómeta (PLC) vía serial, a través del protocolo industrial y comercial estándar RS-485.

En Colombia no existe un dispositivo de señalización que integre todas las características antes mencionadas, y la construcción de este prototipo sería una innovación de gran importancia para establecer un precedente y dar un primer paso en lo que respecta al futuro de la señalización vial y peatonal en nuestro país, además, se podrá demostrar que con relativamente pocos recursos y usando el capital humano profesional y calificado con el

que cuenta el país, puede alcanzarse el nivel de los países más desarrollados en cuanto a señalización vial.

La metodología empleada para el desarrollo de este prototipo partió desde el análisis de la problemática y la necesidad de implementar este tipo de dispositivos en las redes de tránsito urbano, posteriormente se planteó un diseño general del proyecto y se abordó por fases conducentes a la culminación total del mismo. En cada una de las fases se hizo el análisis correspondiente, el diseño y la construcción requerida en cada caso; usando en cada etapa los conocimientos adquiridos durante la carrera.



Sistema General del Semáforo

1. MEDIDOR DE DENSIDAD DE TRÁFICO VEHÍCULAR POR BARRERA INFRARROJA



Figura 1.1. Medidor de tráfico vehicular

Es un sistema conformado por dos dispositivos, un transmisor y un receptor, que se encarga de formar una barrera de luz infrarroja modulada cuya función es detectar la densidad vehicular en tiempo real.

El medidor de tráfico vehicular debe estar instalado a 100m del semáforo controlado, los dispositivos que lo conforman están separados como máximo 4m y enfrentados con un ángulo de desviación inferior a $12,4^\circ$ entre el uno y el otro. Cada vez que se interrumpe la emisión de luz por el paso de un vehículo, el receptor se encarga de activar un relé que simultáneamente abre y cierra sus contactos, y además, controla un transistor en colector abierto.

1.1 TRANSMISOR



Figura 1.2. Circuito transmisor

El transmisor es la parte del sistema que se encarga de emitir luz modulada por medio de diodos infrarrojos, las partes que lo conforman se muestra en el siguiente diagrama de bloques.

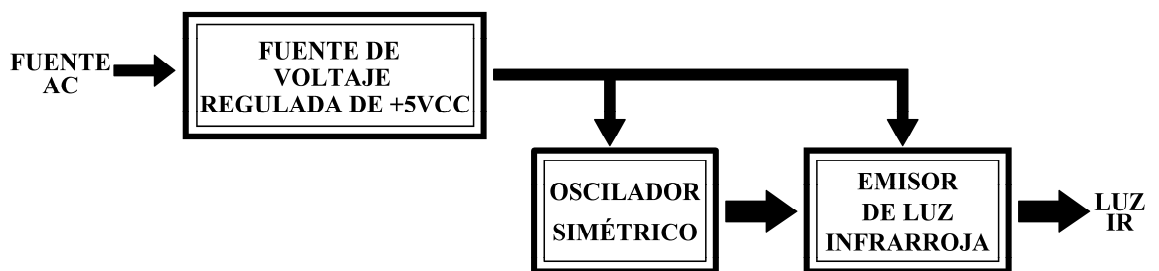


Figura 1.3. Diagrama de bloques del transmisor

1.1.1 Fuente de voltaje regulada de +5VCC. Es una fuente que se implementa con el regulador positivo 7805 de tres terminales de +5VCC y 1A. En la figura 1.7 se puede observar claramente la fuente regulada de +5VCC, en donde se tiene un diodo D1 que sirve

para que a la entrada del regulador no lleguen tensiones negativas. Los condensadores C9 y C10 sirven como filtros a las oscilaciones que puedan existir en las tensiones de entrada y de salida del 7805, ya que es un circuito de alimentación y no se desea que haya rizado en la señal regulada.

Las características del regulador 7805 se pueden observar en la hoja de datos que se muestra en el anexo 1.

1.1.2 Oscilador simétrico. Se compone por el temporizador 555 utilizado como oscilador de carrera libre, este se encarga de enviar un tren simétrico de pulsos con una frecuencia de 32,7kHz (ver figura 1.4), esto se realiza por medio de la carga y descarga del condensador C4 a través de los *trimmers* y las resistencias TR1, TR2, R1 y R2.

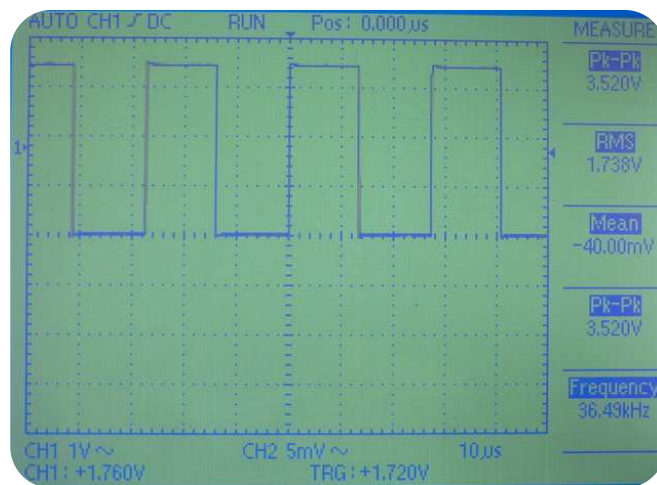


Figura 1.4. Onda simétrica del temporizador 555

El cálculo correspondiente de las resistencias se muestra a continuación.

Dado que:

$$f = \frac{1}{T} \quad (1.1)$$

El período de la onda de salida está dado por:

$$T = t_{on} + t_{off} \quad (1.2)$$

Se sabe que el tiempo de carga del 555 depende de la malla 1 (M1) que se muestra en la figura 1.5, así:

$$t_{on} = 0,69315 C_4 (R_1 + TR_1) \quad (1.3)$$

Mientras que el tiempo de descarga del 555 depende de la malla 2 (M2) que se muestra en la figura 1.5, así:

$$t_{off} = 0,69315 C_4 (R_2 + TR_2) \quad (1.4)$$

Se puede reemplazar (1.3) y (1.4) en (1.1) para obtener:

$$f = \frac{1,4426}{C_4(R_1 + TR_1 + R_2 + TR_2)} \quad (1.5)$$

Para la frecuencia de oscilación esperada de 32,7kHz, y de la ecuación (1.1) se tiene el siguiente período:

$$T = \frac{1}{32,7\text{kHz}} = 30,58\mu\text{s}$$

Ya que es un oscilador de pulso simétrico que se caracteriza porque $t_{on} = t_{off}$, debe cumplirse que $R_1 + TR_1 = R_2 + TR_2$ y por lo tanto:

$$t_{off} = \frac{30,5810\mu\text{s}}{2} = 15,29\mu\text{s}$$

Con el que pueden encontrarse $R2+TR2$ asumiendo a $C4 = 0,001\mu\text{F}$ y usando la ecuación (1.4):

$$R2 + TR2 = \frac{15,29\mu\text{s}}{0,69315 \times 0,001\mu\text{F}} = 22,05\text{k}\Omega$$

Asumida la resistencia $R2$ igual a $2,2\text{k}\Omega$ se deduce que el valor del *trimmer* debe ser ajustado a $19,8\text{k}\Omega$ y además por la condición de simetría se concluye que $R1 = R2$ y también que $TR1 = TR2$ [38].

Las características del temporizador LM555 se pueden observar en la hoja de datos que se muestra en el anexo 2.

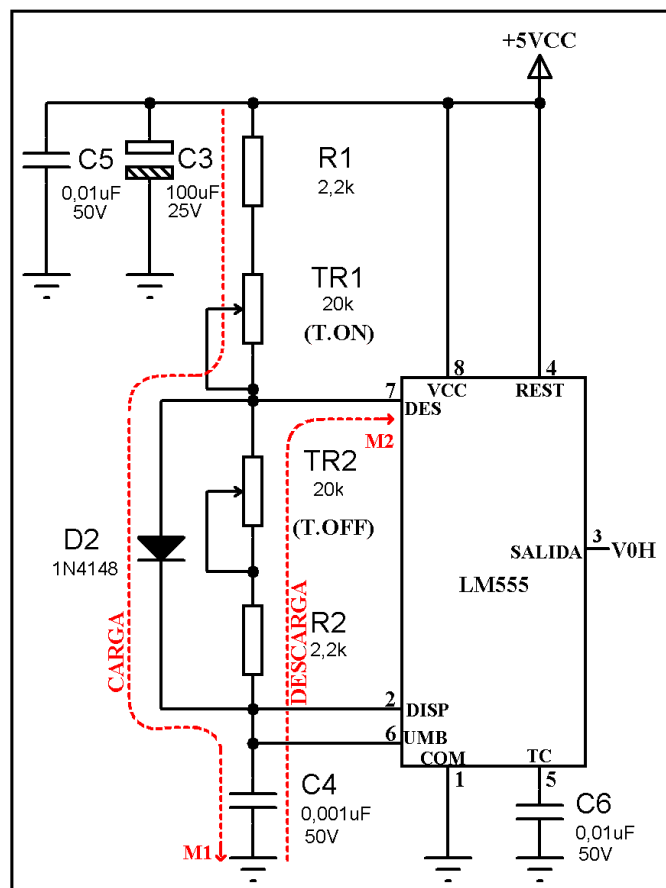


Figura 1.5. Tiempo de carga y descarga del astable simétrico

1.1.3 Emisor de luz infrarroja. Es el circuito que se encarga de convertir los pulsos del oscilador simétrico en una ráfaga de luz infrarroja para lograr el enganche del módulo receptor a una frecuencia de 32,7kHz. Se construye con un arreglo de cuatro diodos infrarrojos polarizados y un LED rojo (LED piloto de señalización de la emisión de luz IR). Los diodos se controlan por un amplificador de corriente transistorizado, que se encarga de brindar la potencia necesaria para el debido funcionamiento de los mismos. El diseño de este se muestra a continuación:

Conociendo de la hoja de datos los parámetros de polarización necesarios para el LED IR, que son: $V_F = +1,35V$ e I_F máxima = 100mA, puede calcularse la resistencia en serie con cada uno de los diodos, usando la siguiente expresión extraída de la malla 1 (M1) de la figura 1.6, y que se repite para las resistencias R4 a R7:

$$R4 = R5 = R6 = R7 = \frac{VCC - V_F - V_{CE}}{I_F} \quad (1.6)$$

Asumiendo una corriente directa para cada LED IR = 34,5mA y sabiendo que $VCC = +5V$ y $V_{CE} = +0,2V$, de la ecuación (1.6) se obtiene:

$$R4 = R5 = R6 = R7 = \frac{+5VCC - 1,35V - 0,2V}{34,5mA} = 100\Omega$$

Con una potencia mínima de 0,11W.

Para la resistencia limitadora del diodo LED de señalización rojo, se usa la siguiente ecuación (1.6) con los parámetros $V_F = +1,5V$ e $I_F = 10mA$, obtenida de la malla M2:

$$R8 = \frac{+5VCC - 1,5V - 0,2V}{10mA} = 330\Omega$$

Para el transistor Q1, la corriente base obedece a la siguiente expresión:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \quad (1.7)$$

Donde $I_C = 148\text{mA}$ y $\beta = 100$ para el transistor 2N3904.

$$I_B = \frac{148\text{mA}}{100} = 1,48\text{mA}$$

En la figura 1.6, de la malla de entrada M3 del transistor se obtiene:

$$R_3 = \frac{V_{0H} - V_{BE}}{I_B} \quad (1.8)$$

Con $V_{0H} = +3,3\text{V}$ (voltaje que entrega el 555) y $V_{BE} = +0,7\text{V}$ y reemplazando en la ecuación (1.8), se encuentra que:

$$R_3 = \frac{+3,3\text{V} - 0,7\text{V}}{1,48\text{mA}} = 1,7\text{k}\Omega \approx 1,8\text{k}\Omega$$

Las características del diodo emisor infrarrojo se pueden observar en la hoja de datos que se muestra en el anexo 3.

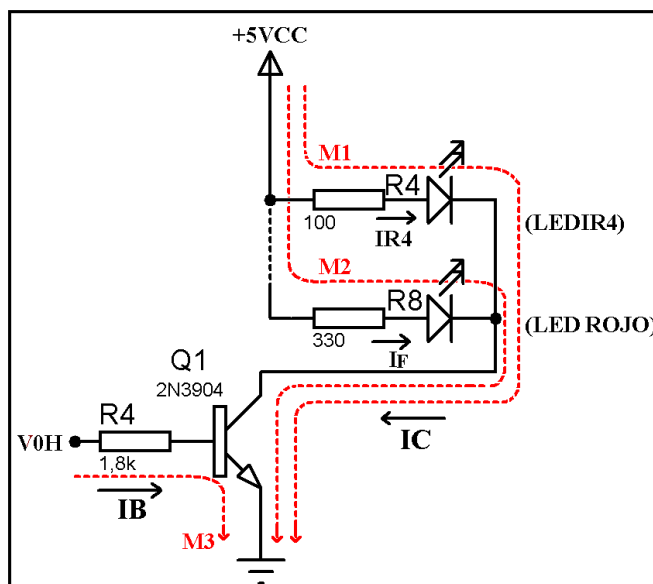


Figura 1.6. Emisor de luz infrarroja

El diagrama electrónico del sistema transmisor se muestra en la siguiente figura.

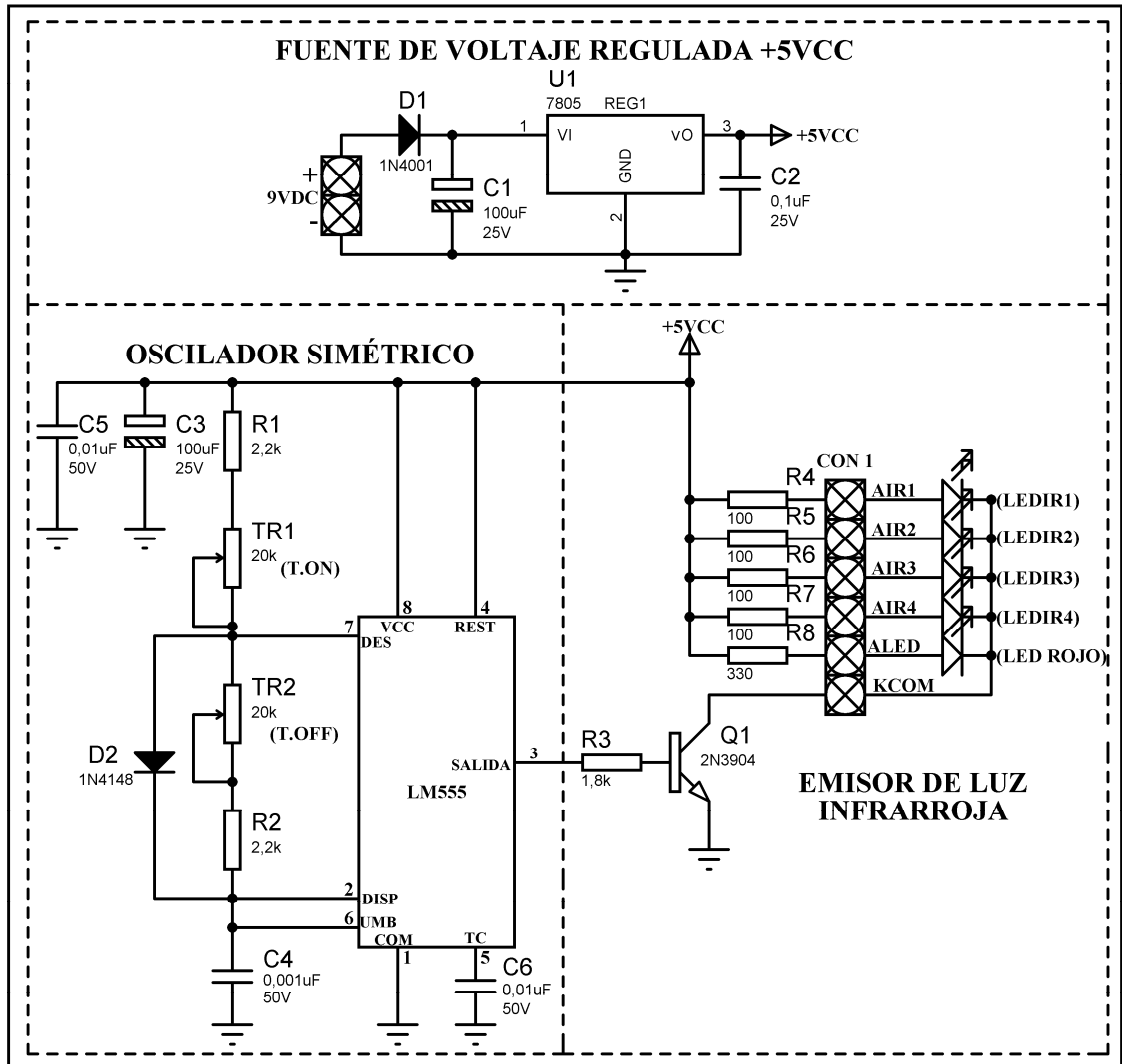


Figura 1.7. Circuito electrónico del transmisor

El diseño del circuito impreso en *TraxMaker* del transmisor se puede ver en la siguiente figura.

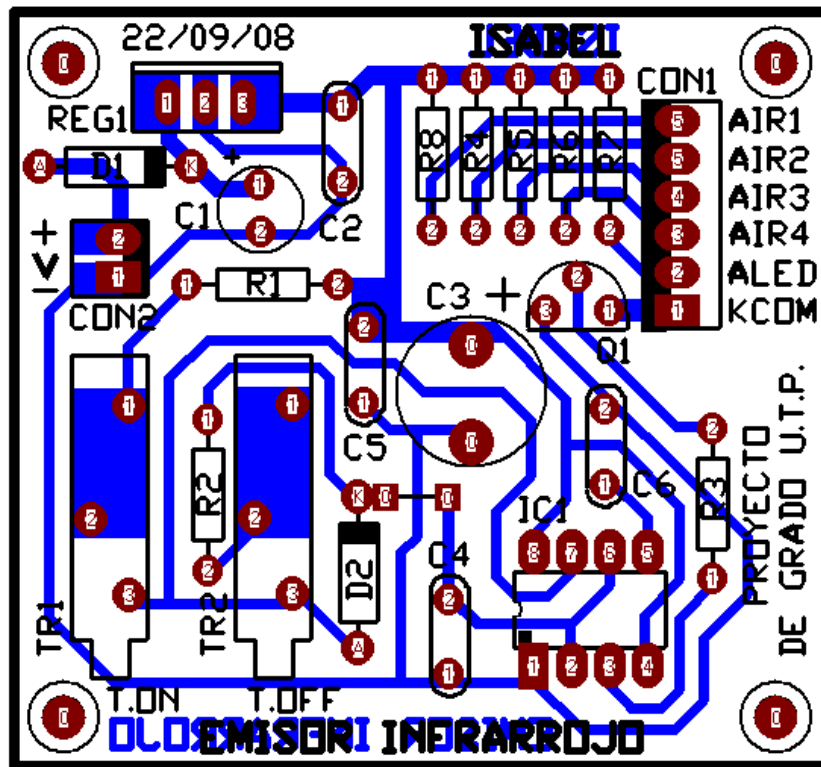


Figura 1.8. Diseño del circuito impreso en *TraxMaker* del transmisor

1.2 RECEPTOR

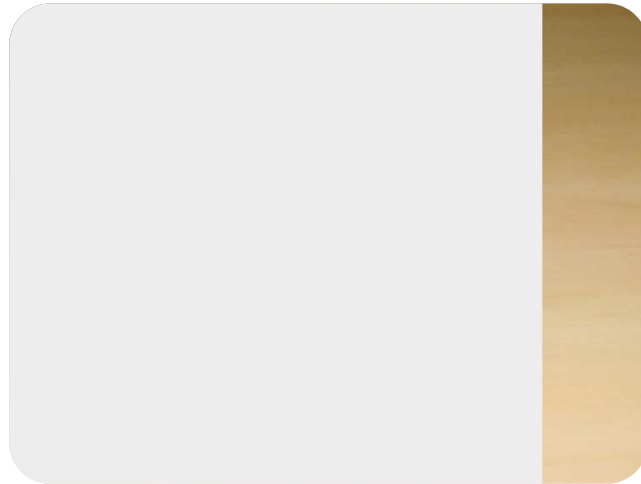


Figura 1.9. Circuito receptor

Este circuito recibe los pulsos de luz IR modulados, enviados por el transmisor y se encarga de conmutar un transistor, y al mismo tiempo, energizar un relé cuando la luz se interrumpe. Se compone de las siguientes partes:

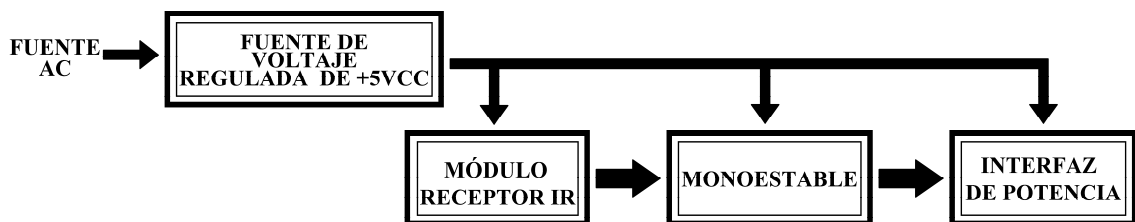


Figura 1.10. Diagrama de bloques del receptor

1.2.1 Fuente de voltaje regulada de +5VCC. Es una fuente construida con el regulador positivo 7805 de tres terminales de +5VCC y 1A. En la figura 1.12 se puede observar claramente la fuente regulada de +5VCC; donde se encuentra un diodo D1 que se encarga de que a la entrada del regulador no se reciban tensiones negativas. Los condensadores C9

y C10 sirven como filtros a las oscilaciones que puedan existir en las tensiones de entrada y salida del 7805.

1.2.2 Módulo receptor IR. El módulo usado de referencia 8834-2 T632, capta la luz IR modulada a 32,7kHz y la convierte a una salida de voltaje. Cuando el circuito está recibiendo un haz de luz modulado la salida de voltaje se pone a +5VCC y cuando haya ausencia de luz su salida se pone a +0VCC, las características de este módulo se pueden observar en la hoja de datos que se muestra en el anexo 4.

1.2.3 Monoestable. Se implementa con el circuito integrado 555, este dispositivo recibe un pulso de entrada negativo proveniente del modulo receptor IR y en su salida entrega un nivel alto durante un período de tiempo establecido “t”.

El monoestable recibe el pulso de disparo negativo por el pin 2 proveniente del modulo receptor IR, el condensador C4 conectado al pin 5 con valor de 0,01 μ F se utiliza como filtro para derivar a tierra el ruido eléctrico que se induce en el pin 5 (voltaje de control) que puede alterar el período de oscilación. El control del tiempo se realiza con la red RC formada por el potenciómetro P, R2 y el condensador C5.

La figura 1.12 muestra una resistencia R3 que en conjunto con el condensador C3 forman una red derivadora, la cual se encarga de extraer flancos negativos o pequeños pulsos bajos cuando la señal proveniente del sensor tiene larga duración durante la transición de uno a cero ó viceversa, estos pulsos son necesarios para disparar adecuadamente el circuito integrado 555, además, se usa el diodo D2 para descargar el condensador C3.

Cálculo correspondiente al tiempo del multivibrador monoestable [38].

Dado que:

$$t = 1,1(P + R2)C5 \quad (1.9)$$

Despejando de la ecuación (1.9) para un tiempo de 2s y con $C5 = 100\mu\text{F}$

$$(P1 + R2) = \frac{2s}{1,1 \times 100\mu\text{F}} = 18,18\text{k}\Omega$$

El tiempo mínimo que se podrá establecer es cuando $P = 0$ con $R2 = 1,2\text{k}\Omega$, así:

$$t = 1,1 \times 1,2\text{k}\Omega \times 100 \times 10\mu\text{F} = 132\text{ms}$$

1.2.4 Interfaz de potencia. Está conformada por un circuito electromecánico y otro electrónico, el primero consta de un relé de 5VDC y 1A que al activarse abre o cierra unos contactos, mientras que el electrónico está construido por un transistor 2N3904 en configuración de colector abierto. En la figura 1.12 se puede observar detalladamente la interfaz.

D3 se utiliza como diodo volante (*free-wheeling*), se conecta en paralelo con el relé y sirve como dispositivo de protección contra la inducción de corrientes inversas a través del transistor.

Los cálculos referentes a la interfaz de potencia son:

Sabiendo que la resistencia interna de la bobina es de $103,8\Omega$, $V_{CE} = +0,2\text{V}$ y usando la siguiente expresión extraída de la malla 1 (M1) de la figura 1.11, se obtiene:

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_{\text{bobina}}} \quad (1.10)$$

Entonces:

$$I_C = \frac{+5V_{CC} - 0,2V}{103,8\Omega} = 46,24\text{mA}$$

Reemplazando en la ecuación (1.7) y sabiendo que $\beta = 100$ para el transistor 2N3904, se logra lo siguiente:

$$I_B = \frac{46,242}{100} = 462,40\mu\text{A}$$

En la figura 1.11, de la malla de entrada 2 (M2) del transistor se obtiene:

$$R_7 = \frac{V_{0H} - V_{BE}}{I_B} \quad (1.11)$$

Donde $V_{0H} = +3,3\text{V}$ (voltaje que entrega el 555) y $V_{BE} = +0,7\text{V}$.

$$R_7 = \frac{+3,3\text{V} - 0,7\text{V}}{462,40\mu\text{A}} = 5,62\text{k}\Omega \approx 5,6\text{k}\Omega$$

Para calcular el valor de R_5 Y R_6 se procedió de la siguiente manera:

Para hallar la corriente que circula a través del colector de Q2 se uso la siguiente ecuación (1.12), donde $V_{CC} = +24\text{VCC}$ (voltaje del modulo de entrada del autómata), $V_{CE} = +0.2\text{V}$ y $R = 1\text{k}\Omega$ (resistencia externa del autómata), obtenida de la malla M3:

$$I_C = \frac{V_{DC} - V_{CE}}{R} \quad (1.12)$$

Entonces:

$$I_C = \frac{+24\text{VDC} - 0.2\text{V}}{1\text{k}\Omega} = 23,8\text{mA}$$

Usando la ecuación (1.7) se puede conocer la corriente de base que circula por Q2:

$$I_B = \frac{23,8\text{mA}}{100} = 238\mu\text{A}$$

De la malla M4 se tiene:

$$R5 + R6 = \frac{VCC - VBE}{IB} \quad (1.13)$$

Donde $VCC = +5VCC$ y $VBE = +0,7V$

$$R5 + R6 = \frac{+5VCC - 0,7V}{238\mu A} = 18,06k\Omega$$

Por lo tanto la resistencia de base para garantizar la saturación del transistor Q2 tiene que ser menor o igual a $18,06k\Omega$, por esto el valor de R6 es de $10k\Omega$ y R5 de $6,8k\Omega$.

Para calcular el valor de R4 se procede de la siguiente forma:

Inicialmente se calcula la corriente que circula por el colector de Q3 con la ecuación (1.14) extraída de la malla M5, donde $VCC = +5VCC$, $VCE = +0,2V$ y $R5 = 6,8k\Omega$

$$IC = \frac{VCC - VCE}{R7} \quad (1.14)$$

Por lo tanto:

$$IC = \frac{+5VCC - 0,2V}{6,8k\Omega} = 705,88\mu A$$

Usando la ecuación (1.7), se calcula la corriente base que circula por Q3:

$$IB = \frac{705,88\mu A}{100} = 7,05\mu A$$

En la figura 1.12, de la malla de entrada M6 del transistor se obtiene:

$$R3 = \frac{V0H - VBE}{IB} \quad (1.15)$$

Donde $V_{0H} = +3,3V$ (voltaje que entrega el 555) y $V_{BE} = +0,7V$.

$$R_3 = \frac{+3,3V - 0,7V}{7,05\mu A} = 368,79k\Omega$$

Por lo tanto la resistencia de base para garantizar la saturación del transistor Q3 tiene que ser menor o igual a $368,79k\Omega$, por este motivo el valor de R4 es de $10k\Omega$.

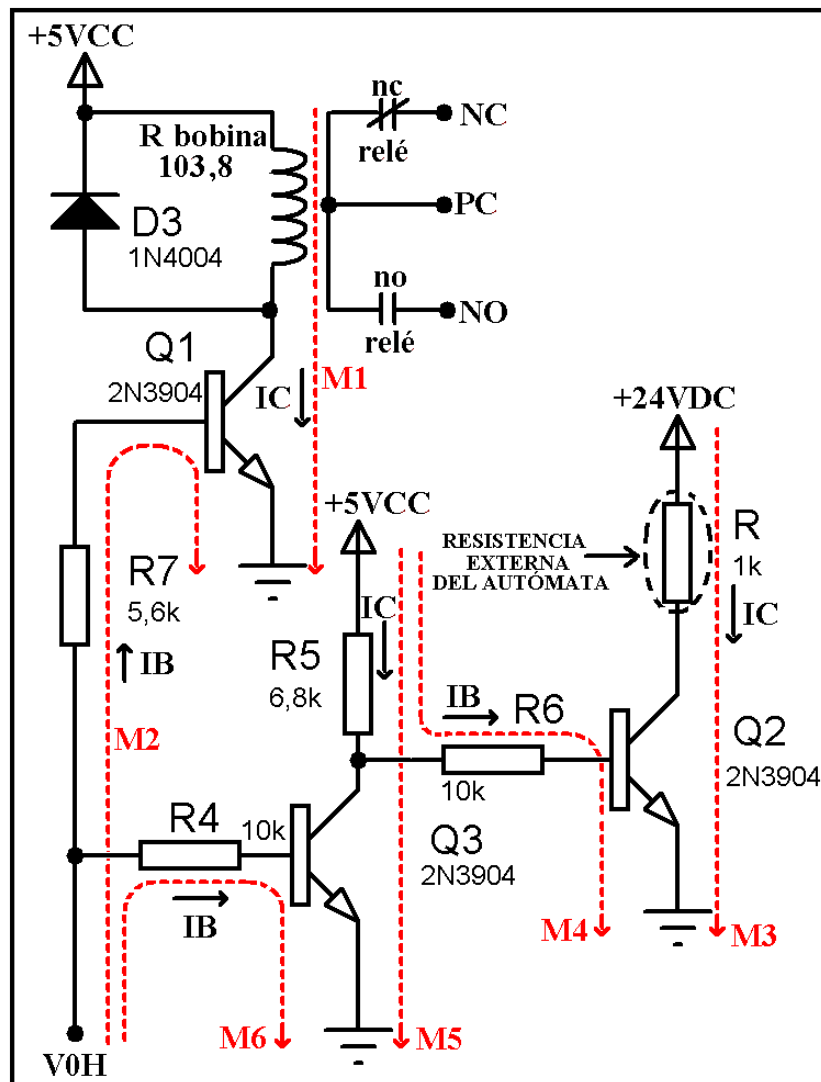


Figura 1.11. Interfaz de potencia electrónica

El diagrama electrónico del sistema receptor se muestra en la siguiente figura.

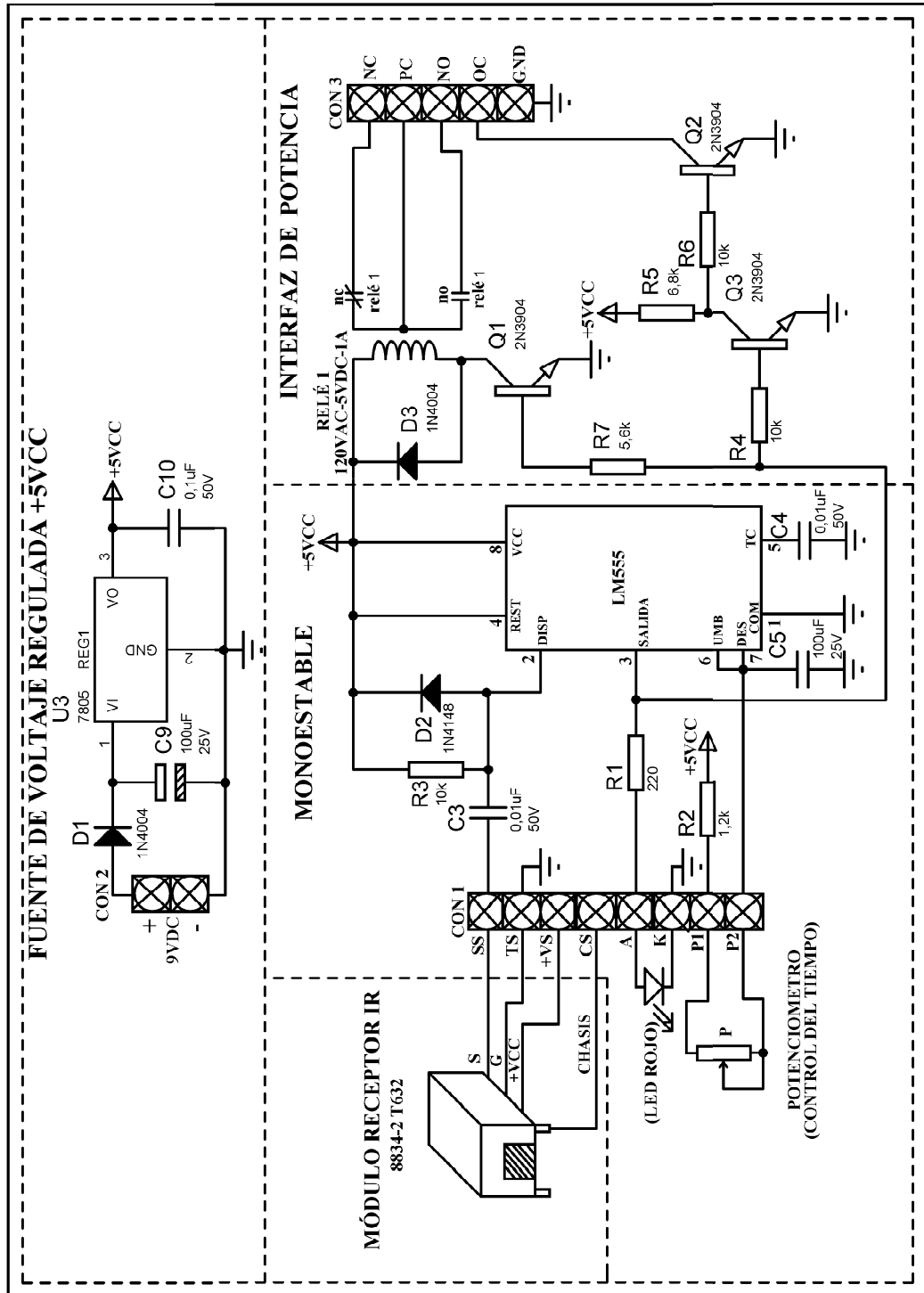


Figura 1.12. Circuito electrónico del receptor

El diseño del circuito impreso en *TraxMaker* del receptor se puede ver en la siguiente figura.

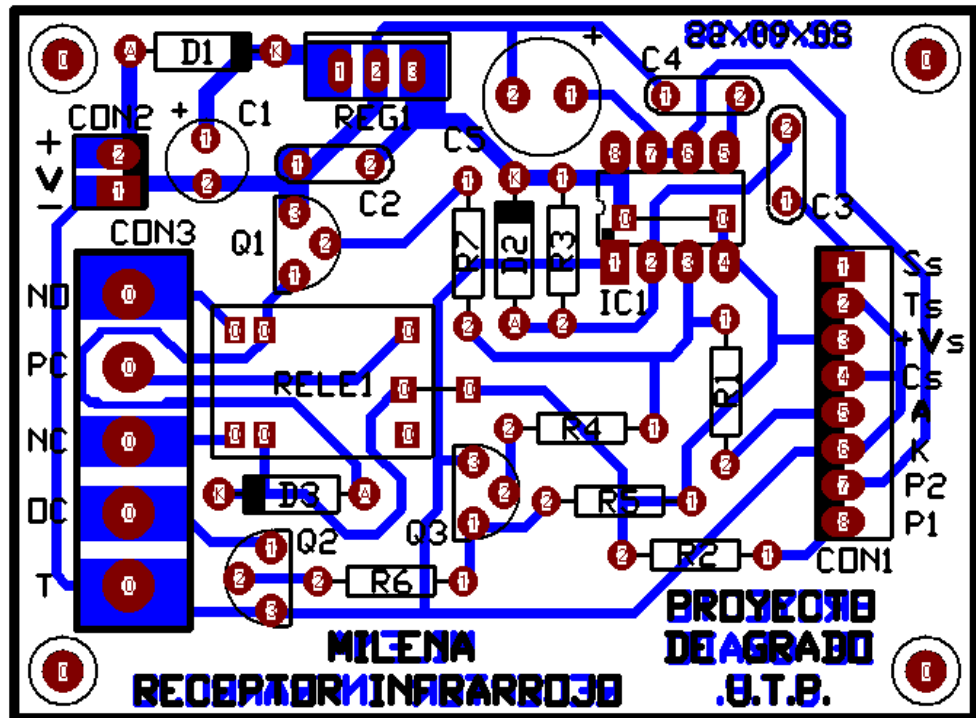


Figura 1.13. Diseño del circuito impreso en *TraxMaker* del receptor

2. PLACA DE VIBRACIÓN

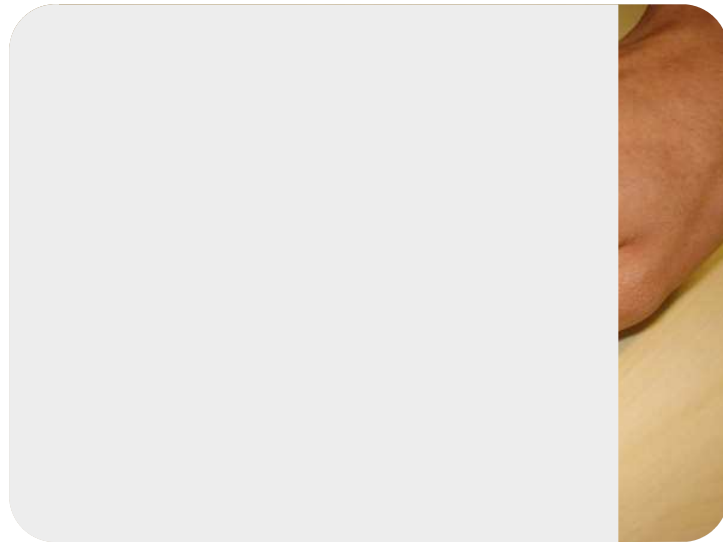


Figura 2.1. Placa de vibración

El diagrama de este se puede apreciar en la figura 2.2



Figura 2.2. Diagrama de bloques de la placa de vibración

El sistema electromecánico de la placa de vibración se compone de un motor de corriente continua con una resistencia limitadora en serie de $3,3\Omega$ y $5W$, que tiene acoplado en su eje una leva ó masa excéntrica (o desbalanceada) ver figura 2.3, este mecanismo hace que el motor experimente una vibración cuando se hace girar a alta revolución cada vez que se alimenta por una fuente de energía de corriente continua (CC). La vibración del motor (tanto del rotor como del estator) es transmitida a un chasis o placa a la cual se sujeta firmemente dicho mecanismo.



Figura 2.3. Aspecto interno de la placa de vibración

Este dispositivo tiene como propósito brindar información a personas con limitaciones visuales y auditivas sobre el estado de las luces del semáforo, y se encuentra ubicado en el poste del semáforo a una altura promedio de 1,50m con respecto al suelo.

El control de la placa de vibración está a cargo del microcontrolador que maneja el programa principal (PIC16F877A). En este caso la intensidad de la vibración siempre es la misma y está determinada por las revoluciones que produce el motor cuando se conecta a +12VCC, las cuales han sido reducidas al valor adecuado por medio de la resistencia limitadora. Durante el período de encendido de la lámpara peatonal verde el microcontrolador controla la frecuencia de encendido y apagado del motor, de forma tal, que sea esta intermitencia la que le informe al usuario sobre la posibilidad de cruzar la calle de manera segura.

Para ofrecer una información segura y confiable, el diseño del control es tal, que sólo cuando el semáforo esta en verde y en modo peatonal, el sistema se activa y el usuario al contacto con la placa percibe la vibración como se puede ver en la figura 2.1. Esta vibración será intermitente, con tiempos de encendido y apagado simétricos de un segundo, y se produce solo durante 28s del tiempo total de encendido de la lámpara, que es de 40s;

de esta forma se le dan 12s al último peatón para que pueda cruzar la calle en el caso de que este inicie el cruce justo un instante antes de que la placa de vibración se detenga, el cual se considera el caso más crítico.

El circuito electrónico de la placa de vibración es el siguiente:

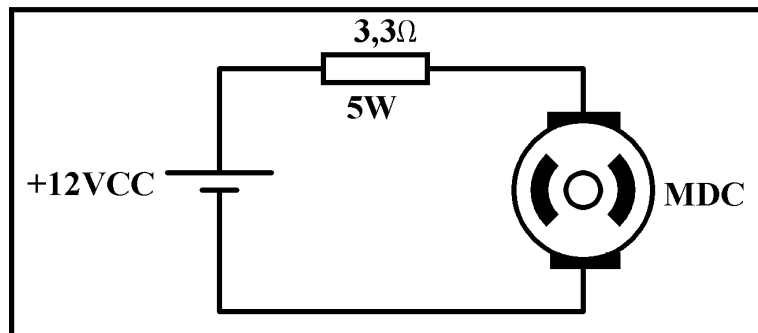
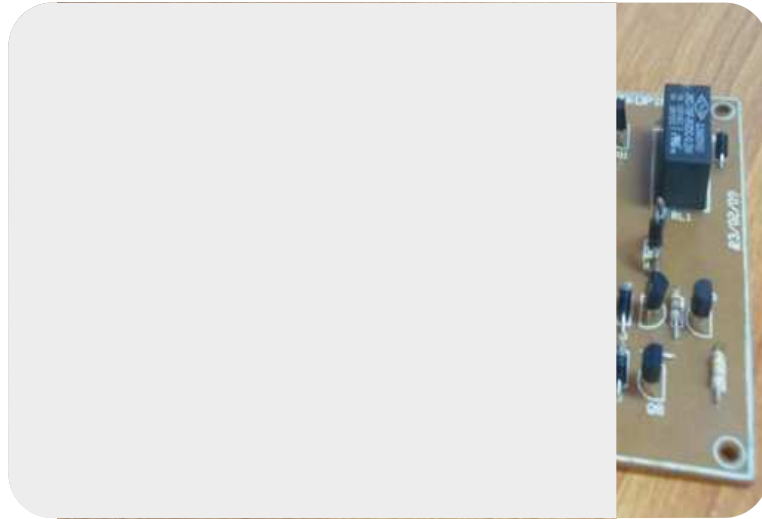


Figura 2.4. Circuito electrónico de la placa de vibración

3. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA LAS FUENTES DE ENERGÍA CONVENCIONAL Y ALTERNATIVA



3.1. Sistema de alimentación para las fuentes de energía convencional y alternativa

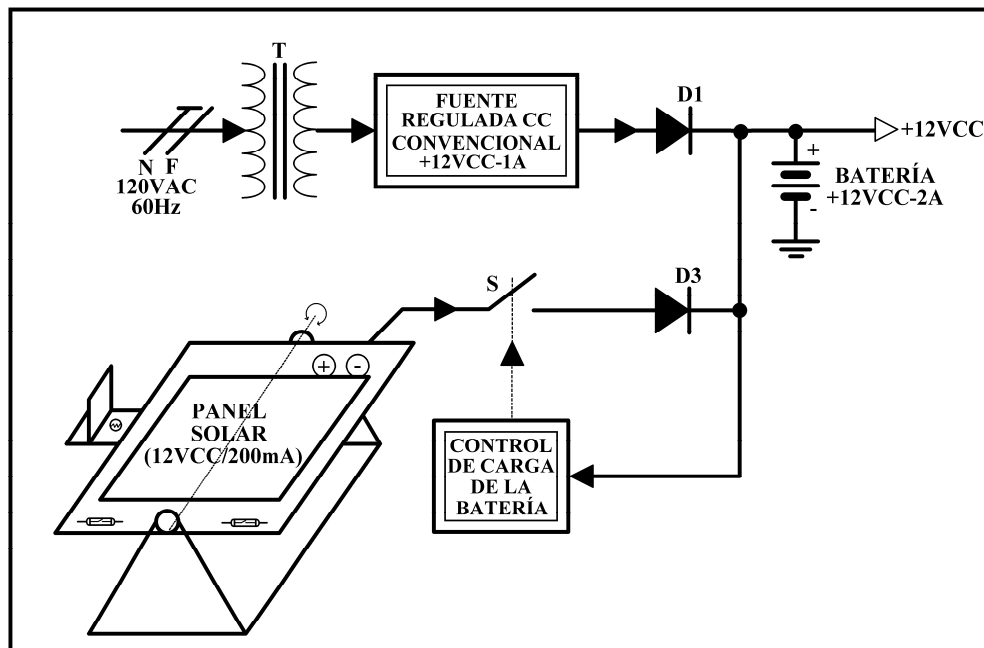


Figura 3.2. Diagrama de bloques del sistema de alimentación para las fuentes de energía convencional y alternativa

El sistema de alimentación para las fuentes de energía convencional y alternativa se encarga de vigilar la carga y la descarga de la batería durante todo el proceso de operación del semáforo y la mantiene entre unos valores adecuados para el correcto funcionamiento del sistema.

Está compuesto por: la fuente de voltaje regulada convencional de $+12VCC - 1A$; una fuente de energía alternativa proveniente de un dispositivo semiconductor denominado panel solar fotovoltaico, que al recibir la radiación solar se excita generando una diferencia de potencial entre sus extremos; los diodos D1 y D3 que actúan como válvulas de estado sólido controladas por voltaje se encargan de conducir o interrumpir el paso de la corriente; un circuito que controla la carga de la batería y una batería de $12VCC - 2A$ responsable de la alimentación de todos los circuitos que componen el semáforo.

En condiciones normales la batería alimenta todos los circuitos del semáforo y comienza a descargarse paulatinamente con el tiempo, lo cual ocasiona que el voltaje del cátodo se haga inferior al voltaje del ánodo en el diodo D1, permitiendo así, que la fuente convencional sea quien suministre la energía necesaria para cargar la batería hasta que alcance un voltaje igual al de la fuente.

Si por algún motivo el suministro de energía convencional falla, D1 no conduce, ya que el voltaje en el lado del cátodo (voltaje de la batería) es mayor al voltaje medido en el ánodo (voltaje de la fuente regulada convencional), provocando que la batería que está alimentando todo el sistema comience a descargarse hasta un mínimo valor permitido que corresponde a $+9,6VCC$ (80% de carga nominal). Una vez alcanzado este voltaje, el circuito que se encarga del control de carga de la batería acciona un interruptor electromecánico “S” (ver figura 3.2), lo cual conecta el panel fotovoltaico al sistema permitiendo que el diodo D3 se polarice directamente cuando el voltaje del panel alcance un nivel superior al de la batería descargada, y esto de paso a una corriente de carga entre la fuente alternativa de energía y la batería. Esto se mantiene hasta que la batería alcanza un voltaje de carga de $+15VCC$ (125% de su carga nominal) abriendo así el interruptor “S”.

3.1 FUENTE REGULADA CONVENCIONAL DE +12VCC

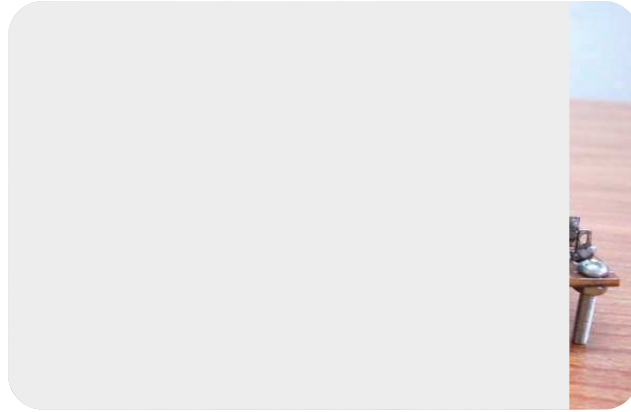


Figura 3.3. Fuente de voltaje regulada de +12VCC – 1A

La fuente regulada convencional +12VCC – 1A, construida con el regulador positivo 7812 comprende varias etapas: la primera consiste en reducir el voltaje de 120VAC a 18VAC, la segunda etapa rectifica la onda completa con el puente de diodos BR1 (ver figura 3.4) logrando así convertir la corriente alterna a corriente continua, la tercera etapa es la de filtrado a través de los condensadores C1 y C2, la cuarta etapa regula el voltaje a un valor continuo constante de +12VCC, por medio del regulador positivo 7812, la quinta etapa elimina el ruido en la salida del regulador usando los condensadores C3 y C4, y finalmente, una etapa de visualización con LED para indicar el estado de la fuente.

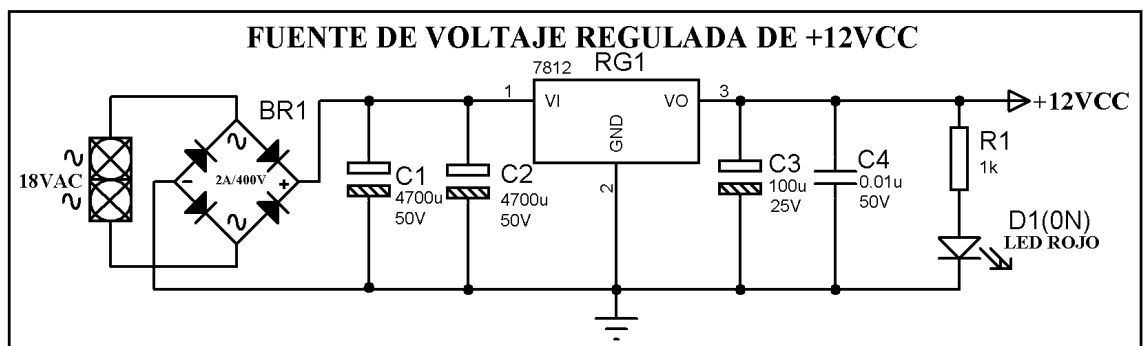


Figura 3.4. Circuito electrónico de la fuente de voltaje regulada de +12VCC – 1ª

3.2 FUENTE ALTERNATIVA

La fuente alternativa proviene de un panel solar fotovoltaico, el cual está conformado por un conjunto de celdas ó células fotovoltaicas que captan la radiación luminosa procedente del sol, para luego transformarla en voltaje y corriente continua. Estas células se conectan en serie y paralelo para lograr la potencia y el voltaje deseado. Cuando el conjunto queda expuesto a la radiación solar, los fotones contenidos en la luz transmiten su energía a los electrones del material semiconductor del cual está hecha cada una de las células, haciendo que estos atraviesen la barrera de potencial de la unión P-N y fluyan como una corriente eléctrica.

El panel está recubierto con películas protectoras que protegen cada una de sus células y sus circuitos convenientemente de agentes atmosféricos.

Al grupo de células fotoeléctricas para energía solar se le conoce como módulos, colectores o paneles fotovoltaicos, están formados por dispositivos semiconductores tipo diodo que, al recibir radiación solar, se excitan y provocan saltos electrónicos, generando una pequeña diferencia de potencial en sus extremos. Los paneles fotovoltaicos consisten en una red de células solares conectadas como circuito en serie para aumentar la tensión de salida (12 ó 24 voltios), a la vez que se conectan varias redes como circuito paralelo para aumentar la corriente continua, que se almacena en la batería pasando a través del regulador, cuya función es proteger la batería de la sobrecarga o de la sobredescarga. Las cargas eléctricas como lámparas, radio, o televisión se conectan a la batería a través del regulador o a través de un inversor que convierte la corriente almacenada en la batería en corriente alterna y permite el uso de las lámparas eficientes y otros electrodomésticos a 120 voltios AC.

La vida útil media a máximo rendimiento de un panel solar fotovoltaico se sitúa en torno a los 25 años, período a partir del cual la potencia entregada disminuye.

Tipos de paneles en función de los materiales

Existen diferentes tipos de paneles solares en función de los materiales semiconductores y los métodos de fabricación que se empleen. Los tipos de paneles solares que se pueden encontrar en el mercado son:

- **Silicio Puro monocristalino.** Basados en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza. En laboratorio se han alcanzado rendimientos máximos del 24,7% para éste tipo de paneles siendo en los comercializados del 16%.

- **Silicio puro policristalino.** Los materiales son semejantes a los del tipo anterior aunque en este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente. Los paneles policristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado. Se obtiene con ellos un rendimiento inferior que con los monocristalinos (en laboratorio del 19.8% y en los módulos comerciales del 14%) siendo su precio también más bajo.

La eficiencia de conversión media obtenida por las células disponibles comercialmente (producidas a partir de silicio mono cristalino) está alrededor del 11-12%, pero según la tecnología utilizada varía desde el 6% de las células de silicio amorfo hasta el 14-19% de las células de silicio mono cristalino. También existen Las células multicapa, normalmente de Arseniuro de Galio, que alcanzan eficiencias del 30%. En laboratorio se ha superado el 42% con nuevos paneles experimentales [43].

Para este proyecto el panel solar fotovoltaico está vigilado por el circuito de control de carga de batería y se encarga de suministrar energía eléctrica cuando las condiciones del sistema así lo exijan. A continuación se muestran las especificaciones técnicas.

Las características eléctricas del panel usado son las siguientes:

- Voltaje de salida nominal +12VCC.
- Corriente de salida nominal 200mA.
- Voltaje en circuito abierto +18.59VCC.

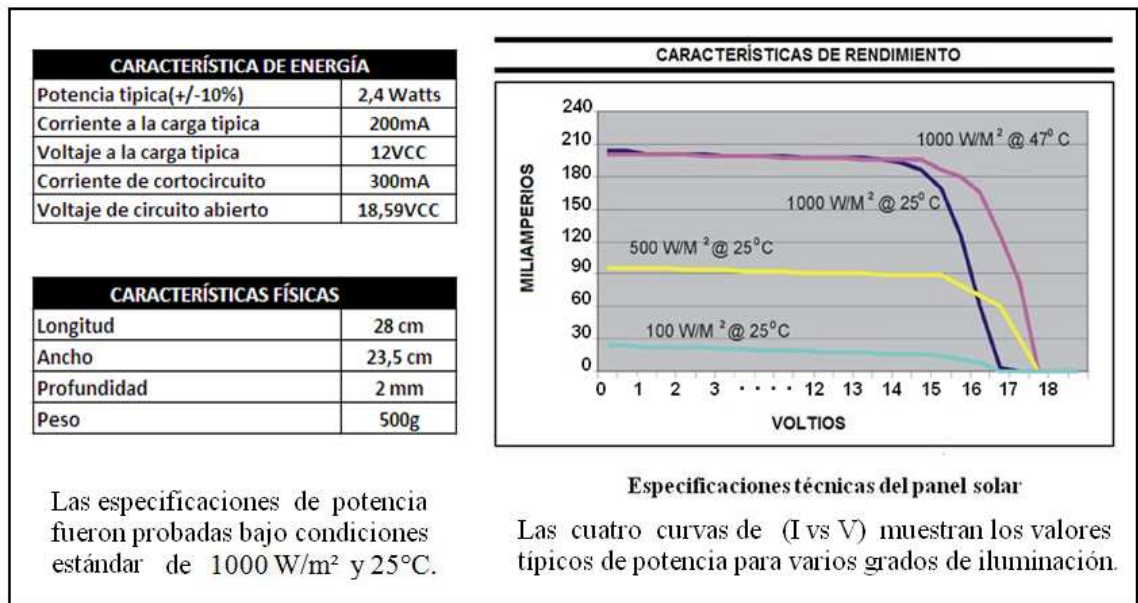


Figura 3.5. Especificaciones técnicas del panel solar fotovoltaico

3.3 CIRCUITO DE CONTROL DE CARGA DE LA BATERÍA

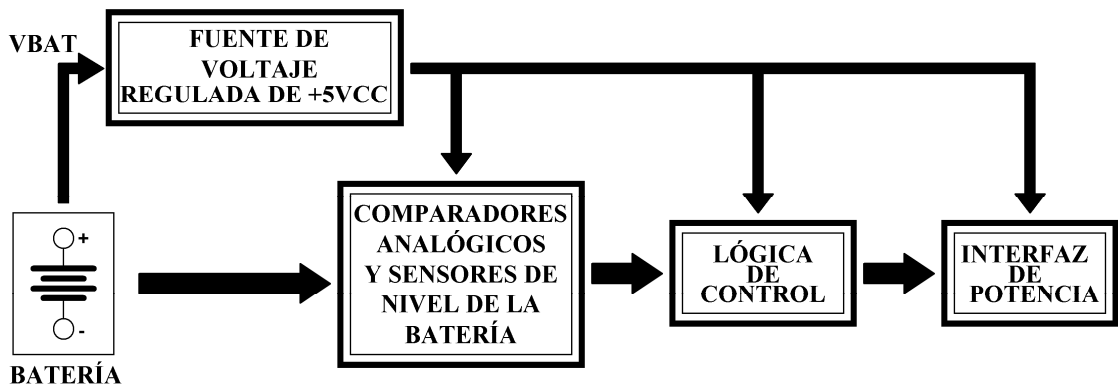


Figura 3.6. Diagrama de bloques del circuito de control de carga de la batería

Es el circuito que se encarga de abrir ó cerrar el contacto “S” para que opere el panel solar fotovoltaico, y de esta manera se pueda cargar o no la batería. Cada vez que la batería tenga una sobrecarga de +15VCC el sistema abre el interruptor electromagnético del relé evitando que esta se siga cargando, una vez la batería comience a descargarse y llegue a +9,6VCC, se cierra el interruptor electromagnético que permite que la batería comience a cargarse con la energía proveniente del panel solar fotovoltaico. La figura 3.6 muestra el diagrama de bloques del circuito de control de carga de la batería, y enseguida se explican cada una de sus partes.

3.3.1 Fuente de voltaje regulada de +5VCC. Es una fuente construida con el regulador positivo 7805 de tres terminales de +5VCC y 1A, el cual se encarga de acondicionar el voltaje proveniente de la batería de +12VCC y lo mantiene a un voltaje continuo constante de +5VCC, independientemente de las variaciones de voltaje en la entrada y de la carga. El condensador C1 se encarga de filtrar la señal rectificada, mientras que los condensadores C2 y C3 sirven para eliminar las oscilaciones que puedan aparecer en la salida del regulador, ya que es un circuito de alimentación y no se desea que haya rizado en la señal (ver figura 3.10)

3.3.2 Comparadores analógicos y sensores de nivel de la batería. Es el circuito que se encarga de tomar muestras de voltaje provenientes de la batería y compararlas con las referencias de carga máxima y de descarga mínima. Está compuesto por dos comparadores LM339 y tres *trimmer's* de 10kΩ, estos *trimmer's* cumplen dos funciones fundamentales, la primera es establecer una equivalencia entre el voltaje de la batería y los voltajes de entrada de referencias de los comparadores, de la siguiente manera, el *trimmer* TR1 toma el valor máximo de carga de la batería, que en este caso es de +15VCC, y por medio de un divisor de tensión se reducen a +4VCC (voltaje de referencia máximo), el *trimmer* TR2 toma el valor mínimo de descarga de la batería correspondiente a +9,6VCC y a través de otro divisor de tensión quedan reducidos a +2,56VCC (voltaje de referencia mínimo). Estos dos ajustes de voltaje son necesarios para el funcionamiento adecuado de los integrados, puesto que están alimentados a +5VCC. La segunda función importante, es la que cumple el

trimmer TR3 como sensor de nivel de la batería, a través del cual se toma permanentemente la muestra del voltaje y se lleva a los comparadores para que sea relacionado el voltaje sentido de la batería junto con los voltajes de referencia y envíen una señal de respuesta al circuito de lógica de control.

3.3.3 Lógica de control. Es un circuito implementado con compuertas NAND que se encarga de recibir la señal proveniente de la salida de los comparadores y permitir activar o desactivar una interfaz de potencia con el objetivo de cargar y descargar la batería. La tabla que describe el comportamiento de la lógica implementada es la siguiente:

Tabla 3.1. Tabla lógica para la carga ó descarga de la batería

	R	S	Qt+1	
Sentido de carga ↑	0	0	0	↓ Sentido de descarga
	0	1	X	
	1	0	Qt	
	1	1	1	

R y S son las entradas de la lógica que resultan de la salida de los comparadores, la salida Qt+1 representa el estado futuro que controla carga y descarga de la batería y Qt el estado anterior de la respuesta del circuito.

- **Momento de carga:** En el momento de carga de la batería (con la batería totalmente descargada) las entradas R y S están en 1 lógico, lo que obliga a que la salida Qt+1 se ponga en 1 lógico y accione el relé de carga, esto sucede cuando el voltaje de entrada que está sensando el nivel de la batería es inferior a los voltajes de referencia. Cuando S=0 y R=1, se indica que el voltaje de entrada es menor que +4VCC pero mayor que +2,56VCC esto, hace que la salida Qt+1 no cambie de estado y continúe cargando la batería. Pero si el voltaje de sensado en la batería supera ambas referencias de voltaje, las entradas R y S se ponen a cero y causan que

la salida del *flip-flop* se ponga en cero y desactive el relé de carga e interrumpa el flujo de corriente hacia la batería (ver tabla 3.1).

- **Momento de descarga:** En el momento de descarga (batería totalmente cargada) R y S están en 0 lógico, indicando que el voltaje sentido por el *trimmer* TR3 es mayor al voltaje de las referencias mínima y máxima, y por lo tanto, la salida Qt+1 se pone en 0 lógico. El siguiente estado con R=1 y S=0 significa que el voltaje sentido es superior a la referencia mínima pero inferior a la referencia máxima, entonces la salida Qt+1 mantiene el estado anterior. El último estado de la tabla indica que las entradas R y S están en 1 lógico, señalando que la muestra de voltaje tomada es menor a +2,56VCC, lo cual pone la salida Qt+1 en 1 lógico para iniciar la carga de la batería (ver tabla 3.1).

3.3.4 Interfaz de potencia: Está conformada por un relé de 5VDC y 1A que es controlado por un amplificador de corriente transistorizado, que se encarga de brindar la potencia necesaria para el debido funcionamiento del mismo. Cada vez que le llegue un nivel alto procedente de la lógica de control, se activará el relé y cerrará su contacto normalmente abierto para permitir que el panel cargue la batería.

La figura siguiente muestra la interfaz de potencia del circuito de control de carga de la batería y su diseño se explica a continuación.

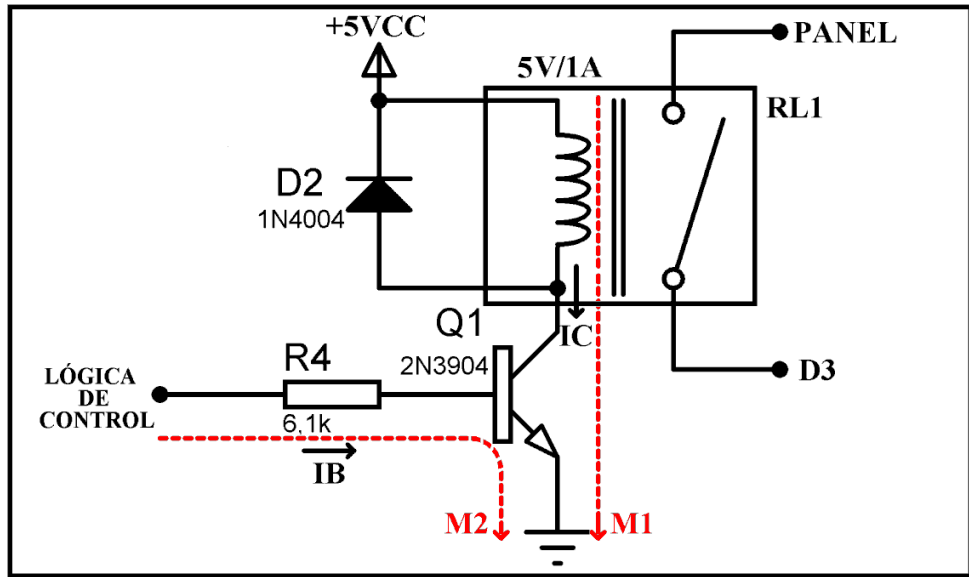


Figura 3.7. Interfaz de potencia del control de carga de la batería

Para el transistor Q1 de la malla M1 se halla la ecuación de la corriente de colector que obedece a la siguiente expresión:

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_{\text{bobina}}} \quad (3.1)$$

Teniendo en cuenta que la alimentación es +5VCC, $V_{CE} = 0,2V$ y la resistencia de la bobina del relé es $101,5\Omega$, se reemplaza en la ecuación (4.1), logrando lo siguiente:

$$I_C = \frac{+5V_{CC} - 0,2V}{101,5\Omega} = 47,29mA$$

La expresión que define la corriente I_B es:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \quad (3.2)$$

Sabiendo que $I_C = 47,29mA$ y que la ganancia del transistor 2N3904 es de $\beta = 100$, se tiene:

$$I_B = \frac{47,290\text{mA}}{100} = 472,91\mu\text{A}$$

La ecuación que describe la malla M2 para el cálculo de R4 es:

$$R_4 = \frac{V_{0H} - V_{BE}}{I_B} \quad (3.3)$$

Donde $V_{0H} = +3,5\text{V}$ (voltaje que entrega el 555) y $V_{BE} = +0,7\text{V}$, reemplazando en la ecuación (3.3) se tiene:

$$R_4 = \frac{+3,5\text{V} - 0,7\text{V}}{472,91\mu\text{A}} = 5,92 \text{ k}\Omega \approx 6,1\text{k}\Omega$$

3.3.5 Batería recargable



Figura 3.8. Batería recargable

La batería es un artefacto electroquímico que convierte la energía eléctrica y la almacena en forma química. La función de esta es almacenar electricidad y suministrar energía eléctrica a todo el sistema. Esta batería posee una capacidad de almacenamiento de 2Ah lo cual es suficiente para abastecer el sistema durante un período largo de tiempo.

Ya que es una batería de ciclo profundo esta puede llegar a descargarse hasta un 72,5% (el 72,5% de carga de cada celda corresponde a +1,45VCC) de su capacidad total que corresponde a +8,7VCC. Para el diseño la descarga profunda considerada es del 80% que equivale a +9,6VCC (el 80% de carga por cada celda corresponde a +1,6VCC).

Las características de la batería son:

- Capacidad de almacenamiento: 2Ah.
- Capacidad de voltaje: +12VCC.
- Total de celdas: 6.
- Capacidad nominal de voltaje de cada celda: +2VCC.
- Voltaje máximo de carga de la batería: +15VCC.
- Voltaje máximo de carga por celda: +2,5VCC.
- Máxima corriente de carga: 0,6A.

La siguiente curva muestra el comportamiento de descarga de la batería.

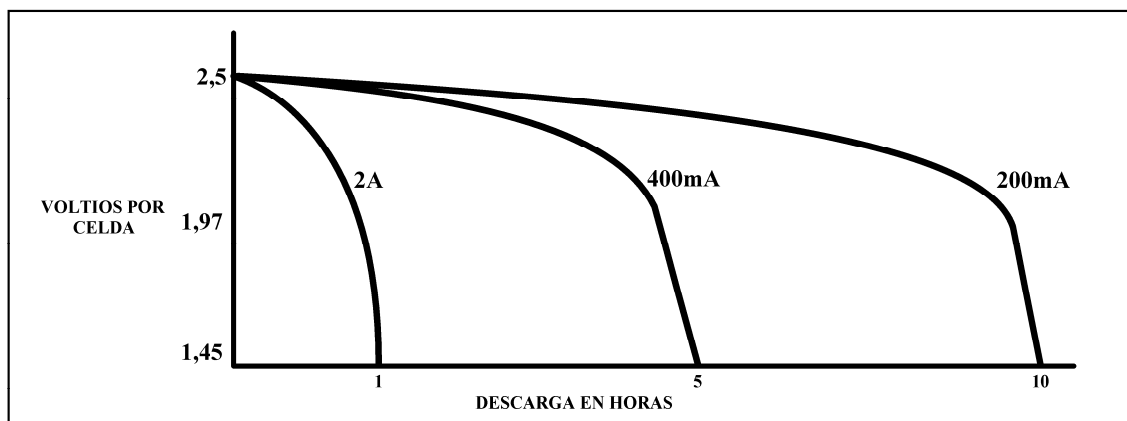


Figura 3.9. Curva de descarga de una batería de 2Ah

La figura muestra el diagrama electrónico del circuito control de carga de la batería

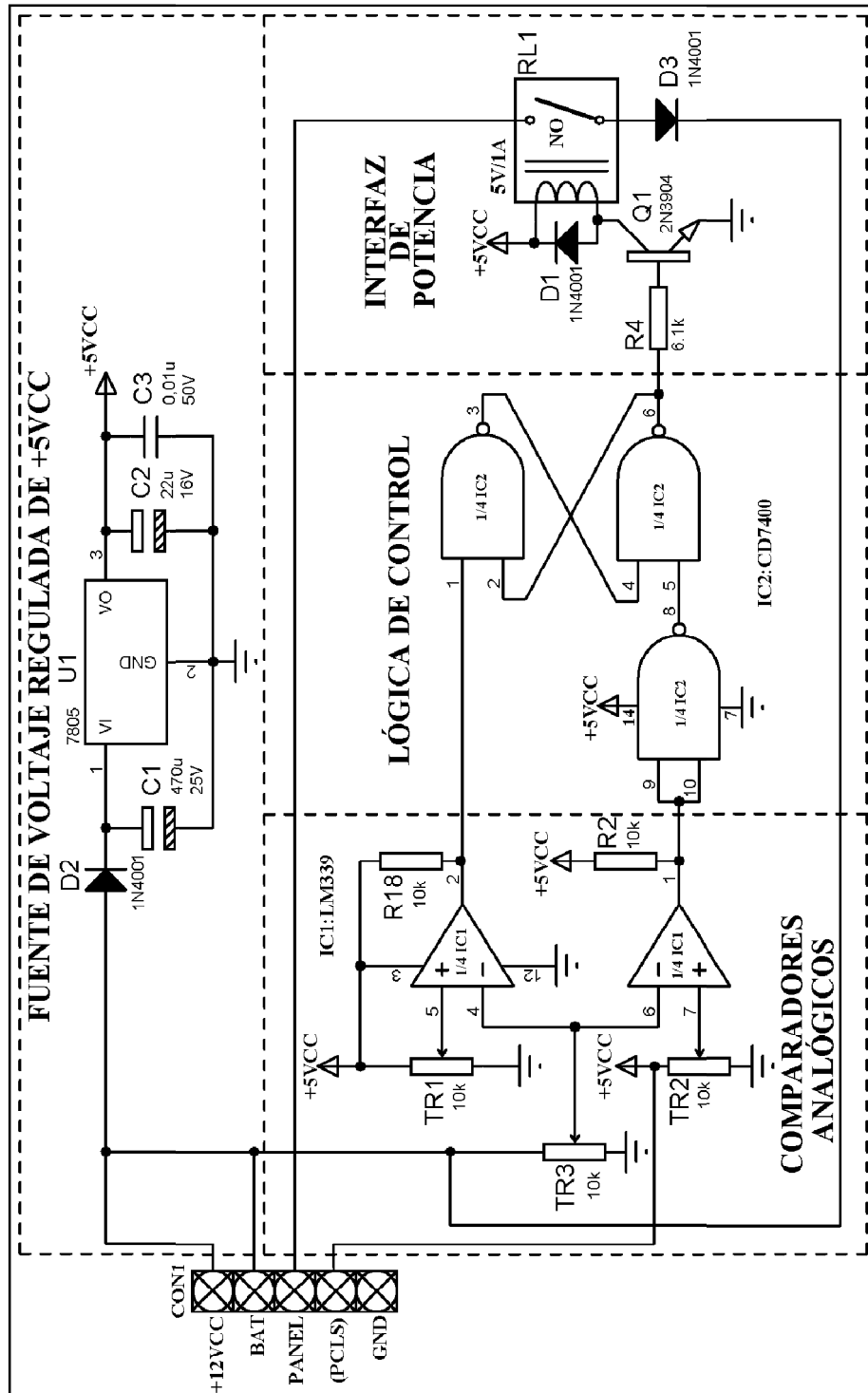


Figura 3.10. Circuito electrónico del control de carga de la batería

El diseño del circuito impreso en *TraxMaker* del sistema de alimentación para las fuentes de energía convencional y alternativa se muestra en la siguiente figura.

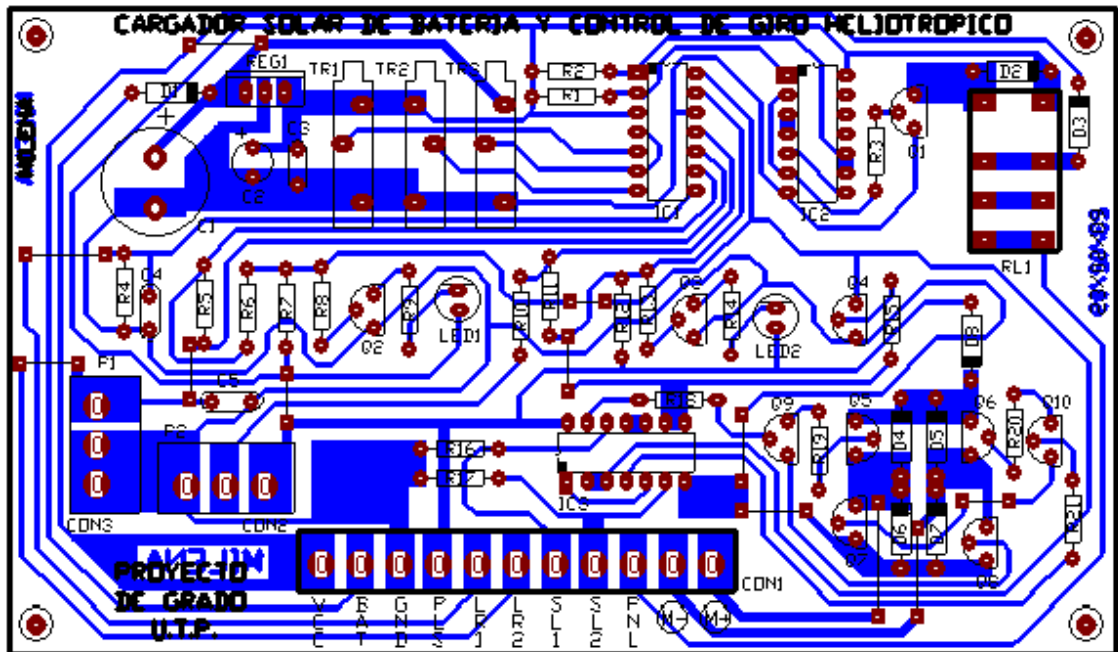


Figura 3.11. Diseño del circuito impreso en *TraxMaker* del sistema de alimentación para las fuentes de energía convencional y alternativa

4. CONTROL DE GIRO HELIOTRÓPICO

El control de giro heliotrópico es un sistema capaz de seguir el movimiento del Sol de oriente a occidente con el propósito de orientar el panel solar fotovoltaico siempre perpendicular a la caída de los rayos del Sol, este último es un módulo que aprovecha la energía de radiación solar para transformarla en energía eléctrica. Este sistema está hecho con el fin de cargar eficientemente una batería recargable que entra a operar en el momento en que la energía convencional sale de funcionamiento.

El mecanismo heliotrópico debe ubicarse estratégicamente en un espacio abierto y orientado longitudinalmente en el eje que va de oriente a occidente, como se muestra en la figura 4.2, de forma tal, que en el momento en que empieza a detectar la radiación solar a través de sus sensores, actúa sobre el motor DC para orientar el panel, a medida que el Sol cambia su posición el sistema opera sobre el motor haciendo que el panel solar mantenga su perpendicularidad con respecto de los rayos del Sol. El mecanismo cuenta con dos límites de carrera, uno de ellos detecta cuando se ha alcanzado la posición límite del panel en el atardecer y le indica al circuito de control para que este invierta su sentido de giro hasta posicionarse en el límite indicado para el amanecer.

Los resultados que se obtienen en la evaluación del porcentaje de potencia de la radiación solar que se convierte en energía eléctrica en el panel, pueden apreciarse y compararse en la siguiente figura, en donde se ha graficado la respuesta del panel cuando este está estático y cuando tiene seguidor solar.

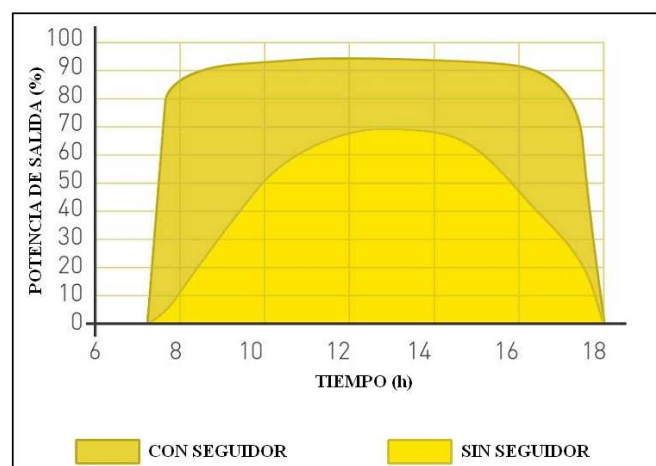


Figura 4.1. Potencia de salida del panel con y sin control heliotrópico

En ella puede verse que el rendimiento aumenta considerablemente cuando se usa el seguidor, ya que el porcentaje de potencia de salida se mantiene por encima del 80% en casi la totalidad del día, y también puede apreciarse que cuando no se utiliza el seguidor, sólo se alcanza alrededor del 70% de la potencia de salida del panel en las horas pico del día (entre las 12m y 2pm).

Para lograr posicionar exactamente en forma perpendicular el panel solar con los rayos incidentes del Sol, se usa un circuito de control proporcional de posición en lazo cerrado que se muestra en la siguiente figura.

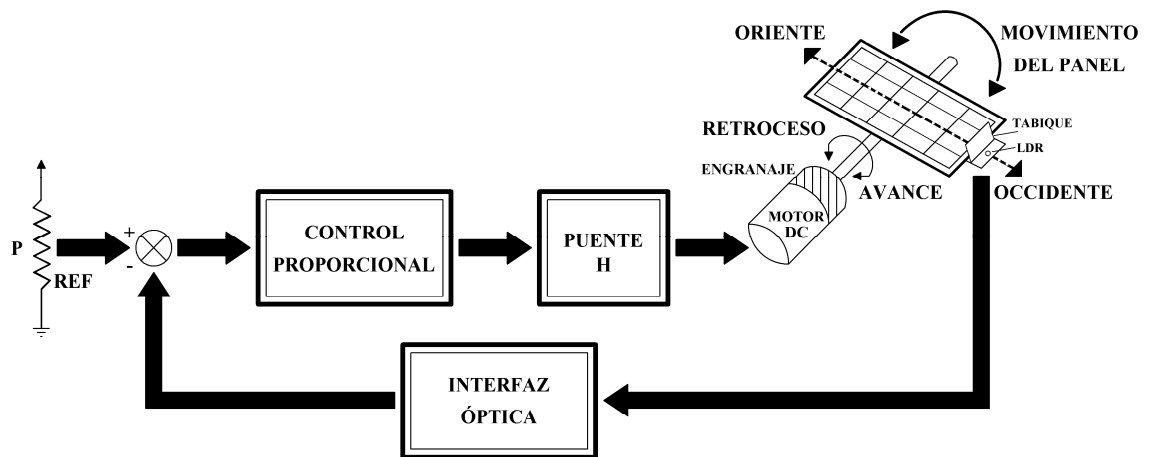


Figura 4.2. Diagrama de bloques del control de posición

A continuación se muestra el diagrama de bloques completo del circuito de control de giro heliotrópico.

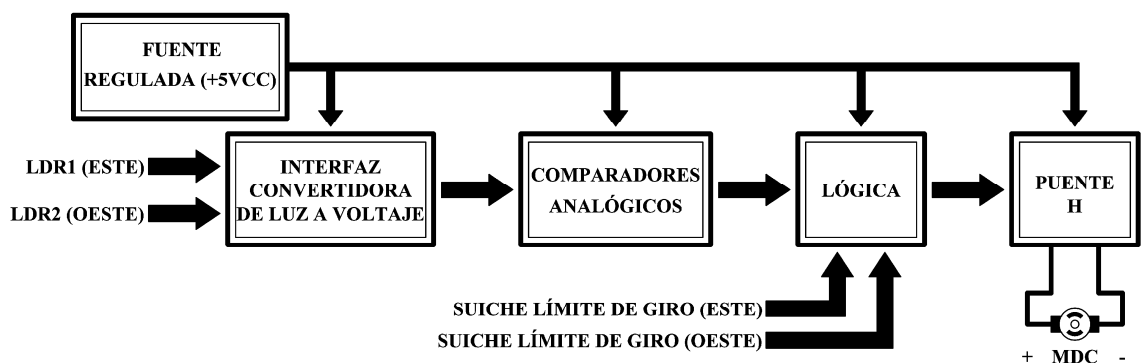


Figura 4.3. Diagrama de bloques del sistema de control de giro heliotrópico

4.1 MECANISMO DE MOVIMIENTO HELIOTRÓPICO

Este mecanismo soporta el panel solar y a través de un eje ligado a un motor con reductor permite que este se mueva de un lado a otro, incluye dos sensores de luz ubicados en un extremo del panel y separados por una barrera o tabique que sirve para darle sombra al sensor que está más alejado del Sol. También cuenta con dos límites de carrera, los cuales indican el inicio y la culminación del día. Esto se puede apreciar en la siguiente figura.

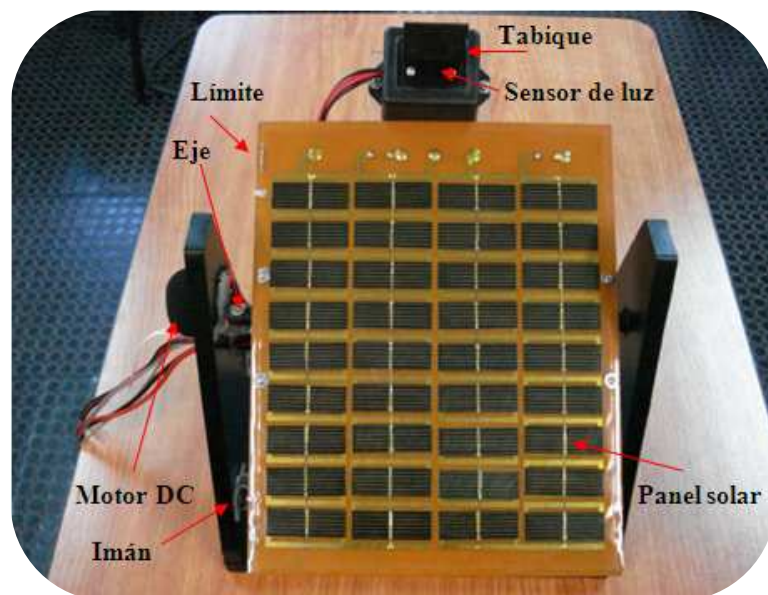


Figura 4.4. Mecanismo de movimiento heliotrópico

4.1.1 Panel solar fotovoltaico. Está formado por un arreglo de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide en él y para obtener su máxima eficiencia siempre debe estar orientado perpendicularmente a los rayos del Sol.

4.1.2 Límites de carrera. Son dispositivos que indican el inicio y el fin de un proceso, en este caso, se cuenta con dos *reed switch* (interruptores de lengüeta), los cuales son interruptores activados por un campo magnético. Cuando los contactos son normalmente

abiertos se cierran en la presencia de un campo magnético, mientras que cuando son normalmente cerrados se abren.

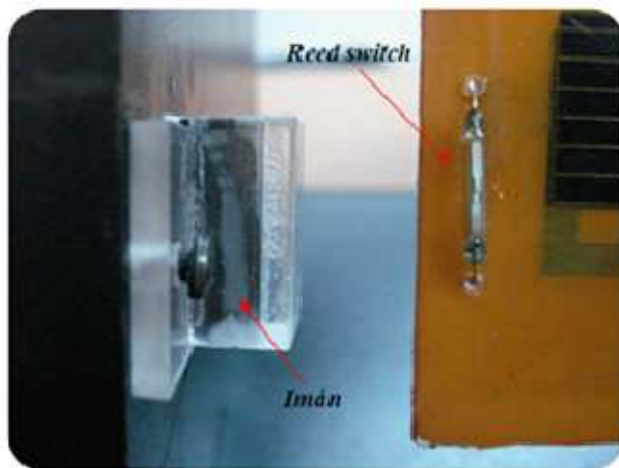


Figura 4.5. Limite de carrera

El *reed switch* consiste en un par de contactos ferrosos encerrados al vacío dentro un tubo de vidrio, cada contacto está sellado en los extremos opuestos del tubo de vidrio.

Al acercarse a un campo magnético, los contactos se unen y la rigidez de los contactos hace que se separen al desaparecer dicho campo. Para asegurar la durabilidad, la punta de

los contactos tiene un baño de un metal precioso (plata, platino u oro).

Como los contactos están sellados, los *reed switch* son empleados en lugares con atmósferas explosivas donde otros interruptores se consideran peligrosos. Esto se debe a que la chispa que se produce al abrir o cerrar sus contactos queda contenida dentro del tubo de vidrio.

El *reed switch* que se usa en este montaje tiene 10 mm de largo por 3 mm de diámetro y se acciona con el campo magnético generado por un imán permanente, como puede apreciarse en la figura 4.5.

4.1.3 Sensor de luz. Es un dispositivo capaz de transformar la radiación luminosa en una magnitud eléctrica, como es el caso de los llamados LDR (en ingles *light-dependent resistor*, o resistencia dependiente de la luz), la cual es una celda fotoconductora de sulfuro de cadmio.

La LDR varía la resistencia según la luz que incide sobre ella. Su coeficiente es negativo, es decir, a mayor luz menor resistencia y a menor luz mayor resistencia.



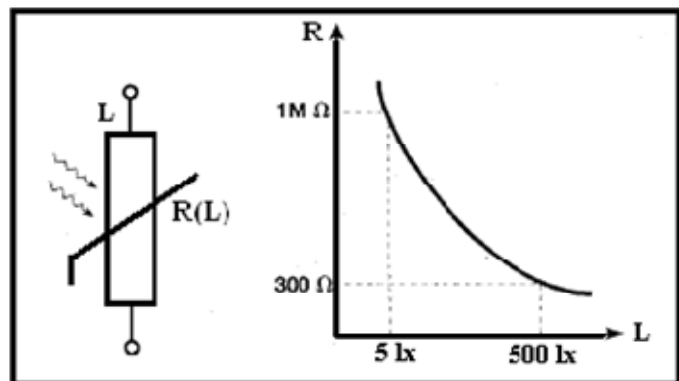
4.6. Resistencia dependiente de la luz

La ley de variación de la resistencia en función de la energía luminosa recibida es:

$$R = Ke^{-\alpha}$$

Donde K y α son constantes que dependen del material que constituye la resistencia.

La LDR que se utiliza está construida en un encapsulado plástico tipo T18 resistente a la humedad, y responde tal como se muestra en la curva 4.7. Ver anexo 5.



4.7. Símbolo y curva característica de una LDR

4.1.4 Motor DC. El motor que se implementa en el mecanismo es un motor con reductor con una velocidad de 30 RPM, un par de 4 kg/cm, se alimenta con 5VDC y 200mA. Tiene la capacidad de girar en ambos sentidos con solo cambiar la polaridad de la alimentación. Es posible regular su velocidad haciendo circular mayor o menor corriente.

4.2 CIRCUITO DE CONTROL DEL SISTEMA DE GIRO HELIOTRÓPICO

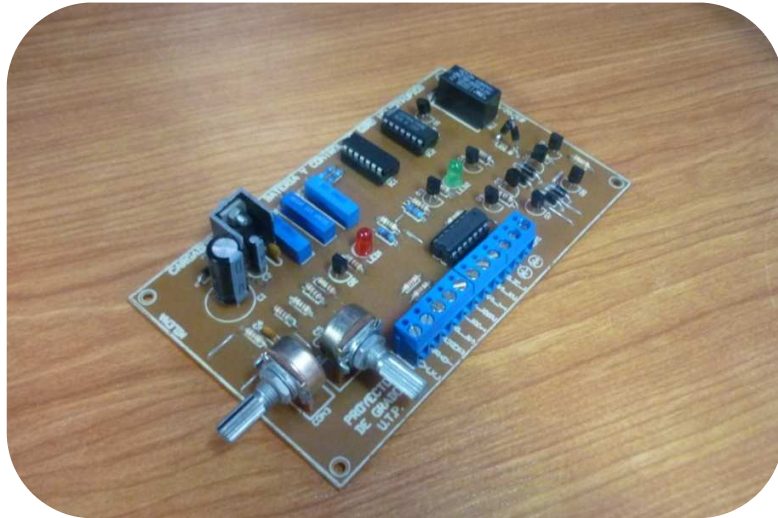


Figura 4.8. Circuito de control del sistema de giro heliotrópico

Este circuito se encarga de detectar la posición del Sol por medio de los sensores de luz y maneja el motor del mecanismo para mantener el panel orientado hacia el Sol. En la figura 4.3 se muestra el diagrama de bloques del circuito completo, el cual está compuesto por las siguientes partes:

4.2.1 Interfaz convertidora de luz a voltaje. Esta interfaz se conforma por dos fotorresistencias ó LDR, un potenciómetro P1 y una resistencia fija R4, que en conjunto se encargan de transformar la luz solar en voltaje, los condensadores C4 y C5 sirven como filtros para eliminar el ruido de la señal de voltaje obtenida ya que se generan variaciones debido a que la incidencia de luz en la fotorresistencia no es completamente continua como consecuencia de las perturbaciones atmosféricas.

4.2.2 Comparadores analógicos. Esta etapa usa dos comparadores del circuito integrado LM339, uno de los comparadores (U1: A) es el que recibe las tensiones sensadas provenientes de cada fotorresistencia (la de occidente y la de oriente, separadas por el

tabique), y estas son comparadas para determinar la posición y el movimiento del Sol con el objetivo de hacer que el motor gire en la dirección apropiada, para que el panel se mueva siguiendo el Sol y se aproveche la mayor cantidad de luz posible.

En este, la entrada negativa recibe el voltaje proveniente de la interfaz de la fotorresistencia de oriente y la entrada positiva recibe el voltaje proveniente de la interfaz de la fotorresistencia de occidente, estos niveles son comparados y cuando el voltaje de la entrada positiva es mayor que el de la negativa, mas el nivel de histéresis la salida del comparador, se hace igual a +VCC y cuando sucede lo contrario se hace igual a cero.

El otro comparador (U1: B) tiene como propósito detectar la llegada de la noche para hacer que el motor mueva el panel hacia el oriente hasta posicionarlo en el límite correspondiente, de cara al Sol naciente. Recibe el voltaje que transforma la fotorresistencia ubicada en el occidente por la entrada negativa y lo compara con una referencia fija de voltaje que se calibra por medio del potenciómetro P2 y que recibe por la entrada positiva, cuando esta calibrado y la señal proveniente del occidente es mayor, la salida del comparador se hace igual a +VCC, mientras que cuando sucede lo contrario se hace igual a cero.

En ambos casos se ha agregado una ventana de histéresis (VH) de aproximadamente 100mV para absorber el ruido eléctrico que se recibe desde las interfaces de conversión de resistencia a voltaje de las LDR y causado por los cambios atmosféricos. Esta se cálculo de la siguiente manera:

$$V_H = 2V_{CC} \frac{R_i}{R_i + R_f} \quad (4.1)$$

Despejando a RF en (4.1) y asumiendo una resistencia $R_i = 10k\Omega$ se tiene:

$$R_f = R_i \frac{2V_{CC}}{V_H} - R_i = 10k\Omega \frac{2 \times 5V}{100mV} - 10k\Omega = 990k\Omega$$

En el circuito $R_i = R_5 = R_{10} = 10\text{k}\Omega$ y $R_f = R_6 = R_{11} = 1\text{M}\Omega$.

Para monitorear y calibrar las respuestas de los comparadores se han incluido en el diseño dos diodos LED manejados por medio de dos transistores, y su diseño es el siguiente:

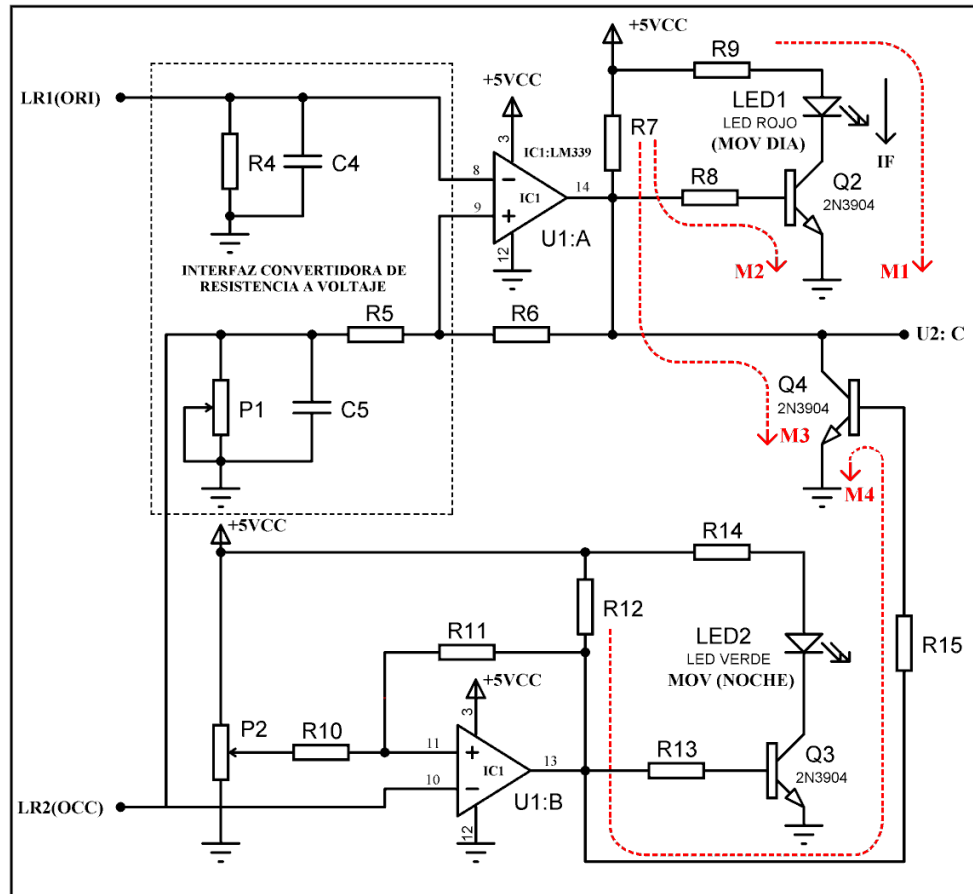


Figura 4.9. Interfaz de conversión de resistencia a voltaje y comparadores analógicos

Considerando una corriente de LED, $I_F = I_C = 10\text{mA}$.

De la malla 1 (M1) se tiene:

$$R_9 = R_{14} = \frac{+V_{CC} - V_F - V_{CE}}{I_C} \quad (4.2)$$

Reemplazando en (4.2) se tiene:

$$R9 = R14 = \frac{+5VCC - 1,8V - 0,1V}{10mA} = 310\Omega$$

Asumiendo $\beta = 100$ para el transistor 2N3904 (Q2 y Q3) el cálculo para la resistencia de base es:

Sabiendo que $R_{PU} = R7 = R12 = 10k\Omega$, de la malla 2 (M2) resulta:

$$R8 = R13 = \frac{+VCC - V_{BE}}{\frac{I_C}{\beta}} - R_{PU} \quad (4.3)$$

Reemplazando en (4.3) se tiene.

$$R8 = R13 = \frac{+5VCC - 0,7V}{\frac{10mA}{100}} - 10k\Omega = 33k\Omega$$

En esta etapa se ha incluido un transistor Q4 que evita que las salidas de los comparadores que operan en el día y en la noche (U1: A y U1: B) puedan responder simultáneamente. Este es controlado por la salida del comparador que detecta la llegada de la noche (salida indicada por el LED verde) y se conecta en la salida del comparador que controla el movimiento de día (salida indicada por el LED rojo). Esta condición facilita el diseño de la lógica.

El cálculo de la resistencia de saturación de este transistor es el siguiente, teniendo en cuenta que la resistencia de colector es la de *pull-up* $R7 = 10k\Omega$ y que su $\beta = 100$.

De la malla 3 (M3) la corriente de colector es:

$$I_C = \frac{+VCC - V_{CE}}{R7} = \frac{+5VCC - 0,1V}{10k\Omega} = 0,49mA \quad (4.4)$$

Por lo tanto de la malla 4 (M4) resulta:

$$R_{15} = \frac{+VCC - V_{BE}}{\frac{I_C}{\beta}} - R_7 = \frac{+5VCC - 0,7V}{\frac{0,49mA}{100}} - 10k\Omega = 877,5k\Omega$$

El proceso de calibración de los comparadores se realiza de la siguiente manera:

- **Para el comparador del día (LED rojo).** Estando la luz solar incidiendo directamente y de forma igual en ambas fotoresistencias (occidente y oriente) se debe mover el potenciómetro (P1) asociado con dicho comparador hasta que el LED se apague.
- **Para el comparador de noche (LED verde).** Al final del día (con la oscuridad deseada) se ajusta el potenciómetro (P2) asociado al comparador de dicho LED, hasta que este se encienda. Se debe iniciar el proceso de ajuste con el potenciómetro en una posición tal que el LED este apagado.

4.2.3 Lógica. El circuito lógico recibe las señales provenientes de los comparadores, de las fotoresistencias y de los suiches límites, y tiene el propósito de controlar el giro del motor en la dirección apropiada.

Para obtener el circuito lógico, primero se construye una tabla lógica de la verdad en la cual se incluyen todas las posibilidades y los estados de las cuatro variables de entrada y de las dos salidas de control para el motor. La tabla se muestra a continuación:

Tabla 4.1. Tabla de la verdad del circuito lógico

OLV	SL1 (ORI)	OLR	SL2 (OCC)	EA	ER
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	1
0	0	1	1	0	0
0	1	0	0	0	0
0	1	0	1	X	X

0	1	1	0	0	1
0	1	1	1	X	X
1	0	0	0	1	0
1	0	0	1	1	0
1	0	1	0	X	X
1	0	1	1	X	X
1	1	0	0	0	0
1	1	0	1	X	X
1	1	1	0	X	X
1	1	1	1	X	X

Estados:

1 Lógico = +VCC = +5VCC.

0 Lógico = GND = 0V.

Entradas:

OLV (D), es la salida del comparador del LED verde.

SL1 (C), es el sensor límite de oriente.

OLR (B), es la salida del comparador del LED rojo.

SL2 (A), es el sensor límite de occidente.

Salidas:

EA, es la entrada de avance requerida para el control del puente H.

ER, es la entrada de retroceso requerida para el control del puente H.

Resolviendo para EA y ER por medio del mapa de *Karnaugh*, se tiene:

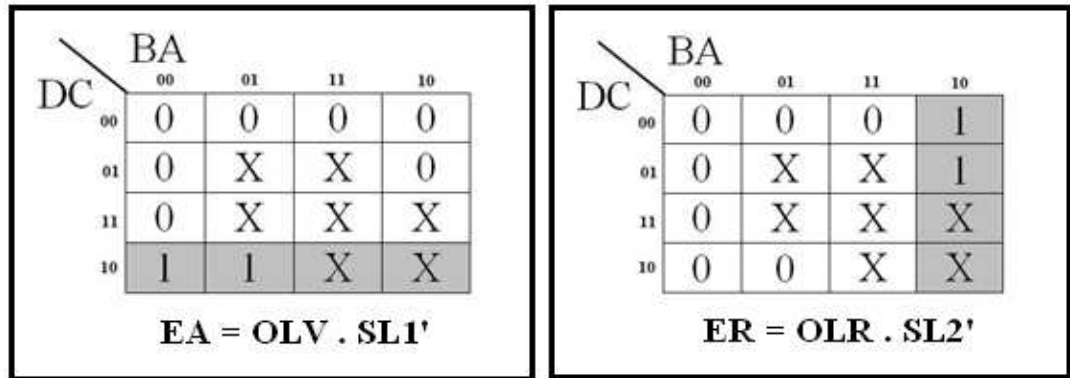


Figura 4.10. Mapa de *Karnaugh* y funciones EA y ER

El circuito lógico que se implementa con compuertas NOR TTL de referencia 74LS02 se muestra a continuación:

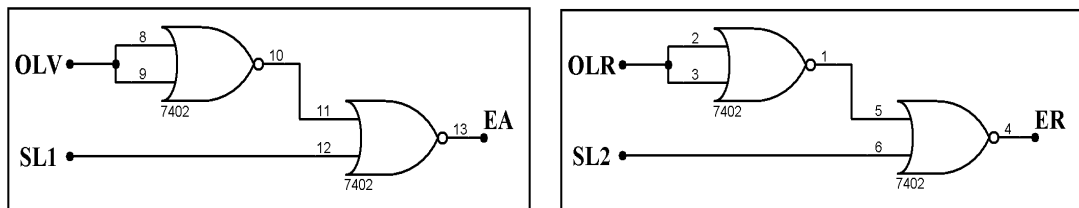


Figura 4.11. Circuitos lógicos de EA y ER

4.2.4. Puente H. Es un circuito que se encarga de controlar motores de corriente continua, y su nombre se refiere a la posición en que quedan los transistores en el diagrama del circuito (los transistores quedan en una distribución que recuerda la letra H). Esta configuración es una de las más utilizadas en el control de motores de corriente continua, ya que permite que el motor pueda girar en ambos sentidos (avance y retroceso), y esto se determina por medio de las señales provenientes del circuito lógico.

Para poner en movimiento el motor en sentido de avance se debe aplicar una señal positiva en la entrada marcada como AVANCE y al mismo tiempo de debe poner 0V en la entrada marcada como RETROCESO, de esta manera se saturan los transistores Q5, Q8 y Q9

haciendo que la entrada **a** del motor reciba un positivo (+5V - 0,7V) y la entrada **b** se haga aproximadamente igual a tierra (0V). Tal como se muestra en la figura 4.12.

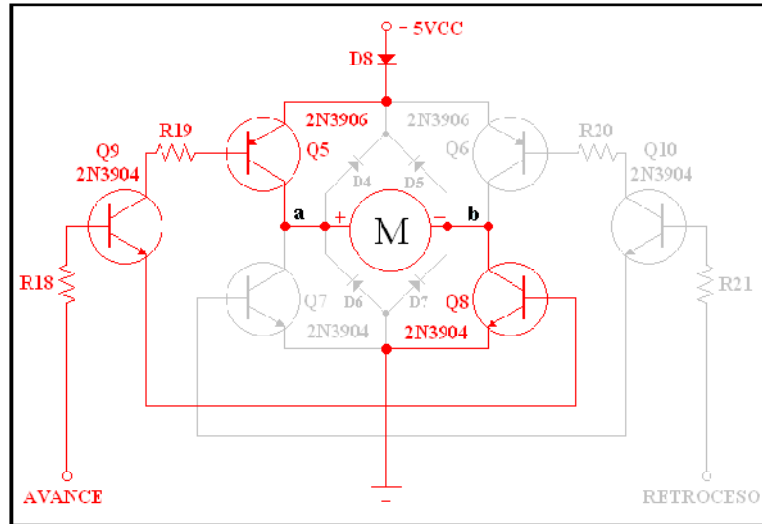


Figura 4.12. Condición de avance del puente H

Si en cambio se aplica una señal positiva en la entrada de RETROCESO mientras que en la entrada de AVANCE se pone 0V, se saturan los transistores Q6, Q7 y Q10 haciendo que el motor reciba un voltaje positivo por la entrada **b** del motor y aproximadamente tierra (0V) por la entrada **a** del motor. Tal como se puede ver en la siguiente figura.

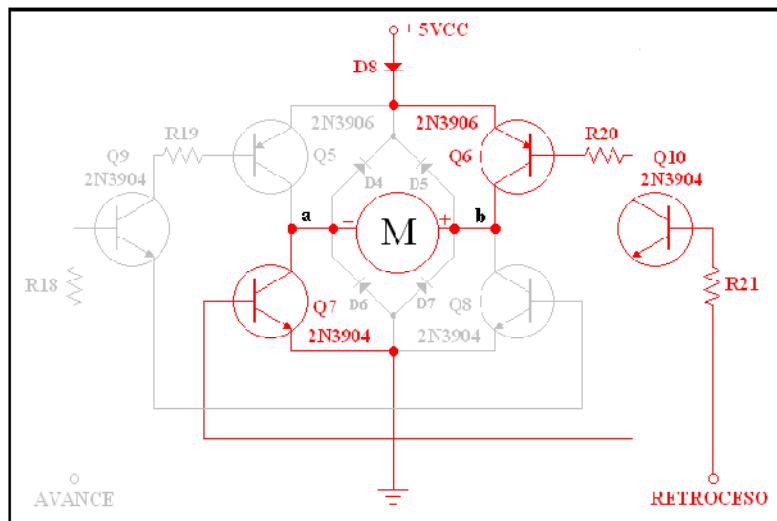


Figura 4.13. Condición de retroceso del puente H

Las condiciones de diseño de la tabla de la verdad lógica son tales que impiden que en algún caso puedan aplicarse voltajes positivos simultáneamente a las entradas de RETROCESO y de AVANCE, ya que esto ocasiona un cortocircuito en el puente H.

Si aplicamos la ley de *Kirchhoff* de mallas se obtiene lo siguiente:

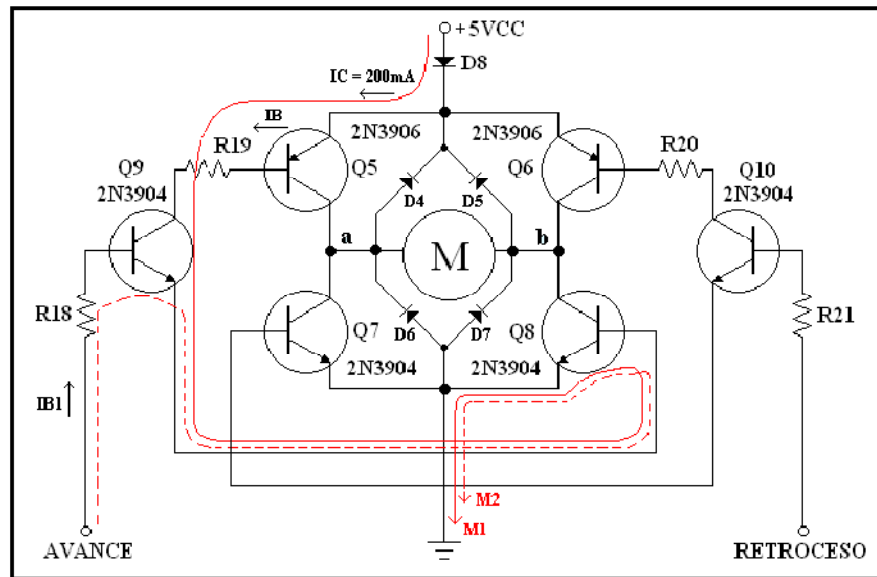


Figura 4.14. Análisis de mallas en la condición de avance

De la malla 1 (M1) se tiene:

$$+VCC - VF(D8) - VBE(Q5) - (IBR19) - VCE(Q9) - VBE(Q8) = 0 \quad (4.5)$$

Despejando de (4.5).

$$R19 = \frac{+VCC - VF(D8) - VBE(Q5) - VCE(Q9) - VBE(Q8)}{\left(\frac{IC}{\beta}\right)} \quad (4.6)$$

Reemplazando en (4.6), con $IC = 200mA$ (corriente máxima del motor) y $\beta=100$ para los transistores 2N3904 y 2N3906, se tiene:

$$R19 = \frac{+5VCC - 0,7V - 0,7V - 0,1V - 0,7V}{\left(\frac{200mA}{100}\right)} = 1,4k\Omega$$

Para hallar la corriente de base del transistor Q9 (IB1) se reemplaza en la ecuación (4.7) y se obtiene lo siguiente:

$$IB1 = \frac{IC}{\beta} = \frac{IB}{\beta} \quad (4.7)$$

$$IB1 = \frac{\frac{200mA}{100}}{100} = 0,02mA$$

De la malla 2 (M2) se tiene:

$$V(AVANCE) - (IB1R18) - VBE(Q9) - VBE(Q8) = 0 \quad (4.8)$$

Despejando de (4.8) la resistencia.

$$R18 = \frac{V(AVANCE) - VBE(Q9) - VBE(Q8)}{IB1} \quad (4.9)$$

Reemplazando en (4.9) con $V(AVANCE) = +5VCC$, se tiene:

$$R18 = \frac{+5VCC - 0,7V - 0,7V}{0,02mA} = 180k\Omega$$

Sabiendo que el otro lado del circuito del puente H es exactamente igual al analizado anteriormente, se concluye que $R19 = R20 = 1,4k\Omega$ y que $R18 = R21 = 180k\Omega$.

Los diodos internos del puente H, D4, D5, D6 y D7 son protecciones que evitan que circulen corrientes transitorias inversas a través de los transistores en los momentos en los cuales se desconecta el puente H.

Debido a las condiciones del mecanismo, es importante considerar que cuando el motor retrocede el panel gira de oriente a occidente y cuando el motor avanza el panel invierte el sentido de giro.

Se deben tener en cuenta en el control de este circuito que las señales AVANCE y RETROCESO jamás deben coincidir. Si esto ocurre los transistores Q5, Q6, Q7 y Q8 cierran el circuito entre el positivo de la fuente de alimentación y tierra (hacen un cortocircuito) sin pasar por el motor, excediendo la capacidad de corriente Emisor-Colector y dañando los transistores. Y si la fuente no posee protección, también podrá sufrir importantes daños debido a la corriente de cortocircuito.

A continuación se puede apreciar el circuito electrónico completo del sistema de giro heliotrópico.

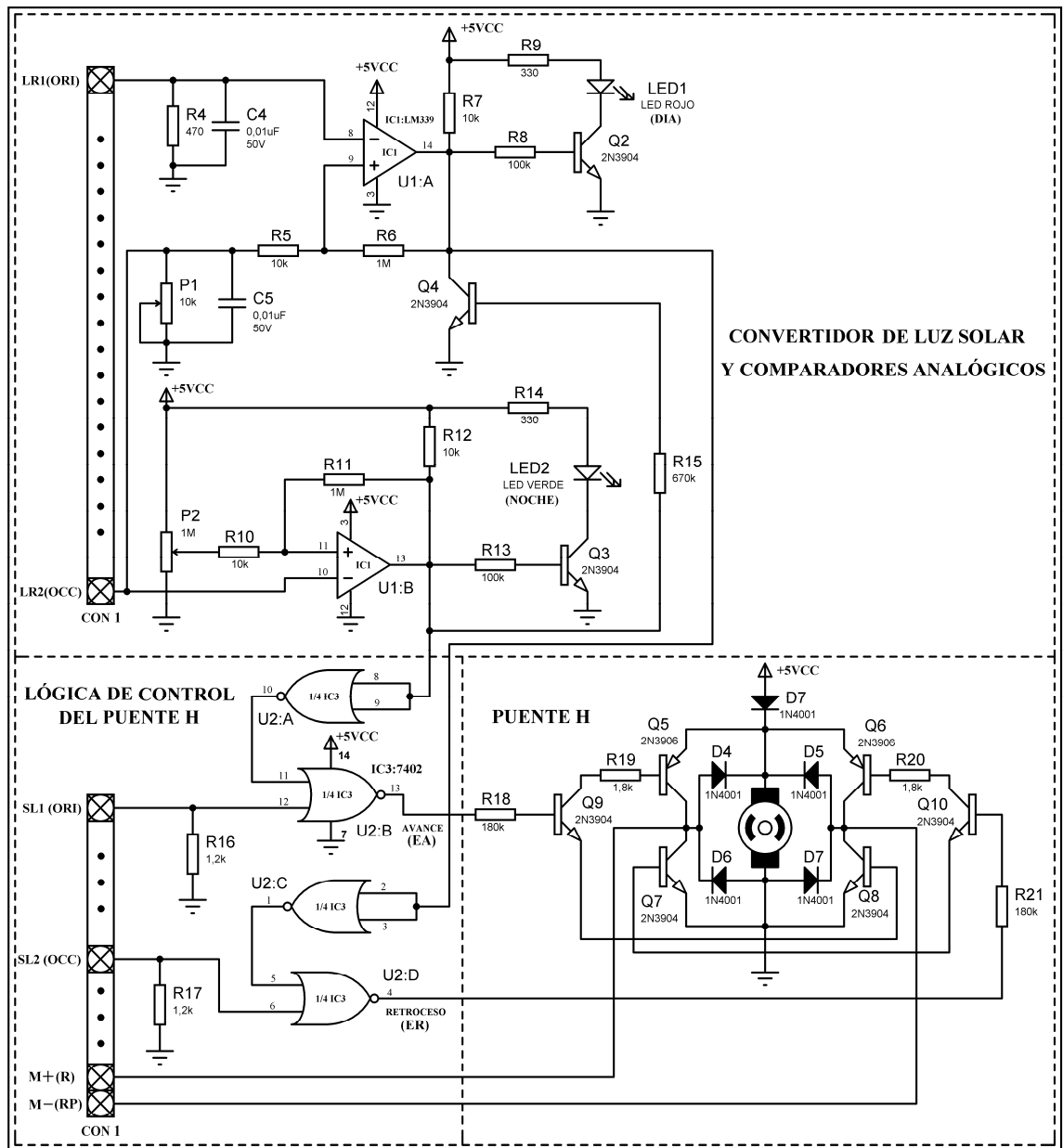


Figura 4.15. Circuito electrónico del sistema de control de giro heliostático

En la siguiente figura se muestra el circuito impreso del control de giro heliostático diseñado en *TraxMaker*.

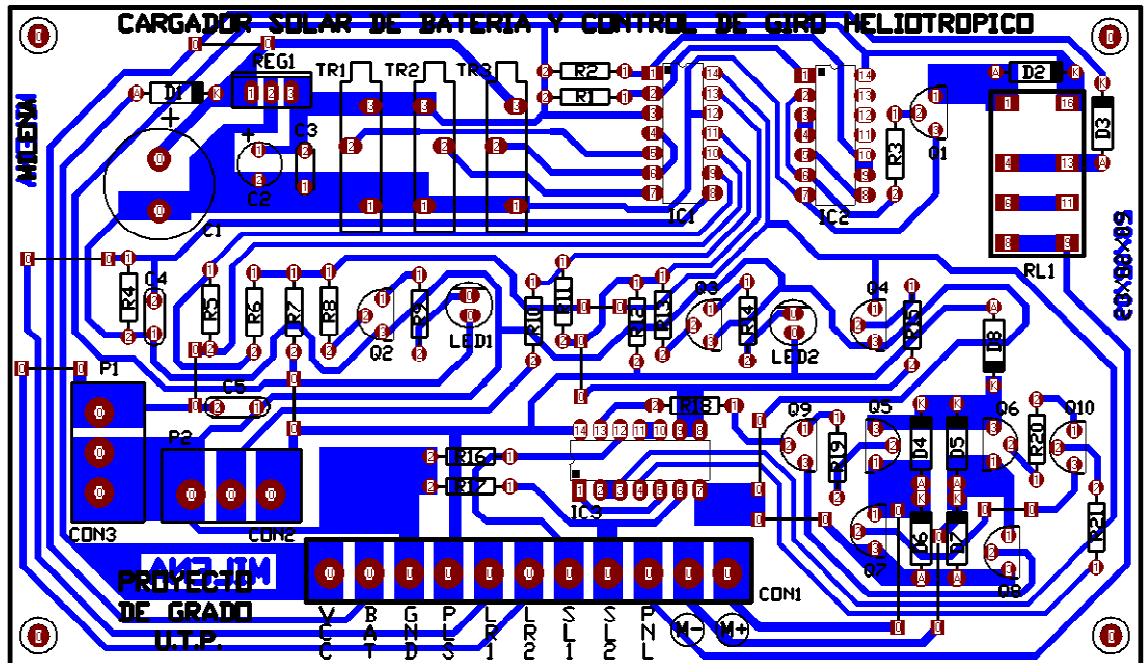


Figura 4.16. Diseño del circuito impreso en *TraxMaker* del control de giro heliostático y del control de carga de la batería

5. PANEL DE ILUMINACIÓN

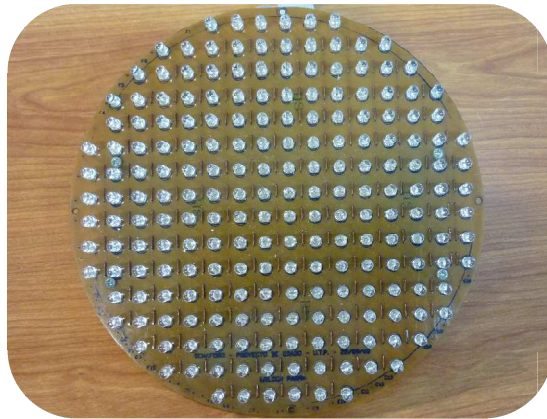


Figura 5.1. Panel de iluminación

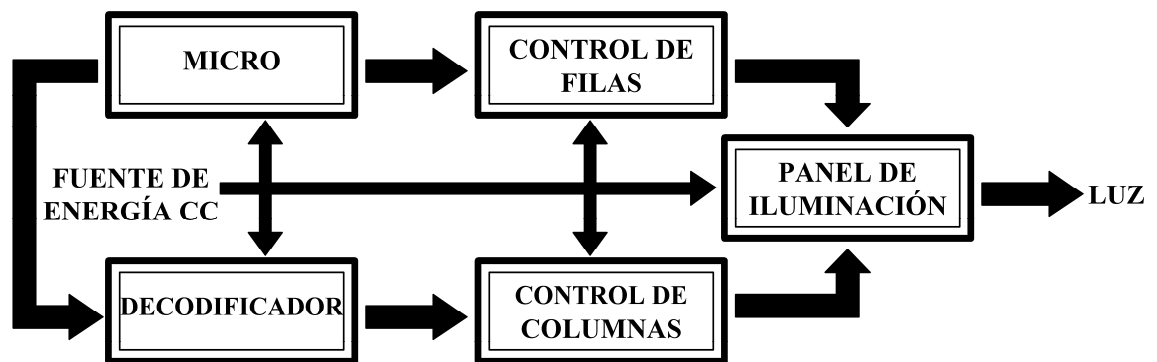


Figura 5.2. Diagrama de bloques del panel de iluminación

El panel de iluminación es un arreglo con conexión tipo matriz (con control por filas y columnas) de elementos de iluminación de estado sólido llamados LED (en inglés *Light Emitting Diodes*, o Diodos Emisores de Luz), en este caso el panel tiene un diámetro de 200mm y 208 LED's y se muestra en el circuito de la figura 5.4. Los LED's son dispositivos semiconductores unidireccionales que cuando se polarizan directamente con un voltaje y una corriente (V_F y I_F) emiten un haz de luz dentro de un espectro muy angosto y con una longitud de onda específica que determina su color, tal y como se muestra en la figura 5.3, donde se pueden apreciar los espectros de luz de algunos LED's típicos, de las lámparas incandescentes y de las lámparas de neón.

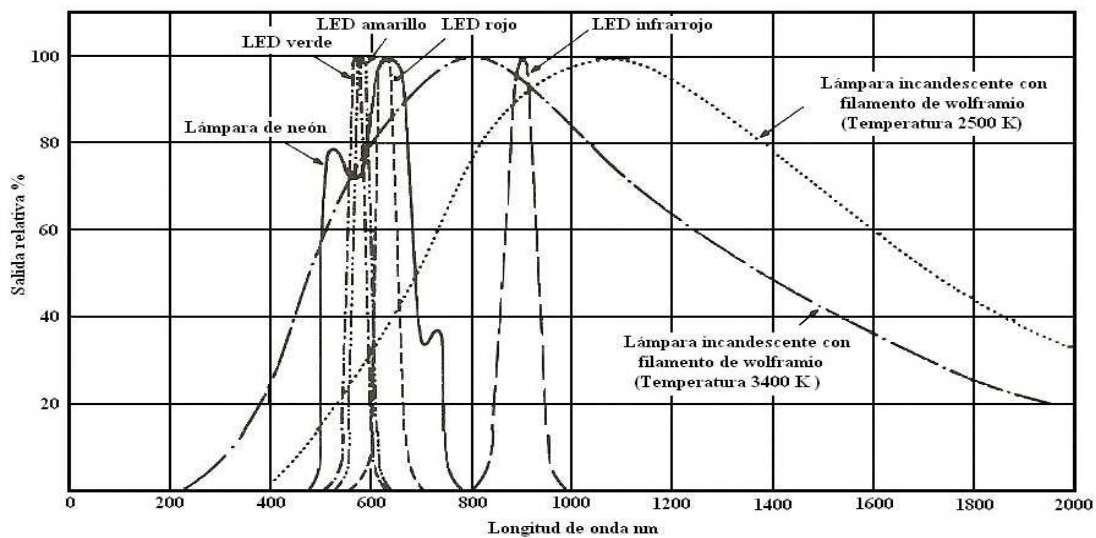


Figura 5.3. Espectros normalizados de varias fuentes luminosas

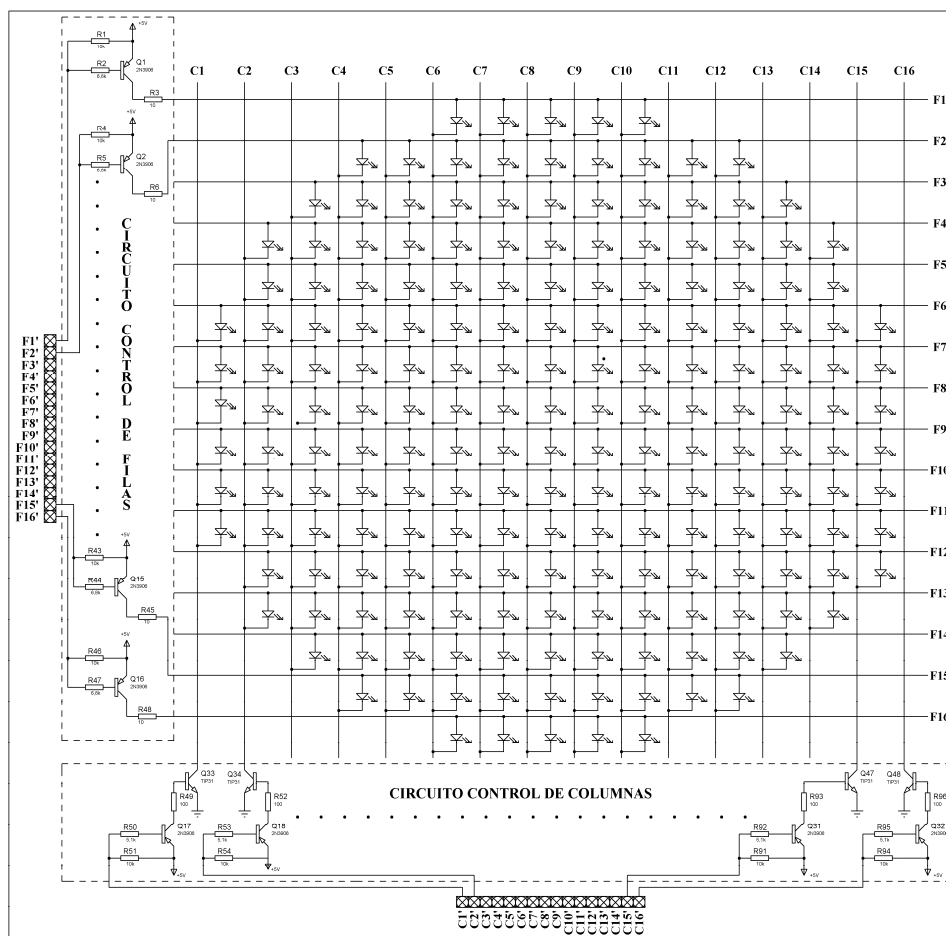


Figura 5.4. Circuito electrónico del panel de iluminación

Debido a ventajas de las lámparas de estado sólido, tales como, su bajo voltaje de operación, corriente y consumo de potencia, estas son compatibles con los circuitos electrónicos de control, de manera que su interfaz resulta más simple que en el caso de las lámparas de tipo incandescente o por descarga eléctrica.

Los encapsulados sellados desarrollados para los LED presentan gran resistencia a los golpes y a las vibraciones mecánicas, lo que permite usarlos en condiciones ambientales donde otras fuentes luminosas fallarían.

La fabricación de los LED con materiales de estado sólido garantiza una operación prolongada, con incremento de la confiabilidad del producto y reducción de los costos de mantenimiento del equipo en donde se instalen. La amplia gama de colores disponibles le proporciona al diseñador diversas posibilidades.

Los LED cuentan con bajos niveles de ruido inherente, así como gran inmunidad a los ruidos generados en el exterior. Finalmente, la respuesta de estos componentes es rápida y estable, sin picos de corriente y sin los períodos usuales de calentamiento, como ocurre en el caso de las lámparas de filamento.

En el panel de iluminación se utilizaron LED's verdes de alta eficiencia con lente cristalina y cuenta con las siguientes características eléctricas, ópticas y mecánicas:

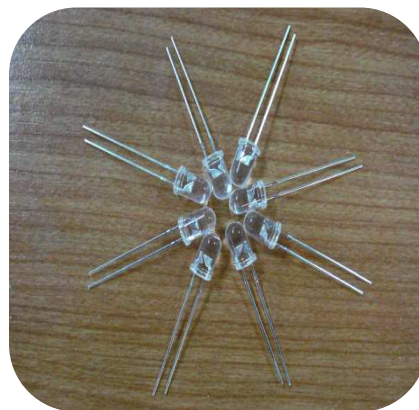


Figura 5.5. LED verde de alta intensidad con lente cristalina

- Muy bajo consumo de potencia. Esto es debido a que la incandescencia emite luz en todo el espectro visible, siendo el difusor (que hace de filtro) quien deja pasar sólo el color requerido y el resto del espectro se transforma en calor, mientras que el diodo LED emite luz monocromática directamente en la longitud de onda del color requerido, por lo que no existe la transformación de luz en calor.
- Mínimo mantenimiento.
- Respeto por el medio ambiente (100% reciclable).
- Unidad óptica a prueba de luz solar (protección contra rayos UV).
- Alto contraste frente a la luz solar.
- Eliminación del efecto “fantasma”, ya que los LED’s son cristalinos cuando se apagan.
- Señalización luminosa uniforme.
- Mayor confiabilidad.
- Mayor seguridad vial.
- Pueden ser fácilmente controlados y programados.
- **Curva característica de la corriente de polarización directa (IF) en función del voltaje de polarización directo (VF):** En la figura 5.6 se representa la corriente de polarización entre 10mA – 100mA de CC contra el voltaje de polarización directo en el LED verde que requiere entre +3VCC a +4VCC para emitir luz. Su rango de disipación de potencia radica entre 30mw a 400mw.

La posición de cada uno de los puntos de inflexión de la curva está directamente relacionada con la banda de energía. En esta figura la resistencia dinámica del LED fluctúa entre 7 y 15Ω , ya que es un material de longitud de onda corta y conforme el voltaje aumenta en la unión *pn* mas electrones y huecos son inyectados a la banda prohibida. Su movimiento ocasiona un efecto secundario que aumenta el número de portadores disponibles para la recombinación y por ello eleva la eficiencia del proceso de emisión.

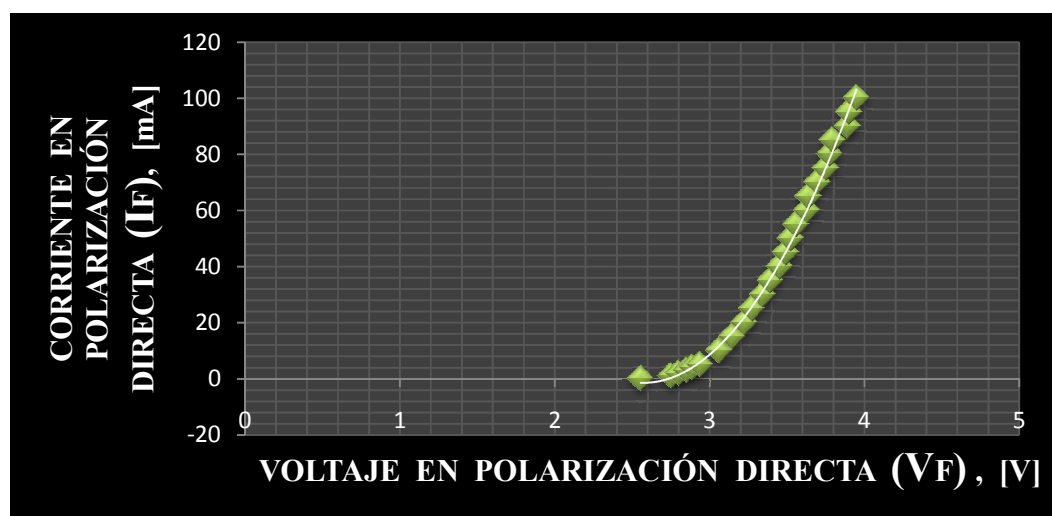


Figura 5.6. Corriente directa en función del voltaje directo para el diodo LED verde de alta intensidad con lente cristalina

- **Color:** El color de la luz que emite un LED, o sea su longitud de onda, está determinado por el material utilizado, entre los diferentes materiales semiconductores adecuados para la fabricación de diodos emisores de luz, los fabricantes han escogido el arseniuro de galio (GaAs), el fosfato de galio (GaP) y los compuestos de GaAsP por las longitudes de onda que generan, su eficiencia de conversión y su facilidad para formar donadores o aceptadores (dopping), en este caso el LED verde de alta intensidad está hecho de un material compuesto de GaPN.

- **Intensidad luminosa:** La figura que se muestra a continuación nos da una percepción de cómo aumenta el flujo luminoso que emite la fuente de luz (LED) en función de la corriente directa (I_F), en donde se tuvo como condición inicial una altura de 38cm de la fuente de luz con respecto al medidor (luxómetro).

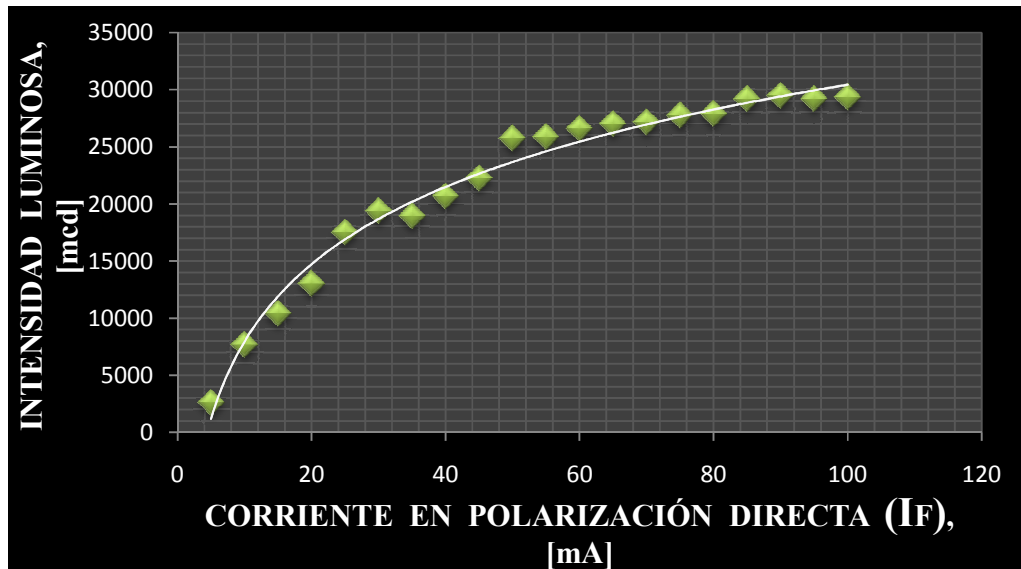


Figura 5.7. Intensidad luminosa en función de la corriente directa para el diodo LED verde de alta intensidad con lente cristalina

- **Ángulo de visión (lentes y patrones de radiación):** Solo una parte de los fotones radiados por el LED emergen de su encapsulado debido a una serie de mecanismos internos de pérdida que influyen en la absorción dentro del propio material semiconductor, así como la reflexión y refracción que ocurre en el lente del encapsulado. La distribución espacial de la luz emergente está en función de las características ópticas del lente.

Los diagramas de los patrones de radiación para tres tipos de lentes como de la figura 5.8 ilustran los efectos de estas características ópticas. El eje vertical con respecto a la superficie del chip del LED se representa como 0° y con una salida relativa del 100%, mientras que para el resto de los ángulos fuera del eje el porcentaje disminuye.

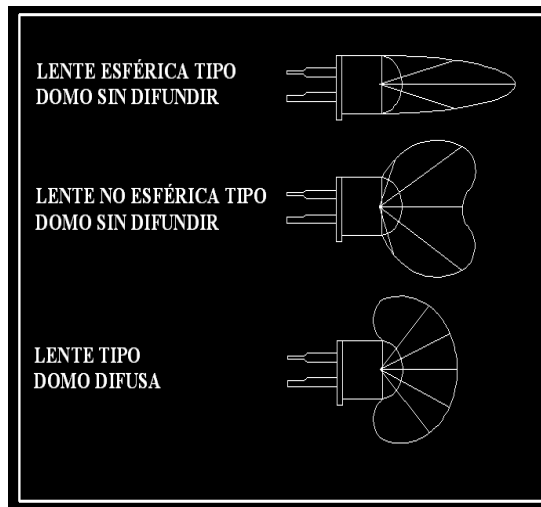


Figura 5.8. Diferentes patrones de radiación

El tipo de LED utilizado es de lente esférica tipo domo sin difundir, la cual se puede ver claramente en la distribución espacial de la intensidad de salida para el LED verde de alta intensidad de la figura 5.9. Como condición inicial se tiene una corriente en el LED de 100mA y una distancia de 1m.

El término “ángulo de visión” define el ángulo fuera del eje para el cual la intensidad de salida ha decaído en más del 50% de su valor a 0° (valor en el eje). De acuerdo con esta figura se ve claramente que el lente con foco angosto le proporciona al dispositivo un ángulo de visión de 35°.

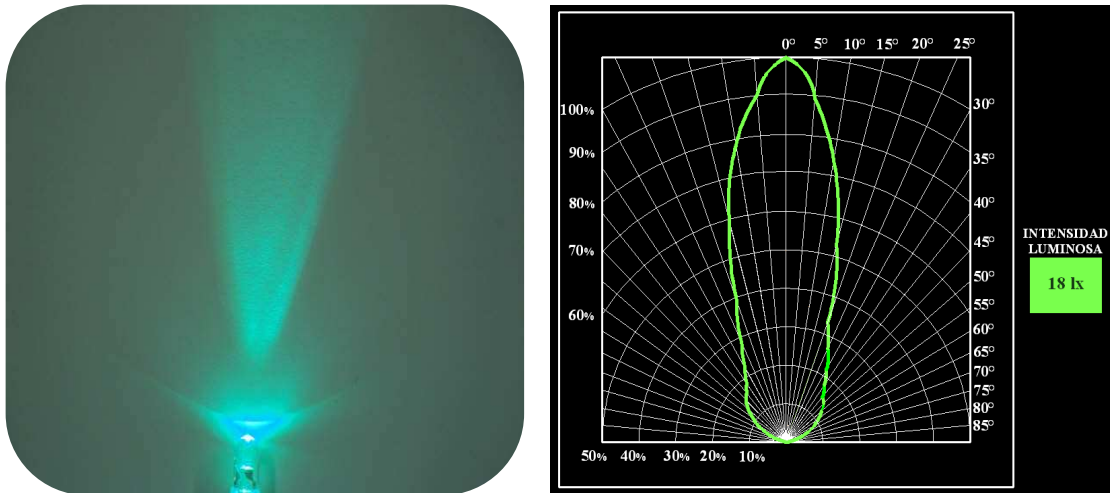


Figura 5.9. Distribución de la radiación luminosa del diodo LED verde de alta intensidad con lente cristalina

- **Efectos de la temperatura:** La caída de voltaje en los terminales de un LED disminuirá conforme aumente la temperatura, debiéndose anticipar un factor de 1,3 a 2,5mV/°C. Así mismo, la longitud de onda pico de emisión se desplazará hacia arriba conforme aumente la temperatura aproximadamente 0,2nm/°C o menos, según el material. De igual forma, los LED tienden a emitir menor cantidad de luz con un aumento de temperatura a razón del 1%/°C.
- **Tiempo de vida:** Debido a que es un dispositivo de estado sólido, puede esperarse que el tiempo de vida de un LED exceda al del equipo en el cual se encuentra instalado. Sin embargo, la difusión extremadamente lenta de las partículas extrañas en el compuesto semiconductor cristalino, así como otra serie de mecanismos aun no comprendidos del todo, ocasionan la disminución de la intensidad luminosa con el paso del tiempo.

El tiempo de vida de un LED se define normalmente como el tiempo en el cual la luz emitida disminuye en un 50% de su valor original. Una lámpara incandescente dura 6.000h mientras que para el LED de alta intensidad el tiempo de vida suele ser en promedio de 100,000 horas (más de 11 años) bajo condiciones normales de

operación. La cantidad de degradación es afectada también por el tipo de corriente de operación, disminuyéndola se reduce la degradación y se prolonga la vida útil.

- **Eficiencia:** La duplicación de la corriente de excitación hace que aumente al doble la intensidad de la luz emitida, lo cual demuestra que la eficiencia de estos diodos emisores de luz mejora con corrientes de polarización mayores, y sugiere que una corriente pulsante dará en promedio mayor intensidad luminosa que una corriente constante. Estos diodos de alta intensidad transforman la energía eléctrica en luz con una eficiencia superior al 95%, ofrecen una intensidad luminosa de 20,000mcd y una profundidad de 20m.

Otras características del diodo LED verde usado son:

- La distribución en plano de la iluminación para diferentes alturas, que se muestra en la siguiente curva, en la cual se tuvo como condición una corriente de 100mA.

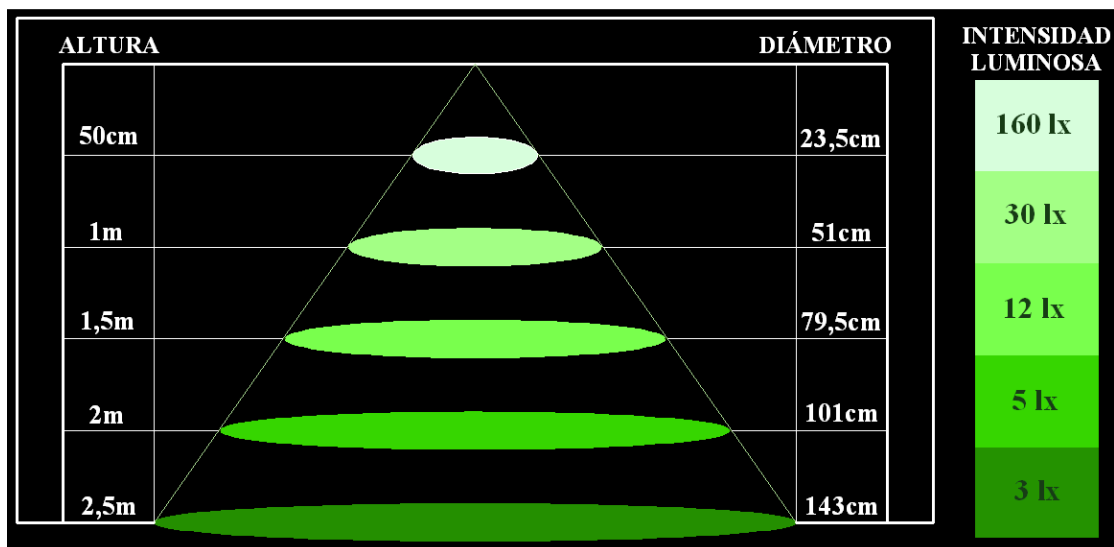


Figura 5.10. Distribución en plano de la iluminación para el diodo LED verde de alta intensidad con lente cristalina

- La curva de distribución del plano equiluminoso, que se muestra a continuación, la cual se obtuvo con una corriente de LED de 100mA y una distancia de 1m [39].

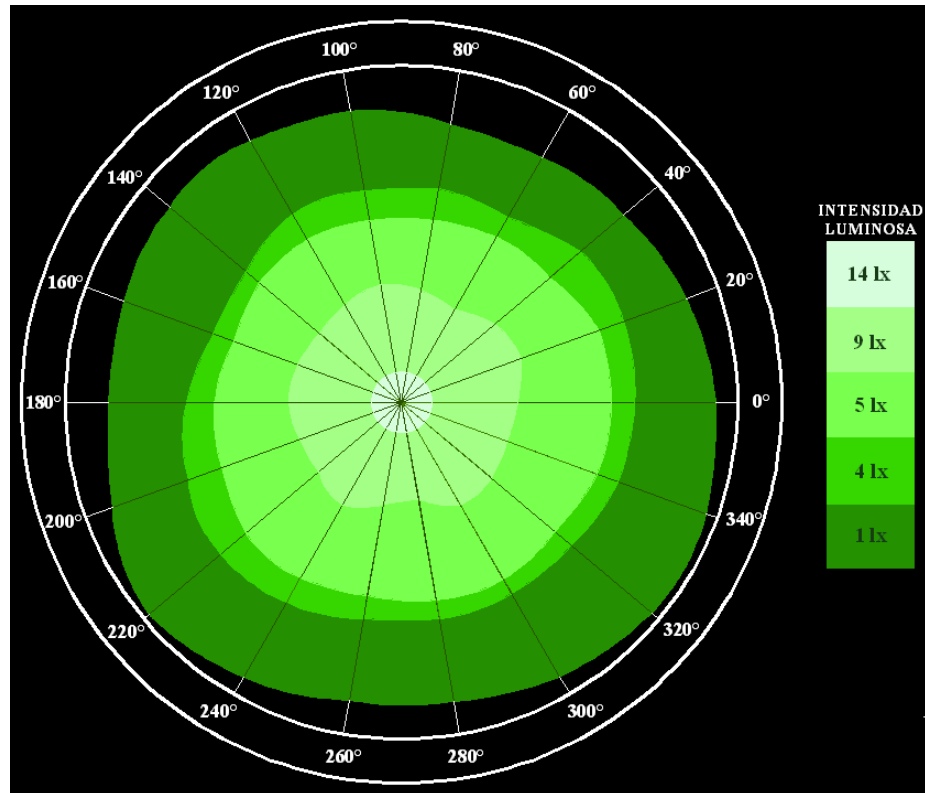


Figura 5.11. Distribución del plano equiluminoso del diodo LED verde de alta intensidad con lente cristalina

El panel de iluminación cuenta con dos modos de funcionamiento con el fin de ampliar las posibilidades de operación y mejorar la seguridad del flujo vehicular y peatonal. En modo de operación vehicular se ilumina completamente como las lámparas tradicionales indicando la acción de avance, mientras que en el modo peatonal se controla el encendido de cada uno de los LED's del panel de manera independiente para visualizar un contador descendente de 9-0 formado por LED's apagados y que se encarga de mostrar el tiempo transcurrido para el paso de los peatones. La siguiente figura ilustra el panel en modo vehicular y en modo peatonal.

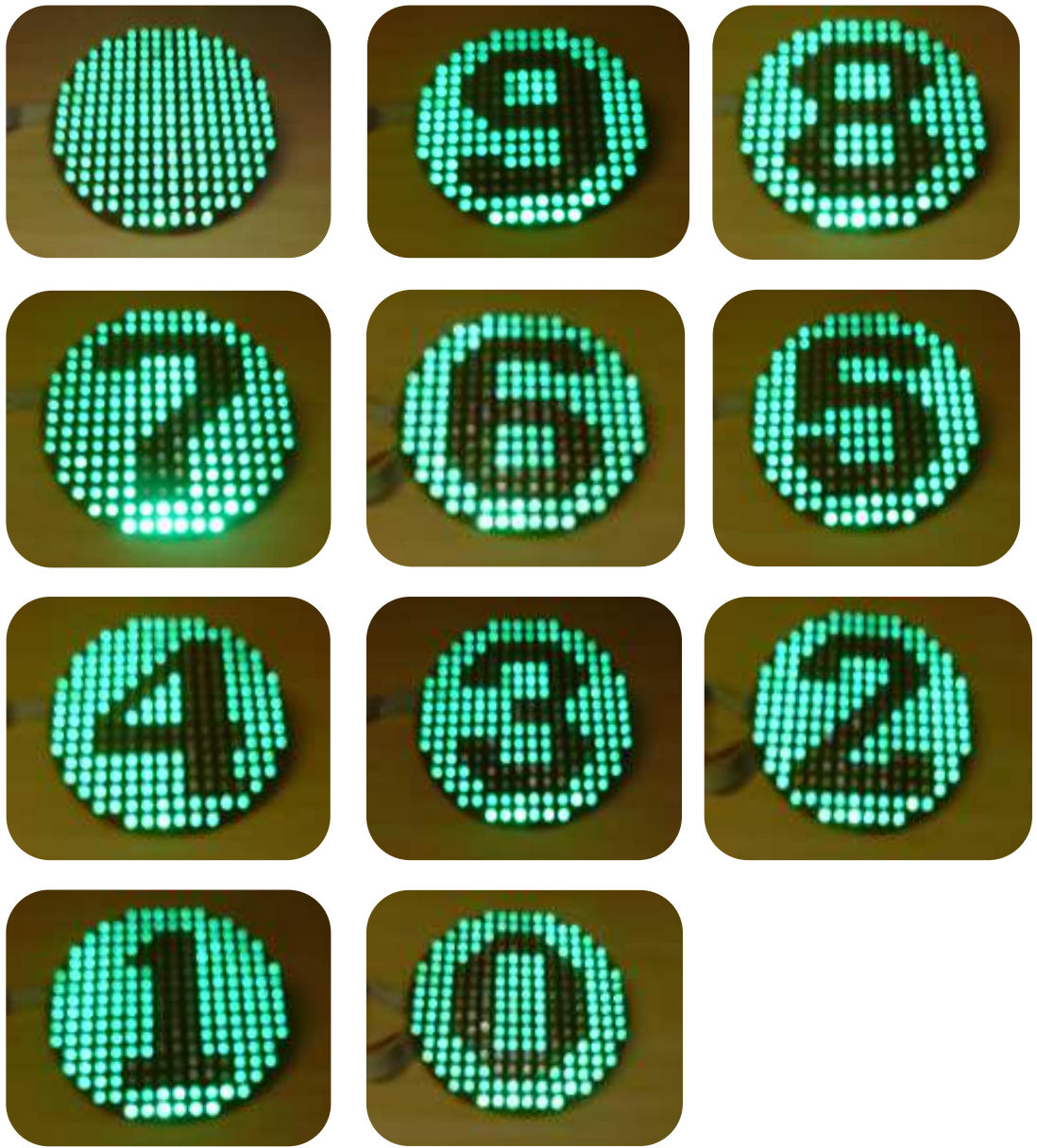


Figura 5.12. Panel de iluminación en modo vehicular y peatonal

5.1 CIRCUITO CONTROL DE FILAS

Este circuito se encarga de amplificar la corriente que entrega el microcontrolador al valor necesario para encender el LED de cada fila. Está conformado por un transistor 2N3906, una resistencia de base (RB), una resistencia de *Pull Up* (RPU), y una resistencia de colector (RC) encargada de limitar la corriente del LED.

Considerando que el transistor que va a manejar la corriente de una columna de 16 LED's debe tener la capacidad de manejar hasta 1A, puede estimarse que la corriente por cada LED es:

$$I_{LED} = I_C(QN) = \frac{1A}{16} = 62,5mA \quad (5.1)$$

Teniendo en cuenta que la corriente máxima que entrega el microcontrolador 16F877A es de 25mA por cada uno de sus puertos, es necesario usar un transistor 2N3906 para amplificar la corriente, que tiene un $\beta = 100$ y una $I_{Cmax} = 200mA$.

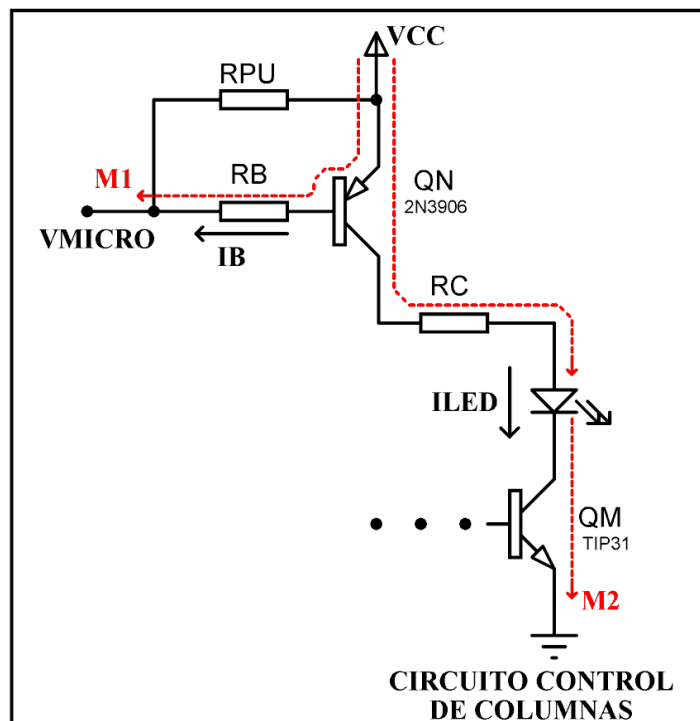


Figura 5.13. Circuito control de filas

De la malla 1 (M1) se tiene:

$$+VCC - VEB(QN) - IBRB - VMICRO = 0 \quad (5.2)$$

Donde $\beta = 100$ e $IC(QN)$ es la de cada LED, por lo tanto:

$$IB = \frac{IC(QN)}{\beta} = \frac{62,5mA}{100} = 625\mu A \quad (5.3)$$

Despejando RB de (5.2) con $VMICRO \approx 0$ y $+VCC = +5VCC$ se tiene lo siguiente:

$$RB = \frac{+5VCC - 0,7V}{625\mu A} = \frac{4,3V}{625\mu A} = 6,8k\Omega$$

De la malla (2) M2 se tiene:

$$+VCC - VEC(QN) - IC(QN)RC - VF - VCE(QM) = 0 \quad (5.4)$$

Despejando RC de (5.4) y teniendo en cuenta que la caída de tensión en el LED verde de alta intensidad es $VF = 3,6V$, se obtiene:

$$RC = \frac{+5VCC - 0,1V - 3,6V - 0,1V}{62,5mA} = \frac{1,2V}{62,5mA} = 19,2\Omega$$

5.2 CIRCUITO CONTROL DE COLUMNAS

El circuito control de columnas se encarga de manejar la corriente máxima de 1A que resulta al encenderse todos los 16 LED's que forman la mayor de las columnas. Se implementa con un transistor TIP 31 que soporta una $IC_{max} = 3A$ y a su vez es controlado por un transistor 2N3906 que amplifica la corriente (IB') absorbida por la salida activa baja

del decodificador 74154, que puede recibir como máximo 10mA; esto es necesario ya que para saturar el TIP 31 se requiere una corriente de base (IB) mayor a la que es capaz de entregar el decodificador.

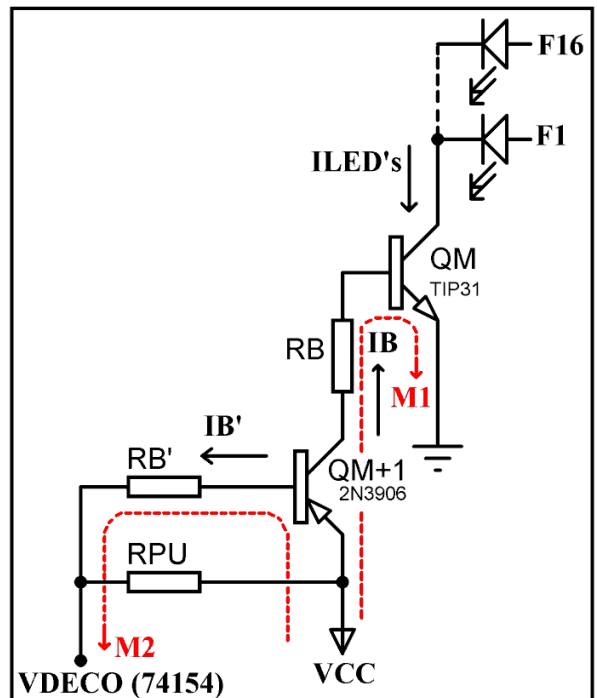


Figura 5.14. Circuito control de columnas

Dada la corriente máxima posible que deberá manejar el transistor QM y teniendo en cuenta que su $\beta = 25$, se tiene:

$$I_{LED's} = I_C(QM) = 1A$$

$$I_B(QM) = I_C(QM + 1) = \frac{I_C(QM)}{\beta} = \frac{1A}{25} = 40mA \quad (5.5)$$

De la malla 1 (M1) resulta:

$$+VCC - V_{EC}(Q_M + 1) - (I_B(Q_M)R_B) - V_{BE}(Q_M) = 0 \quad (5.6)$$

Teniendo en cuenta que $+VCC = +5VCC$ y que el voltaje de saturación del transistor de silicio es $0,1V$, la resistencia de base (R_B) que se obtiene al despejar de (5.6) es:

$$R_B = \frac{+5VCC - 0,1V - 0,7V}{40mA} = 105\Omega$$

De la malla 2 (M2) se tiene:

$$+VCC - V_{EB}(Q_{M+1}) - I_{B'}(Q_{M+1})R_{B'} - V_{DECO} = 0 \quad (5.7)$$

Además con $\beta = 100$ para el transistor Q_{M+1} puede calcularse la corriente de base ($I_{B'}$) como:

$$I_{B'}(Q_{M+1}) = \frac{I_B(Q_M)}{\beta} = \frac{40mA}{100} = 0,4mA \quad (5.8)$$

Despejando $R_{B'}$ de (5.7) y con $+VCC = +5VCC$ se tiene lo siguiente.

$$R_{B'} = \frac{+5VCC - 0,7V}{0,4mA} = \frac{4,3V}{0,4mA} = 10,8k\Omega$$

El diseño del circuito impreso en *TraxMaker* de la matriz de LED's del panel de iluminación puede verse en la siguiente figura.

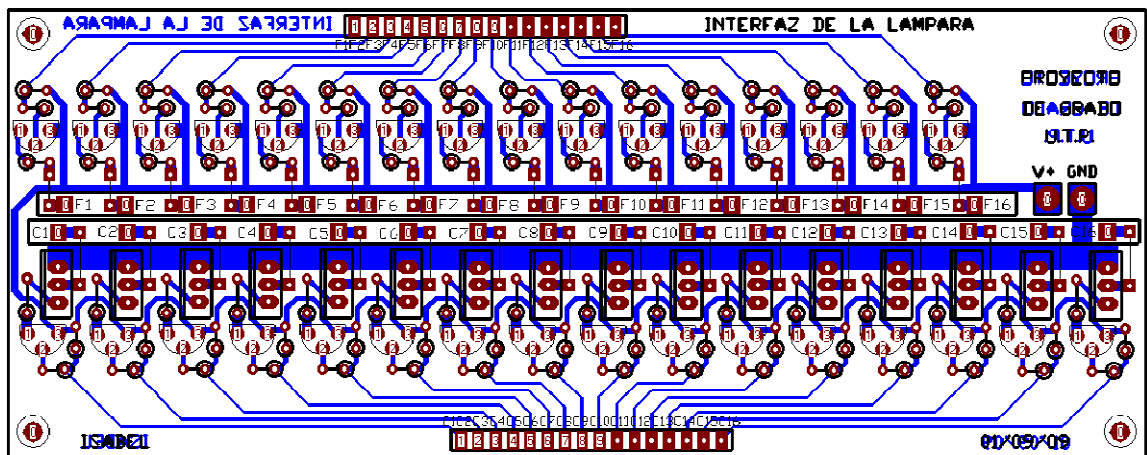
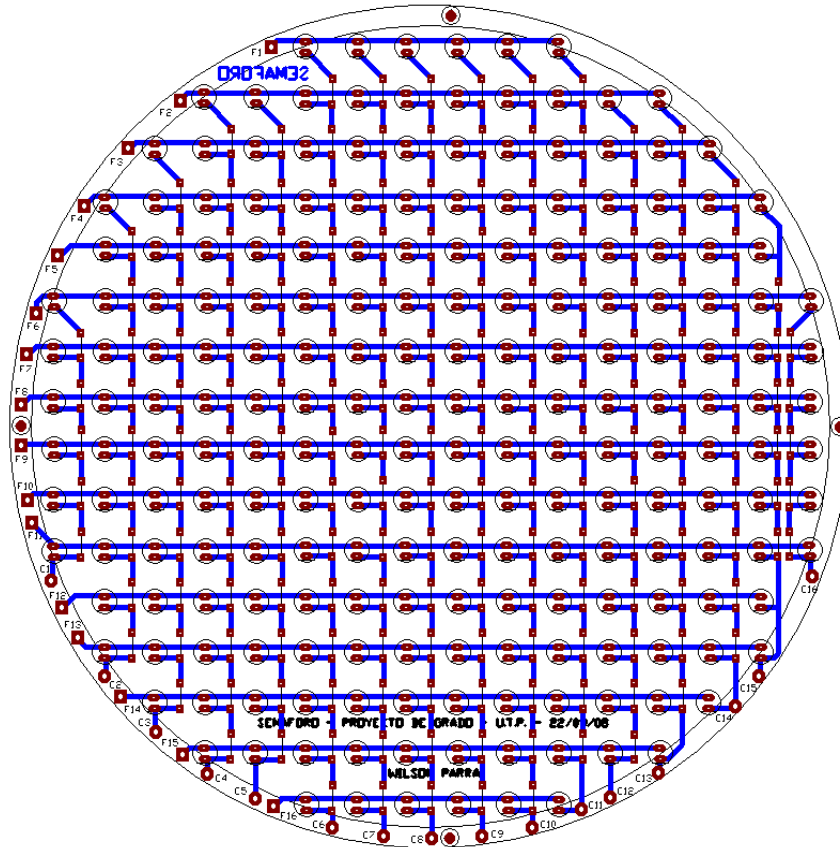


Figura 5.15. Diseño de los circuitos impresos en *TraxMaker* del panel de iluminación y la interfaz de la lámpara

6. SISTEMA DE CONTROL DEL SEMÁFORO

El sistema de control compuesto por *hardware* y *software* atiende la secuencia de encendido programada en el control maestro del autómata a través de la USART y la interfaz de comunicación RS-485, en donde el tiempo de encendido de las lámparas verde vehicular y roja peatonal se modifican simultáneamente en función del conteo del medidor de tráfico vehicular. Adicionalmente maneja el modo de funcionamiento del semáforo que puede ser peatonal ó vehicular, el cual se selecciona dependiendo de la posición del interruptor de modo (M).

En el modo vehicular se activan las lámparas roja, amarilla y verde por medio de los puertos del microcontrolador destinados para tal propósito, para encender la lámpara verde se multiplexan las columnas manteniendo activas las filas usando los circuitos de control de filas y columnas. Finalmente recibe la señal de radio control de emergencia (RCE) y la envía hasta la interfaz de comunicación con el autómata con el propósito de alterar la secuencia de encendido de las lámparas verde y roja.

En el modo peatonal se activan las lámparas roja y verde, durante el tiempo de encendido de la lámpara verde se muestran apagados los números entre 9 y 0 en conteo descendente usando la técnica de la multiplexión y los circuitos de control de filas y columnas. Además en todo momento atiende el pulsador de vibración y sonido (PVS) y la llegada de la señal de radio control de vibración y sonido (RCVS) con el fin de activar las señales de vibración y sonora, que informan sobre el estado del semáforo.

Para ambos modos de funcionamiento se tiene en cuenta el sensor de luz que detecta el brillo solar, se lee por el microcontrolador y se procesa para afectar la frecuencia de multiplexión de la lámpara verde, de forma tal que el barrido aumente en los momentos de mayor brillo solar y disminuya durante la noche.

Con fin de permitir que el semáforo funcione tal como se explico anteriormente, se ha desarrollado un algoritmo programado en lenguaje ensamblador para microcontroladores PIC que consta de un cuerpo principal y unas rutinas encargadas de manejar cada una de las partes del sistema de control y que son:

- Rutina de la lectura de entradas.
- Rutina de comunicación serial usando la USART.
- Rutina de la placa de vibración y la interfaz de sonido.
- Rutina de control de la lámpara verde.

Enseguida se muestra el diagrama de flujo estructurado del cuerpo principal del programa que implementa el algoritmo del sistema de control del semáforo, en el que se hace uso, por medio de llamados e interrupciones, de cada una de las rutinas que hacen parte del sistema.

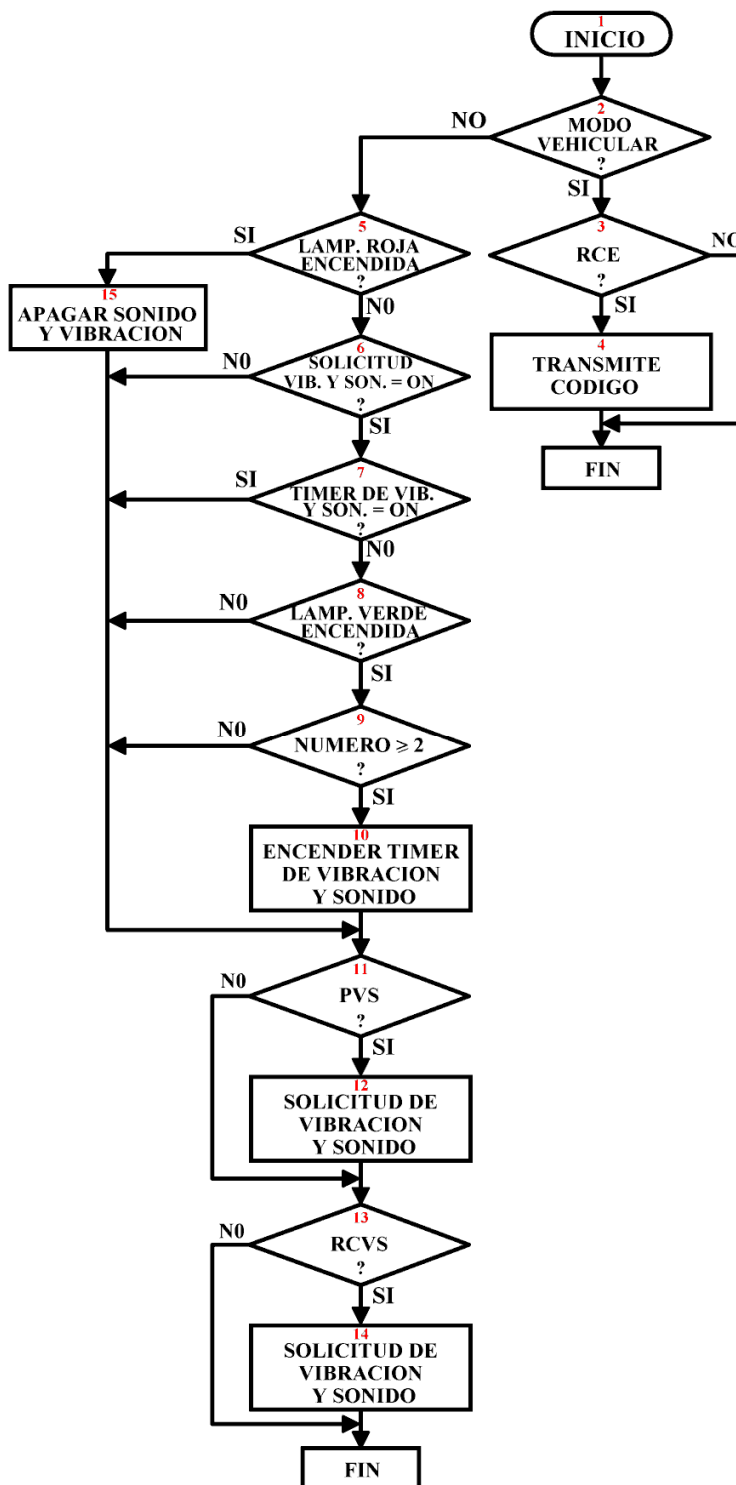


Figura 6. Diagrama de flujo estructurado del cuerpo principal del programa

6.1 ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

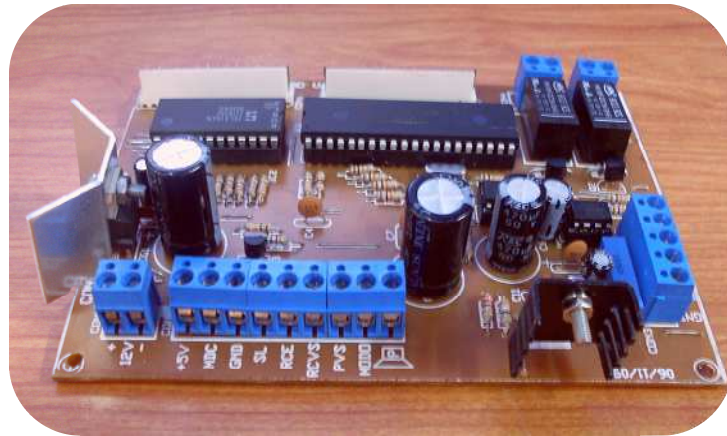


Figura 6.1. Control del semáforo

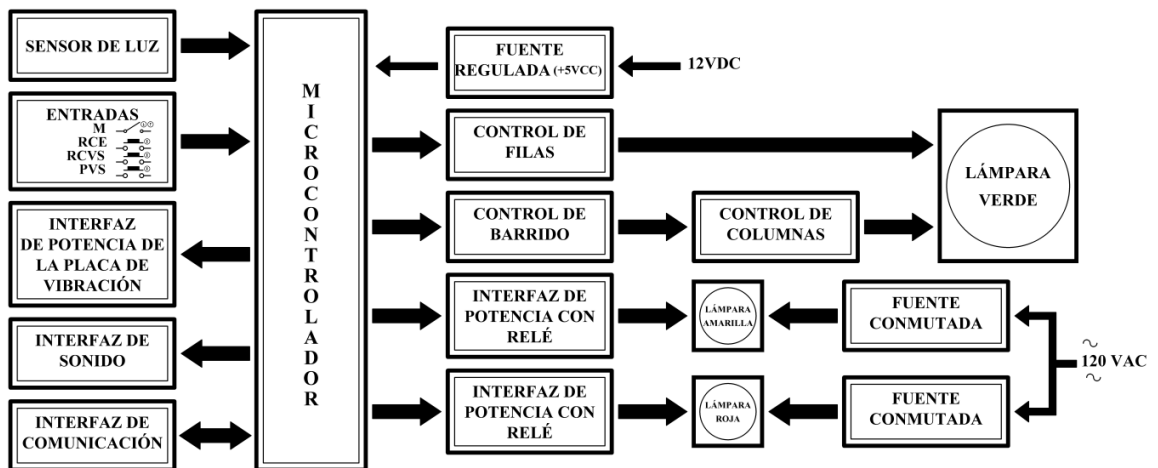


Figura 6.2. Diagrama de bloques del control del semáforo

El circuito de control del semáforo es un sistema que se encarga de manejar las lámparas, el sensor de luz, la placa de vibración, el circuito de audio, de recibir e interpretar las señales de control tanto locales como por radiofrecuencia, provenientes de los peatones y conectarse con el sistema de control maestro regido por el autómata.

Este sistema está a cargo del microcontrolador de la familia PIC de referencia 16F877A y sus principales características son:

- Procesador de arquitectura RISC avanzada.
- Juego de 35 instrucciones con 14 bits de longitud. Todas ellas se ejecutan en un ciclo de instrucción, menos las de salto, que tardan 2.
- Frecuencia de 20Mhz.
- Hasta 8k palabras de 14 bits para la memoria de código, tipo flash.
- Hasta 368 bytes de memoria de datos RAM.
- Hasta 256 bytes de memoria de datos EEPROM.
- Hasta 14 fuentes de interrupción internas y externas.
- Pila con 8 niveles.
- Modos de direccionamiento directo, indirecto y relativo.
- Perro guardián (WDT).
- Código de protección programable.
- Modo *sleep* de bajo consumo.
- Programación serie en circuito por 2 pines.
- Voltaje de alimentación comprendido entre 2 y 5,5VCC.
- Bajo consumo (menos de 2mA a 5VCC y 5Mhz).

Los pines 11 o 32 son VDD, mientras que los pines 12 o 31 son VSS. Entre ellos se conecta la salida de la fuente de alimentación regulada de +5VCC y el condensador C4 que está ubicado entre estos pines sirve como filtro para eliminar los posibles ruidos que puedan inducirse en la trayectoria de alimentación del microcontrolador.

El pin 1 es el reset maestro del microcontrolador llamado MCLR y es una entrada activa baja. Allí se ubica una resistencia de *Pull Up* la cual se conecta a +VCC y cumple con la función de mantener este pin inhabilitado.

Entre los pines 13 y 14 se conecta la red de oscilación conformada por el cristal de 20MHz (XT) y dos condensadores de 15pF (C12 y C13), por medio de este circuito se obtiene la frecuencia de operación del microcontrolador que es determinada por el valor del cristal.

El diagrama de bloques de este sistema se muestra en la figura 6.2, en ella pueden verse cada una de las etapas o subsistemas que lo conforman, y que a continuación se describen:

6.1.1 Sensor de luz ambiental LX1972. Esta interfaz está asociada al pin 2 del microcontrolador que se configura como entrada analógica AN0. El sensor es un dispositivo con respuesta espectral que emula el ojo humano con un pico de 520nm y la sensibilidad al infrarrojo es inferior a $\pm 5\%$ de la respuesta máxima, sobre 900nm. Su función de transferencia es lineal y exacta.

La incidencia de luz es directamente proporcional a la corriente que entrega el sensor y esta puede ser utilizada como tal o convertirse a un voltaje, tal como se implementa en este caso, ya que el canal analógico del microcontrolador solo puede leer y digitalizar voltajes; con este propósito se conecta en serie con el sensor y hacia tierra una resistencia de 100k Ω , como se sugiere en la hoja de datos del fabricante con el objetivo de mantener el margen dinámico de la respuesta del sensor entre la oscuridad y los 5000lux. Ver anexo 6.

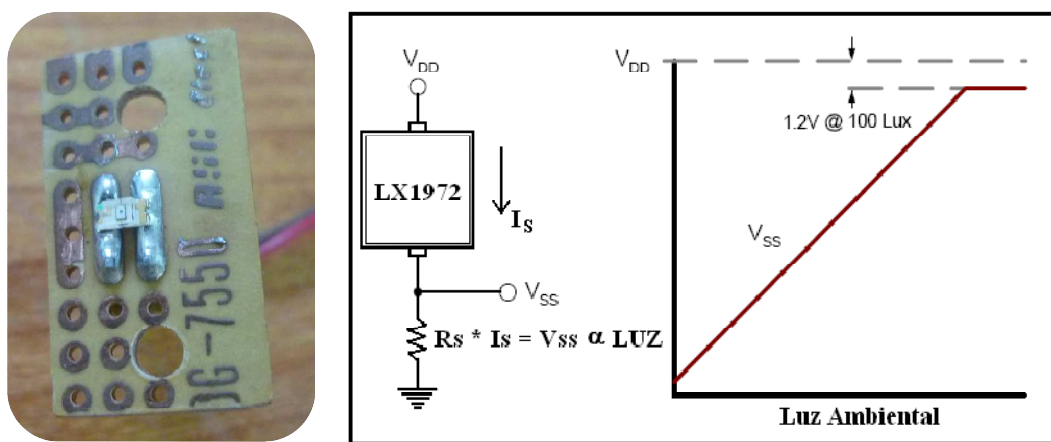


Figura 6.3. Sensor de luz LX1972, interfaz de corriente a voltaje y curva característica

6.1.2 Interruptor y pulsadores de entrada. El interruptor de modo y los pulsadores que son normalmente abiertos se conectan en serie con una resistencia de *Pull Up* (RPU) para que al ser presionados entreguen un nivel activo bajo, la entrada por donde se lee el interruptor que determina el modo de funcionamiento de la lámpara verde (M) es el canal 0 del puerto C del microcontrolador RC0 y está asociado al pin 15.

Los pulsadores de radio control de emergencia (RCE), radio control de vibración y sonido (RCVS), y el pulsador de vibración y sonido (PVS) se reciben por los canales 0, 1 y 2 del puerto E del microcontrolador RE0, RE1 y RE2 que se conectan a través de los pines 8, 9, 10. Su configuración general de estas entradas se muestra a continuación:

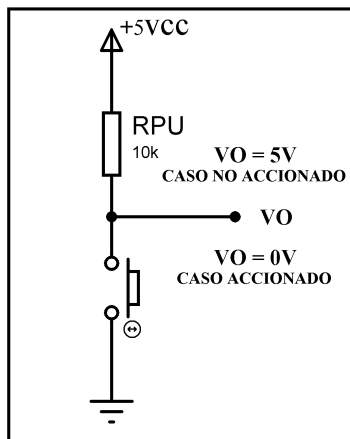


Figura 6.4. Circuito general de entradas

El pulsador para solicitud de vibración y sonido localizado en el poste del semáforo es para intemperie y se muestra en la figura siguiente:



Figura 6.5. Pulsador de vibración y sonido

Las entradas que llegan desde el receptor de radiofrecuencia para las solicitudes de emergencia, vibración y sonido (RCE y RCVS), son contactos normalmente abiertos de los relés del circuito receptor de radiocontrol que se llevan directamente al puerto del microcontrolador configurado para tal propósito.

El sistema de radiofrecuencia se compone de dos dispositivos, un receptor y un transmisor modulados en FSK (*Frequency Shift Keying*) y con alcance de hasta 100m en vista directa. El receptor cuenta con 4 posibles salidas cada una de ellas codificadas independientemente por cada uno de los botones del transmisor y correspondientemente decodificadas en el receptor. De estas sólo dos se usan en este proyecto.

El receptor se alimenta desde 12V AC/DC y el transmisor portátil, que tiene 4 pulsadores para sendas señales de transmisión y funciona con una batería de +12VCC. En la figura siguiente se muestran ambos dispositivos.

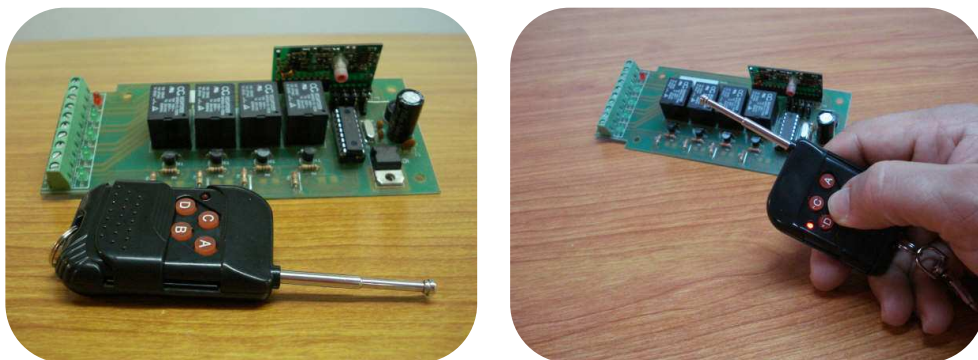


Figura 6.6. Pulsador de radio control de emergencia, vibración y sonido

6.1.3 Interfaz de potencia de la placa de vibración. La placa de vibración cumple con el propósito de avisarle el peatón con limitaciones visuales y auditivas el momento de cruce que está determinado por el encendido de la lámpara verde que dura 40 segundos, de este tiempo el sistema de control del semáforo sólo permite que la vibración se dé durante 28 segundos con intermitencias de 1 segundo (ver figura 6.7), con el objetivo de aumentar el

margen de seguridad permitiendo que durante los 12 segundos restantes el peatón termine de cruzar o inclusive inicie el último transito de la calle.

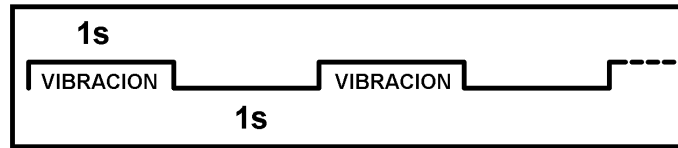


Figura 6.7. Secuencia de encendido y apagado de la placa de vibración

Este sistema se controla a través del canal 1 del puerto C del microcontrolador RC1 y está asociado al pin 16, el cual entrega la corriente necesaria para que la interfaz de potencia que activa el motor la amplifique hasta energizarlo adecuadamente. El diseño de la interfaz de potencia para la placa de vibración se realizó con un transistor NPN 2N3904 operando en corte y saturación.

El diodo de protección D3 cumple con la función de evitar que la corriente fluya en sentido inverso a través del transistor y pueda dañarlo, por medio de este diodo la corriente se disipa en la carga que es el motor y la resistencia en serie que lo acompaña ($R_M = 3,3\Omega / 5W$), los cálculos son los siguientes:

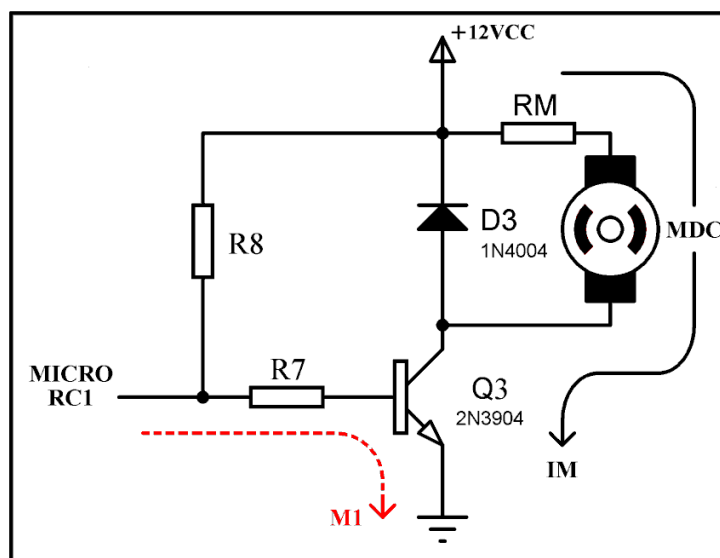


Figura 6.8. Interfaz de potencia de la placa de vibración

De la malla 1 (M1) se tiene:

$$V_{MICRO} - (I_{B7}) - V_{BE} = 0 \quad (6.1)$$

Despejando R7 de (6.1):

$$R7 = \frac{V_{MICRO} - V_{BE}}{\left(\frac{I_C}{\beta}\right)} \quad (6.2)$$

Reemplazando en (6.2), y considerando que el voltaje de salida del microcontrolador es aproximadamente +5VCC, $I_C = I_M = 80\text{mA}$ (corriente máxima del motor) y $\beta = 100$ para el transistor de silicio 2N3904, resulta:

$$R7 = \frac{+5VCC - 0,7V}{\left(\frac{80\text{mA}}{100}\right)} = 5.3\text{k}\Omega$$

6.1.4 Interfaz de sonido. La interfaz de sonido es uno de los modos de comunicación encargado de proporcionar información oportuna al peatón invidente del estado del semáforo, está controlada por el microcontrolador desde el pin 17 (RC2) del puerto C, en el cual, se define el tono característico a una frecuencia establecida de 1,5kHz. El acceso a este sistema se puede realizar a través del mando a distancia por medio de la señal de radio control ó mediante un pulsador, el cual está instalado en el poste del semáforo a una altura promedio de 1,50m respecto al suelo.

La interfaz de sonido opera siempre y cuando exista petición de cruce y además se inicie la temporización de la lámpara verde peatonal, aunque el tiempo de esta lámpara es de 40 segundos el sonido estará durante 28 segundos de manera intermitente, tal como se aprecia en la figura 6.9, y en los 12 segundos restantes no se activará la señal, esto con el fin de proporcionarle seguridad y confiabilidad al peatón invidente informándole que el tiempo para realizar el cruce de la calle se está agotando. Si la solicitud de cruce se hace durante el

funcionamiento de la lámpara amarilla o verde vehicular, la señal de información no se activa, pero dicha solicitud debe ser memorizada, hasta el próximo tiempo de encendido de la lámpara verde peatonal.

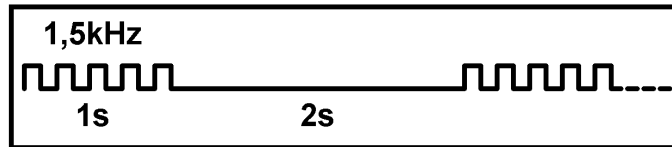


Figura 6.9. Secuencia de encendido y apagado de la interfaz de sonido

La interfaz de sonido se compone de un circuito electrónico implementado con el circuito integrado para amplificación de audio TDA2003 y los elementos electrónicos necesarios para el debido funcionamiento del mismo, además usa un parlante de 4 Ω -3W encargado de la reproducción del sonido.

El TDA2003 es un amplificador de audio de hasta 10W que se adecua perfectamente a las exigencias de la interfaz de sonido del semáforo inteligente. Este integrado se alimenta con +5VCC, posee un potenciómetro P1 que actúa como divisor de voltaje y permite variar la cantidad de señal de entrada y opera como un control de volumen. Los condensadores C5 y C6 deben estar conectados entre la alimentación y tierra del integrado con el objetivo de filtrar las señales de ruido provenientes del rizado de la fuente de alimentación y evitar que sean amplificadas y escuchadas en el parlante, el condensador C7 y la resistencia R9 ayudan a que la frecuencia se mantenga estable. El capacitor C9 conectado al pin 1 del integrado separa cualquier señal continua que pueda aparecer en la entrada, por su parte el condensador C10 sirve para acoplar la señal de salida amplificada con la carga que en este caso es el parlante, y las resistencias de R10 y R11 definen la ganancia del amplificador. Ver anexo 7.

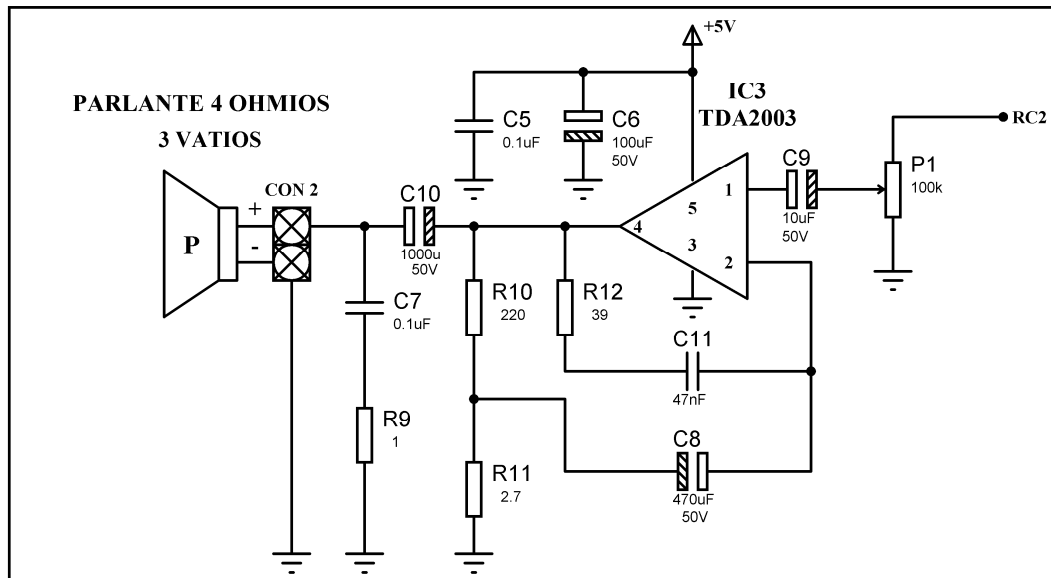


Figura 6.10. Interfaz de sonido

6.1.5 Interfaz de comunicación. Esta etapa convierte los niveles TTL de transmisión y recepción que son generados por la USART del microcontrolador con protocolo RS-232 en niveles diferenciales usados por la comunicación con protocolo RS-485.

6.1.5.1 El protocolo RS-232. Está limitado a conexiones punto a punto entre puertos seriales y dispositivos PC. El *hardware* RS-232 se utiliza para comunicaciones seriales en distancias de hasta 50pies (15,24m). Para comprender mejor este tipo de comunicación a continuación se hace una referencia a su fabricante y sus características más notables.

La **EIA** (*Electronics Industry Association*) elaboro la norma RS-232, la cual define la interfase mecánica, los pines, las señales y los protocolos que debe cumplir la comunicación serial.

Todas las normas RS-232 cumplen con los siguientes niveles de voltaje:

- Un “1” lógico es un voltaje comprendido entre -5VCC y -15VCC en el transmisor y entre -3VCC y -25VCC en el receptor.

- Un “0” lógico es un voltaje comprendido entre +5VCC y +15VCC en el transmisor y entre +3VCC y +25VCC en el receptor.

Para este caso se utilizó la comunicación serial asíncrona, en donde no son necesarios los pulsos de reloj y la duración de cada bit está determinada por la velocidad con la cual se realiza la transferencia de datos.

La siguiente figura muestra la estructura de un carácter que se transmite en forma serial asíncrona.

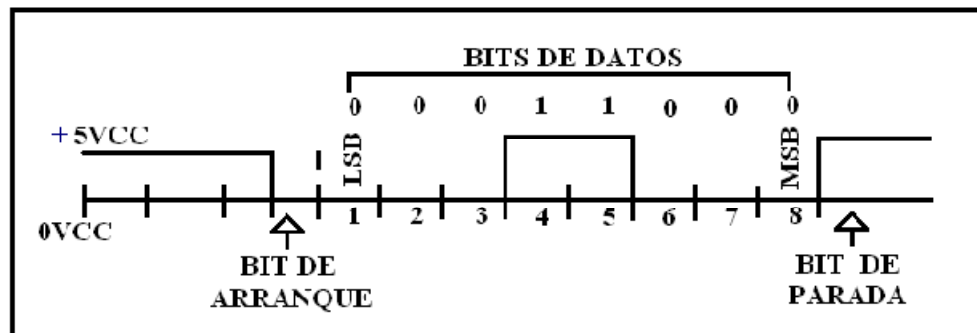


Figura 6.11. Transmisión en forma serial asíncrona con protocolo RS-232

Para iniciar la transmisión de datos, el transmisor coloca esta línea en bajo durante determinado tiempo, lo cual se conoce como bit de arranque (*Start bit*) y a continuación empieza a transmitir con un intervalo de tiempo los bits correspondientes al dato, empezando siempre por el bit menos significativo (LSB) y terminando con el bit más significativo (MSB).

6.1.5.2 El protocolo RS-485 (estándar EIA-485). Está definido como un sistema en bus de transmisión diferencial multipunto, es ideal para transmitir a altas velocidades sobre largas distancias (10Mbps hasta 12m y 100kbps en 1.200m) y a través de canales ruidosos, ya que por sus características y niveles de voltaje tiene un alto grado de inmunidad a los ruidos que aparecen en la línea de transmisión. El medio físico de transmisión es un par

trenzado que admite hasta 32 estaciones en 1 solo hilo con una longitud máxima de 4000pies (1219,2m). La transmisión diferencial permite múltiples drivers dando la posibilidad de una configuración multipunto.

Especificaciones técnicas

- Interfaz diferencial.
- Conexión multipunto.
- Alimentación única de +5VCC.
- Hasta 32 estaciones (ya existen interfaces que permiten conectar 256 estaciones).
- Velocidad máxima de 10Mbps (a 12m).
- Longitud máxima de alcance de 1.200m (a 100kbps).
- Rango de bus de -7VCC a +12VCC.

Esta interfase tiene muchas ventajas con respecto al protocolo RS-232, entre las cuales se mencionan:

- **Bajo costo:** Los circuitos integrados para transmitir y recibir son baratos y solo requieren una fuente de +5VCC para poder generar una diferencia mínima de 1,5VCC entre las salidas diferenciales. En contraste con los usados para el protocolo RS-232 que en algunos casos requiere de fuentes dobles para alimentar algunos circuitos integrados.
- **Capacidad de interconexión:** La RS-485 es una interfase multi-enlace con la capacidad de poder tener múltiples transmisores y receptores. Con una alta impedancia receptora los enlaces con RS-485 pueden llegar a tener a lo máximo hasta 256 nodos.
- **Longitud de enlace:** Los enlace en RS-485 pueden tener hasta 4000pies de longitud, comparado con RS-232 que tiene un límite típico de 50pies.
- **Rapidez:** La razón de bits puede ser tan alta como 10Mbps.

La siguiente figura muestra la estructura de un carácter que se trasmite en forma serial asíncrona.

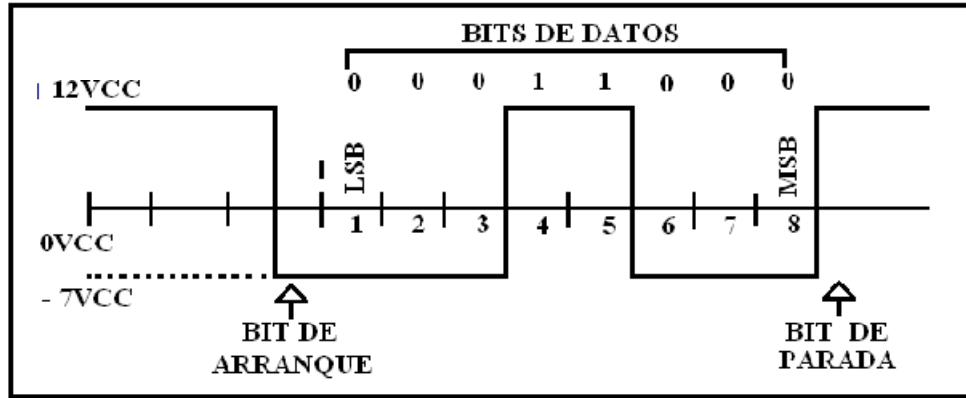


Figura 6.12. Transmisión en forma serial asíncrona con protocolo RS-485

Para este trabajo se utiliza la comunicación RS-485 en modo *Full Duplex* (el término se refiere a que un sistema puede transmitir y recibir información simultáneamente) ya que se requiere de dos canales independientes para poder transmitir y recibir al mismo tiempo la información. La siguiente figura muestra lo anteriormente dicho.

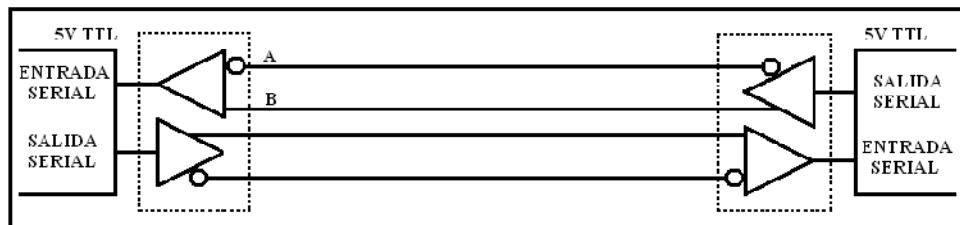


Figura 6.13. Comunicación RS-485 en modo *Full Duplex*

Para lograr la comunicación se elabora una interfase del tipo RS-485 con dos circuitos integrados SN75176 de *Texas Instruments*, uno es para la recepción de datos y otro para la transmisión. Estos dispositivos se encargan de hacer la conversión entre los niveles TTL del microcontrolador y las señales del tipo diferencial que se utilizan en el bus RS-485. A continuación la siguiente figura muestra el circuito que se usa como interfaz de comunicación.

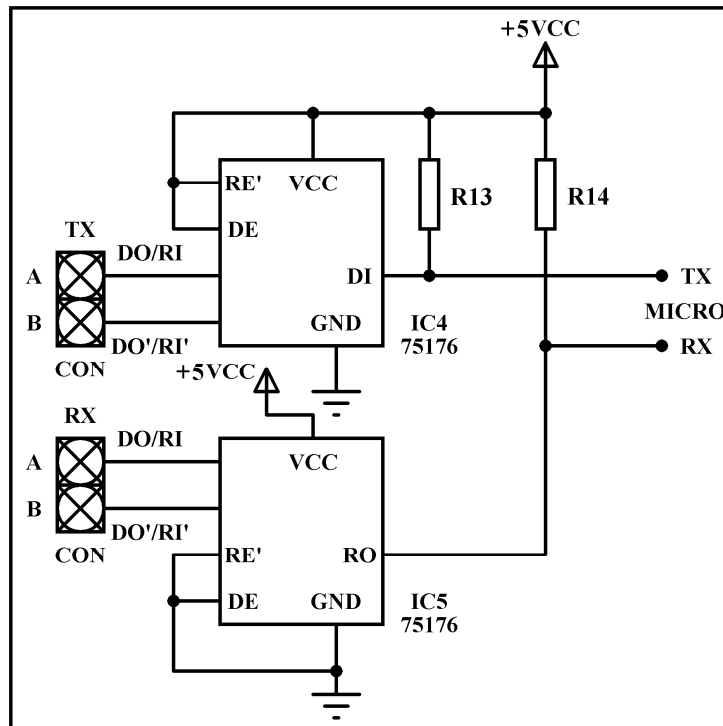


Figura 6.14. Interfaz de comunicación RS-485

En la figura anterior, en las terminales +VCC y GND se encuentra la alimentación del circuito, que en este caso es de +5VCC. Las terminales R0 y DI reciben un nivel lógico TTL si y solo si la línea RE se habilita con un '0' lógico y las terminales D0 y D0' (reciben también el nombre de A y B) forman el bus de transmisión y recepción.

6.1.6 Interfaz de potencia con relé. Las interfaces de potencia que activan los relés que manejan las lámparas amarilla y roja se desarrollan con el transistor NPN 2N3904 que opera en corte y saturación. Las lámparas requieren una alimentación de 24VDC y los relés son de 5VDC con una bobina de 125,9Ω.

Cada interfaz tiene el propósito de amplificar la corriente que entrega el microcontrolador para energizar la bobina adecuadamente, los pines por los cuales se controlan dichas interfaces, respectivamente son el pin 23 y 24 (RC4 y RC5), los cuales pertenecen al puerto C, a continuación se muestra el diseño de este:

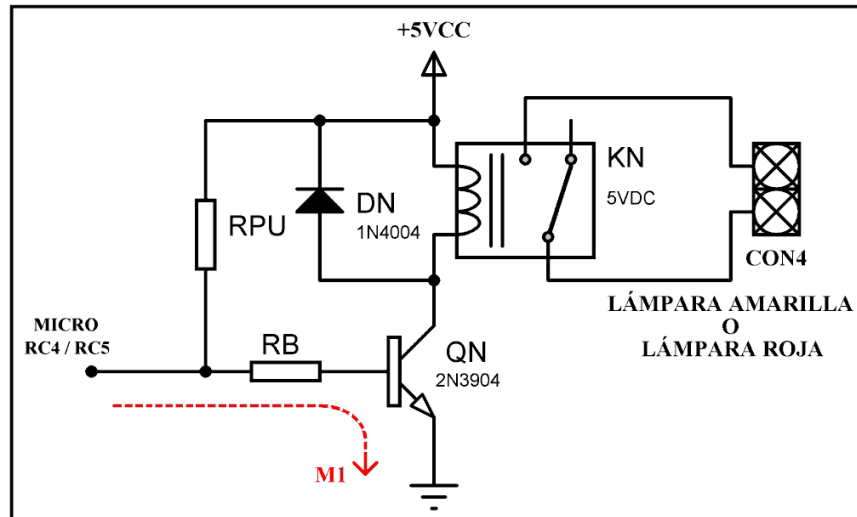


Figura 6.15. Interfaz de potencia con relé

De la ecuación (6.3) se obtiene I_C , con $V_{CC} = +5V_{CC}$ y $R_L = 125,9\Omega$

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_L} \quad (6.3)$$

$$I_C = \frac{+5V_{CC}}{125,9\Omega} = 39,71\text{mA}$$

De la malla 1 (M1) se tiene:

$$V_{MICRO} - I_{BRB} - V_{BE} = 0 \quad (6.4)$$

Despejando R_B de (6.4), donde $V_{MICRO} = +5V_{CC}$ y $\beta = 100$, se tiene lo siguiente:

$$I_B = \frac{39,71\text{mA}}{100} = 0,4\text{mA}$$

$$R_B = R_{23} = R_{21} = \frac{+5V_{CC} - 0,7V}{0,4mA} = 10,75k\Omega$$

Las lámparas amarilla y roja cuentan individualmente con una fuente conmutada que cumple con el objetivo de energizarlas a 24VDC a partir de la red de 120VAC.

6.1.7 Control de barrido. El circuito de control de barrido de la lámpara verde está asociado a los puertos del microcontrolador RA1, RA2, RA3 y RA4 propios a los pines 3, 4, 5 y 6, en donde se generan las entradas correspondientes con el código binario (A, B, C y D) del circuito integrado DM74154, que es un decodificador/demultiplexor que decodifica y multiplexa dieciséis líneas de salida. Cada línea de salida se activa en “0” lógico para una sola de las combinaciones o códigos de entrada, mientras todas las otras salidas permanecen en “1” lógico, de esta manera se controlan las columnas de la lámpara activándolas una a la vez por medio del circuito de control de columnas.

En las entradas del decodificador (A, B, C y D) hay un contador binario de 0 a 15, y para controlarlo se utilizan los pines 18 y 19 (G1 y G2) que son los habilitadores y son activos bajos. Como señal de control se habilita el pin 7 que es un bit del puerto A (RA5) desde el microcontrolador y se unen las entradas G1 y G2.

Todas las entradas del microcontrolador se conectan a +VCC por medio de resistencias de *Pull Up*, principalmente porque se debe garantizar el estado lógico “1” del puerto RA4 que es del tipo drenador abierto.

Entre los terminales de +VCC y GND que corresponden a los pines 24 y 12 se ubica el condensador C14 que sirve como filtro para eliminar los posibles ruidos que puedan inducirse en la trayectoria de alimentación del decodificador.

Los puertos B y D del microcontrolador manejan cada una de las dieciséis líneas de entrada del circuito de control de filas, en donde las filas que van del 0 al 7 se asignan al puerto B y las filas del 8 al 15 se conectan por el puerto D, el cual se explica detalladamente en el capítulo 5.

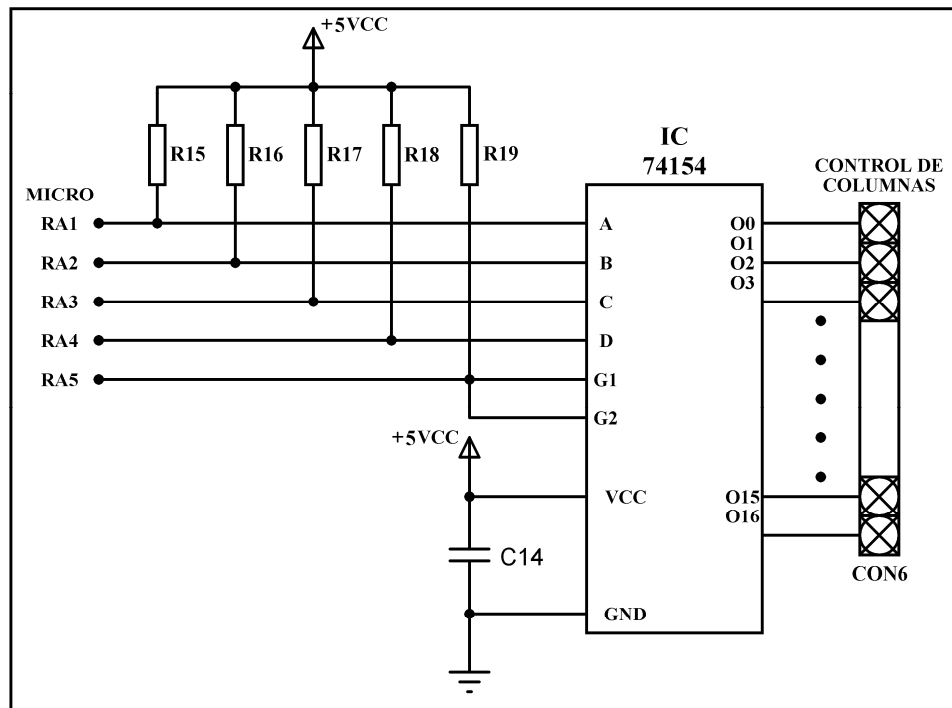


Figura 6.16. Circuito de control de barrido

En la figura 6.17 se muestra el circuito impreso del control del semáforo diseñado en *TraxMaker*.

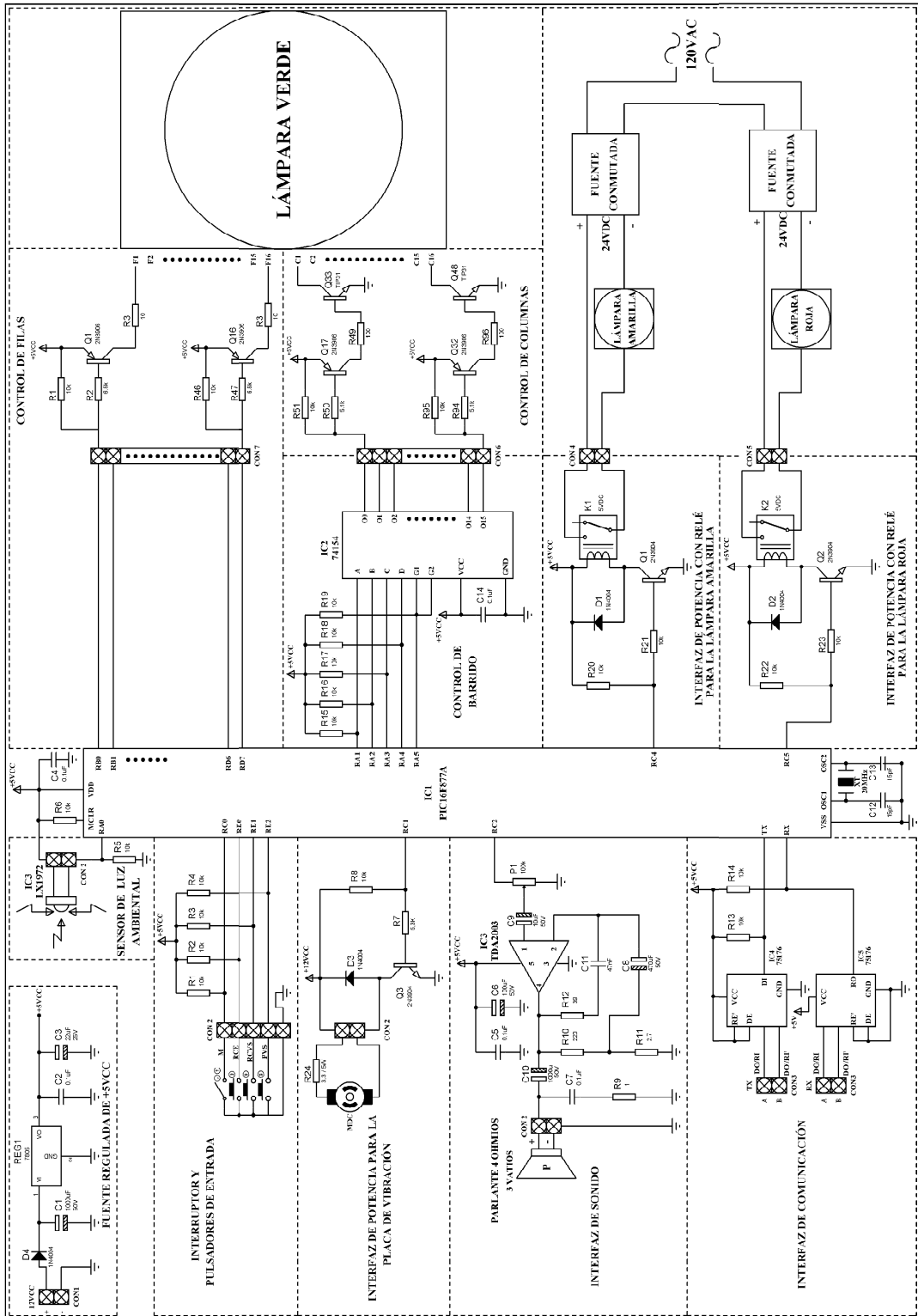


Figura 6.17. Circuito electrónico del control del semáforo

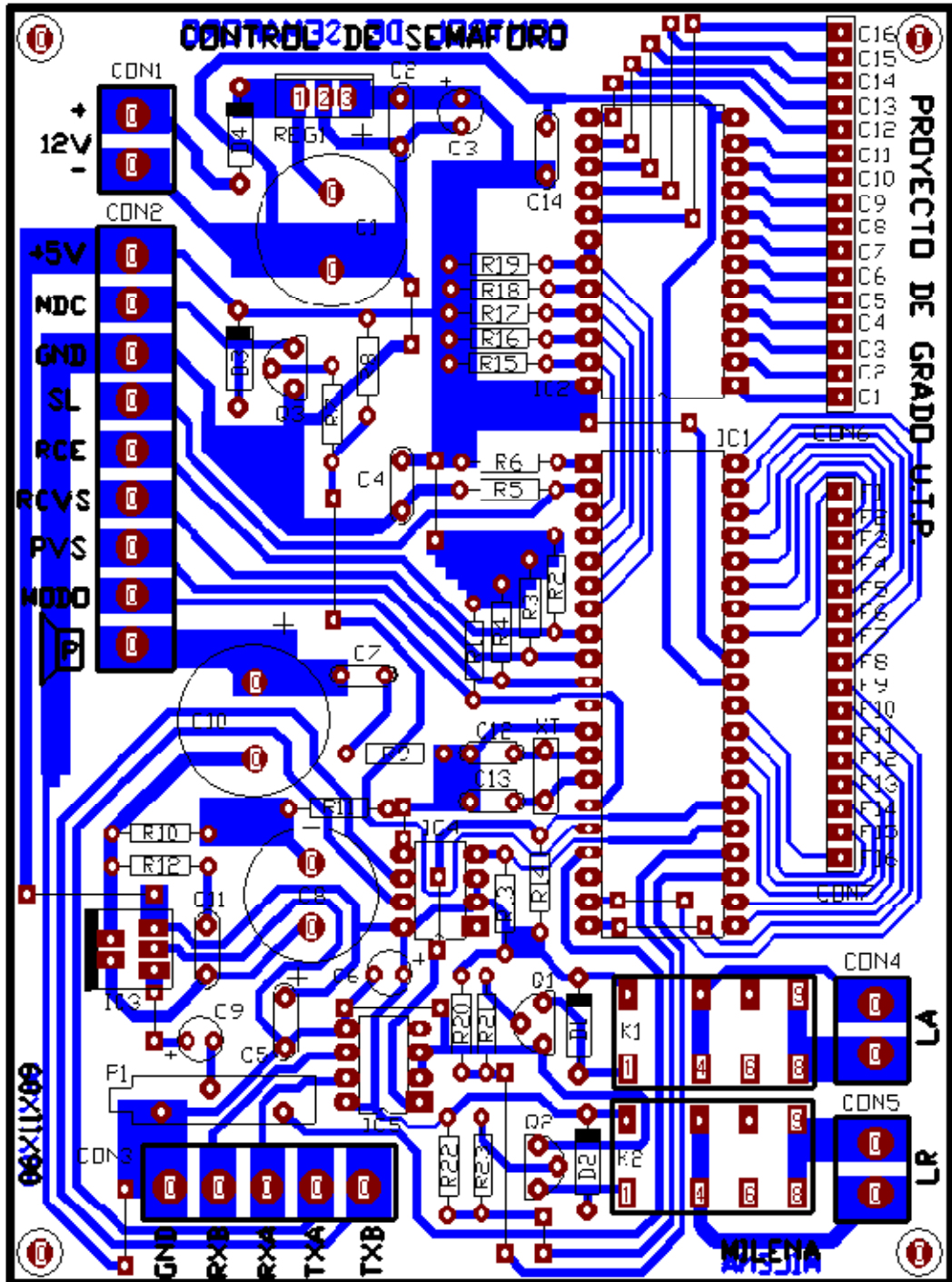


Figura 6.18. Diseño del circuito impreso en *TraxMaker* del control del semáforo

6.2 RUTINA DE LECTURA DE ENTRADAS

Esta rutina se encarga de leer permanentemente las entradas de control del semáforo que son: el interruptor de modo (M), los pulsadores de radio control de emergencia (RCE), radio control de vibración y sonido (RCVS) y el de vibración y sonido (PVS).

El interruptor M es el que le indica al circuito de control del semáforo el funcionamiento de la lámpara verde, si el estado de M es 1 lógico, la lámpara debe operar en modo peatonal y si es 0 lógico debe operar en modo vehicular. Los pulsadores RCE, RCVS y PVS, al ser presionados se detectan en 0 lógico y se cargan con 1 lógico las posiciones correspondientes del *buffer* de entrada (BFE), que son los bits 3, 2 y 1, respectivamente.

La siguiente ilustración muestra el *buffer* de entrada y las posiciones asociadas con el interruptor y los pulsadores de entrada, donde cualesquiera de las banderas B1 a B3 puestas en 1 lógico representan el estado del pulsador presionado.

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
X	X	X	X	RCE	RCVS	PVS	M

A continuación se describe el funcionamiento de cada uno de los bloques que conforman el diagrama de flujo que resuelve el problema anterior, y que se muestra en la figura 6.19.

El cuerpo principal de este programa continuamente pregunta por el estado del interruptor de modo para poner o quitar, según sea su condición, la bandera correspondiente (B0) del BFE, y además, dependiendo de este llama a la rutina que lee el ó los pulsadores que correspondan con cada modo.

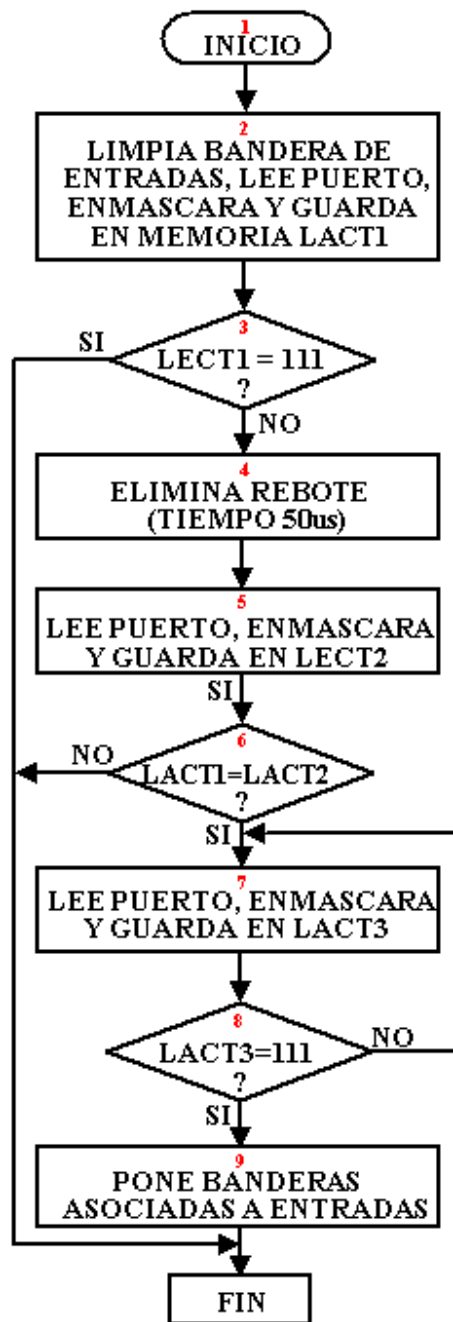


Figura 6.19. Diagrama de flujo de la rutina de lectura de entradas

Bloque 1: Aquí se realiza la definición del PIC, del sistema numérico, de sus etiquetas y constantes; se define la palabra de configuración del microcontrolador; los registros,

constantes y etiquetas del usuario; las asignaciones; se hace la definición del origen para el ensamblaje del programa (vector de reset) y la configuración de los puertos digitales de entrada y salida.

Bloque 2: En este bloque primero se limpia el *buffer* de entradas (BFE) para asegurar que no se encuentra presionado ningún pulsador, posteriormente al detectar que algunos de los pulsadores de entrada se activan, se lee el dato del puerto E del microcontrolador y se guarda en W para efectuar una máscara por medio de la operación lógica AND, entre W y una constante K, con el fin de capturar el dato que interesa y luego guardarlo en el registro definido como lectura actual 1 (LACT1).

Bloque 3: Se realiza una comparación entre el registro LACT1 y la constante binaria 00000111 para saber si los pulsadores fueron activados, si estos son iguales a la constante es porque ninguno ha sido presionado y se retorna a la rutina de la cual fue llamado, de lo contrario se ejecuta el siguiente bloque.

Bloque 4: Después de presionar el pulsador se entra a la etapa de eliminación del rebote que se produce al soltar dicho pulsador, esta se ejecuta haciendo un llamado a la “rutina de retardo” que por medio de contadores anidados genera un tiempo de espera de 50 μ s.

Bloque 5: Se lee nuevamente el puerto E, se copia el dato y se guarda en W con el fin de efectuar una máscara por medio de la instrucción ANDLW, para así obtener el dato esperado y posteriormente guardarlo en el registro definido como lectura actual 2 (LACT2).

Bloque 6: Se realiza una comparación entre el registro LACT1 y LACT2 para saber si sigue activo alguno de los pulsadores, si estos dos registros no son iguales retorna a la rutina de la cual fue llamado, de lo contrario se va a ejecutar el siguiente bloque.

Bloque 7: En esta fase se lee nuevamente el puerto E se copia el dato y se guarda en W con el fin de efectuar una máscara por medio de la instrucción ANDLW, para así obtener el

dato esperado y posteriormente guardarlo en el registro definido como lectura actual 3 (LACT3).

Bloque 8: Se realiza una comparación entre el registro LACT3 y la constante binaria 00000111 para saber si finalmente uno o varios de los pulsadores de entrada fueron presionados, si estos son iguales a la contante se ejecuta el bloque siguiente, de lo contrario se vuelve a leer el estado de las entradas en el bloque 7.

Bloque 9: En esta etapa se consideran validados los estados de las entradas almacenadas en el registro que guardo la primera lectura actual (LACT1), por lo tanto se procede a evaluarlos y según sean sus estados (1= inactivo ó 0 = activo) se quitan o se ponen la ó las banderas correspondientes del BFE para indicar la condición de los pulsadores de entrada, por último retorna, terminando así la subrutina.

```

;*****
;
; NOMBRE DEL PROGRAMA: RUTINA DE ENTRADAS.ASM
; AUTOR: MILENA RAMIREZ, ISABEL QUEJADA Y WILSON PARRA
; FECHA: SEP-24-2009
; VERSION: 1.0
;*****
;
; NOTAS SOBRE EL PROGRAMA
;*****
;
; LECTURA DE ENTRADAS (SUICHES Y PULSADORES)
;*****
;
; DEFINICION DEL PIC, DEL SISTEMA NUMERICO, DE SUS ETIQUETAS Y DE SUS CONSTANTES
;*****
;
; #INCLUDE <P16F877A.INC>
; ERRORLEVEL -302,-306,-301
;*****
;
; DEFINICION DE LA PALABRA DE CONFIGURACION
;*****
;
; _CONFIG 0X0D02
;*****
;
; DEFINICION DE REGISTROS, CONSTANTES Y ETIQUETAS DEL USUARIO Y ASIGNACIONES
;*****
;
; CBLOCK 0X30
; BFE ;BUFFER DE ENTRADA
; CICLO1 ;PRIMER REGISTRO DE RETARDO
; CICLO2 ;SEGUNDO REGISTRO DE RETARDO
; LACT1 ;LECTURA ACTUAL 1
; LACT2 ;LECTURA ACTUAL 2
; LACT3 ;LECTURA ACTUAL 3
; ENDC
; #DEFINE M BFE,0 ;ENTRADA DEL BUFFER DEL SUICHE DE MODO
; #DEFINE PVS BFE,1 ;ENTRADA DEL BUFFER DEL PULSADOR DE VIBRACION Y SONIDO

```

```

#DEFINE RCVS BFE,2 ;ENTRADA DEL BUFFER DE RADIO CONTROL DE VIBRACION
;Y SONIDO
#DEFINE RCE BFE,3 ;ENTRADA DEL BUFFER DE RADIO CONTROL DE EMERGENCIA
#DEFINE SM PORTC,0 ;SUICHE DE MODO
#DEFINE SPVS PORTE,2 ;PULSADOR DE VIBRACION Y SONIDO
#DEFINE SRCVS PORTE,1 ;PULSADOR DE RADIO CONTROL DE VIBRACION Y SONIDO
#DEFINE SRCE PORTE,0 ;PULSADOR DE RADIO CONTROL DE EMERGENCIA
;*****
; DEFINICION DEL ORIGEN PARA EL ENSAMBLAJE DEL PROGRAMA (VECTOR DE RESET)
;*****
ORG 0X0
GOTO INICIO
;*****
; SUBROUTINA DE RETARDO: PARA UN TIEMPO DE REBOTE DE 50ms
;*****
TIEMPOR
MOVLW .245 ;SE CARGA EL SEGUNDO REGISTRO DE RETARDO
MOVWF CICLO2
CICLOK
MOVLW .255 ;SE CARGA EL PRIMER REGISTRO DE RETARDO
MOVWF CICLO1
CICLOT
NOP
DECFSZ CICLO1,F ;PRIMER CICLO DE ANIDAMIENTO
GOTO CICLOT
DECFSZ CICLO2,F ;SEGUNDO CICLO DE ANIDAMIENTO
GOTO CICLOK
RETURN
;*****
; SUBROUTINA PARA EXPLORAR ENTRADAS: PREGUNTA CONTINUAMENTE POR LOS
; PULSADORES DE ENTRADA Y SI ALGUNO SE HA PUESTO EN CERO LO CARGA EN EL BUFFER
; DE ENTRADAS (BFE)
;*****
LEER
MOVF PORTE,W ;LEE EL ESTADO DEL PUERTO E, LO ENMASCARA Y LO GUARDA EN
ANDLW B'00000111' ;EL REGISTRO DE LECTURA ACTUAL 1
MOVWF LACT1
XORLW B'00000111'
BTFSC STATUS,Z
RETURN
CALL TIEMPOR
MOVF PORTE,W ;LEE EL ESTADO DEL PUERTO E, LO ENMASCARA, LO GUARADA EN
ANDLW B'00000111' ;EL REGISTRO LECTURA ACTUAL 2 PARA ENSEGUIDA COMPARARLO
MOVWF LACT2 ;CON EL DATO PREVIAMENTE GUARDADO EN EL REGISTRO DE
XORWF LACT1,W ;LECTURA ACTUAL 1
BTFSS STATUS,Z
RETURN
?1
MOVF PORTE,W ;LEE UNA VEZ MAS EL PUERTO E PARA DETECTAR UN CAMBIO Y
ANDLW B'00000111' ;ESTO SE HACE A TRAVES DEL REGISTRO DE LECTURA ACTUAL 3
MOVWF LACT3
XORLW B'00000111'
BTFSS STATUS,Z
GOTO ?1
BTFSS LACT1,0 ; SI NO HA HABIDO ALGUN CAMBIO ENTONCES SE EVALUA EL
BSF PVS ;ESTADO DE LOS BITS DEL REGISTRO DE LECTURA ACTUAL 1 Y SE
BTFSS LACT1,1 ;GUARDA EL ESTADO CORRESPONDIENTE EN EL BFE
BSF RCVS
BTFSS LACT1,2
BSF RCE

```

```

RETURN
;*****
; INICIO DEL PROGRAMA PRINCIPAL
;*****
; CONFIGURACION DE LOS PUERTOS DIGITALES DE ENTRADA Y SALIDA
;-----
INICIO
    BANKSEL    TRISB
    MOVLW     B'00000001' ;SE CONFIGURA LA ENTRADA DE M
    MOVWF     TRISC
    MOVLW     B'00000111' ;SE CONFIGURAN LAS ENTRADAS DE PVS, RCVS Y RCE
    MOVWF     TRISE
;-----
; LEER PULSADORES Y SUICHES (RCE, RCVS, PVS Y M)
;-----
    BANKSEL    PORTB
MODO
    CLRFBFE
    BTFSS    SM ; PREGUNTA SI M ES IGUAL A 1
    GOTO     M_IGUAL_0
    BSF     M
    CALL    LEER
    GOTO     MODO
M_IGUAL_0
    BCF     M
    CALL    LEER
    GOTO     MODO
;*****
; FIN DEL PROGRAMA
;*****
END
;*****

```

6.3 RUTINA DE COMUNICACIÓN SERIAL USANDO LA USART

Este programa se encarga de leer el pulsador de emergencia y además de leer las señales procedentes del autómatas, el cual controla el encendido de las lámparas del semáforo. Esto lo realiza por medio de la USART del 16F877A.

Cada vez que se presiona el pulsador de emergencia este se guarda en el *buffer* de entrada (BFE) y es enviado un código de emergencia una sola vez (el carácter “E” en ASCII), esto se hace a través de la línea de transmisión (TX) y enseguida se borra el *buffer* de entrada para que esté disponible para una nueva solicitud de envío y evitar que se vuelva a transmitir, adicionalmente, en cualquier momento puede detectarse la recepción (RX) de comunicación por interrupción que lee el código binario procedente de la interfaz de comunicación del autómatas, el cual contiene los 5 estados binarios que representan las

condiciones de encendido y apagado de los semáforos peatonal y vehicular de la intersección, y que se recibe como una palabra de 8 bits que tiene la siguiente forma:

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
X	X	X	LPV	LPR	LVV	LVA	LVR

LPV: Lámpara Peatonal Verde

LPR: Lámpara Peatonal Roja

LVV: Lámpara Vehicular Verde

LVA: Lámpara Vehicular Amarilla

LVR: Lámpara Vehicular Roja

Una vez recibida la palabra de control del autómata y dependiendo del cual sea el modo en que se encuentre la lámpara, peatonal ó vehicular, el programa se encarga de enmascarar solamente los bits que le corresponde y los guarda en el *buffer* de control en las posiciones definidas que se muestra a continuación:

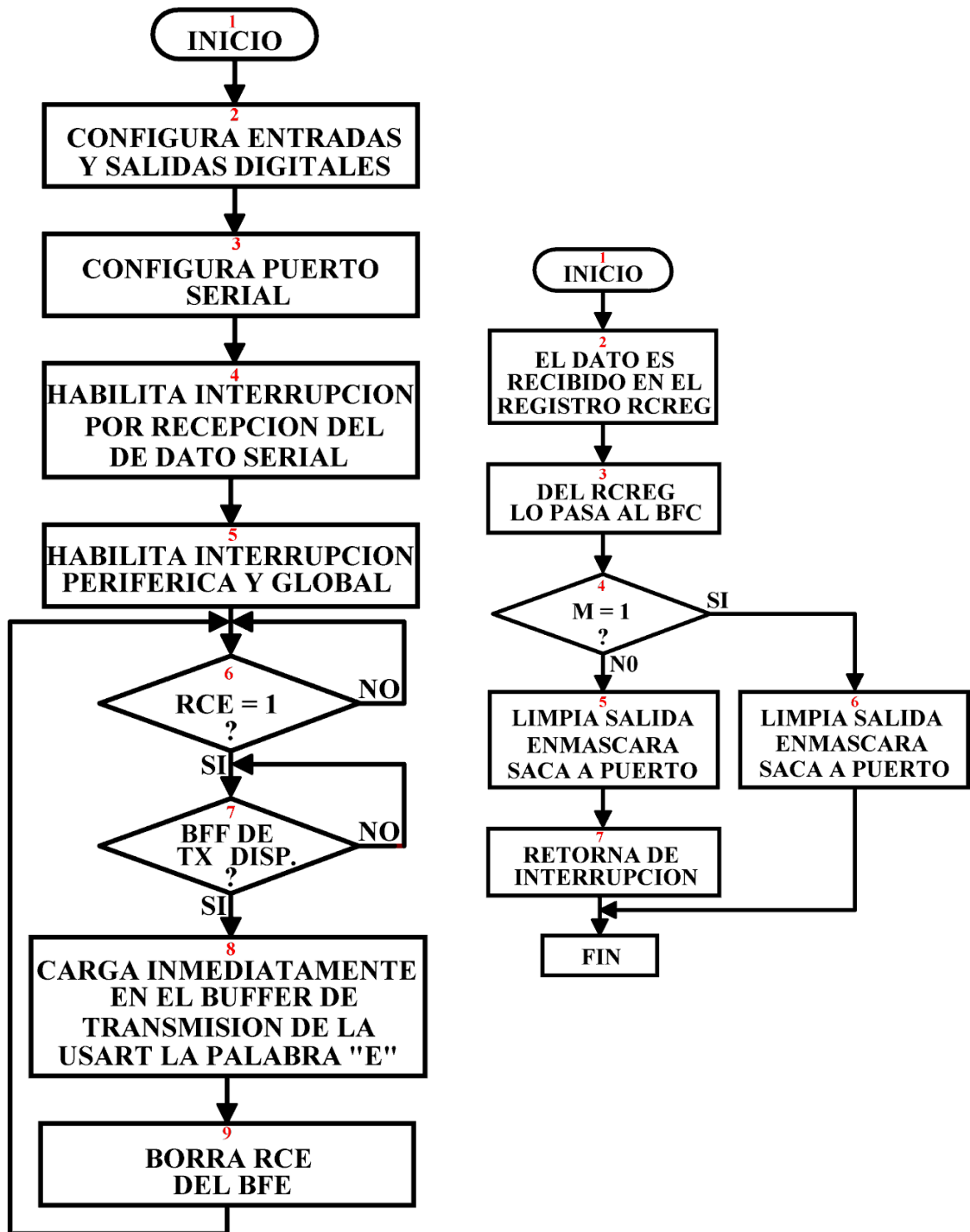
Modo vehicular

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
X	X	X	0	0	LVV	LVA	LVR

Modo peatonal

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
X	X	X	LPV	LPR	0	0	0

En seguida se muestra el algoritmo que ejecuta esta rutina, que se compone de un programa principal y una rutina de recepción habilitado por interrupciones, y se muestran en el diagrama de flujo siguiente:



6.20. Diagrama de flujo del programa principal de la rutina de comunicación serial usando la USART y la subrutina de recepción

6.3.1 Subrutina del programa principal. Este se encarga de leer continuamente el bit del *buffer* de entrada que corresponde con la solicitud de envío de la señal de radio control de emergencia RCE, y cuando esta señal es detectada la transmite hacia el autómatas a través de la interfaz de comunicación. A continuación se describen cada uno de sus bloques.

Bloques 1 y 2: Aquí se realiza la definición del PIC, del sistema numérico, de sus etiquetas y constantes, se define la palabra de configuración del microcontrolador, los registros, constantes y etiquetas del usuario, las asignaciones, se hace la definición del origen para el ensamblaje del programa (vector de *reset*), la configuración de los puertos digitales de entrada y salida, además de la entrada de comunicación serial RX por el puerto RC7/RX/DT y la salida de comunicación serial TX por el puerto RC6/TX/CK.

Bloque 3: Se configura el puerto serie del microcontrolador por medio de los diferentes registros que interviene en la comunicación serial como lo son: el TXSTA, el RCSTA y el SPRBG, con los cuales se selecciona la transmisión a 8 bits, se habilita el modo asíncrono, se habilita el modo de recepción continua, se elige la transmisión a baja velocidad y además se controla la velocidad interna para la USART que corresponde a 19200 baudios.

Bloques 4 y 5: Corresponde a la habilitación de la interrupción periférica, global y de recepción, esto se logra a través de los registros PIE1 e INTCON.

Bloques 6 a 8: Se evalúa el *buffer* de entrada para ver si el pulsador de emergencia ha sido activado, en caso tal de que este presionado se consulta la disponibilidad de la USART para poder cargar en el *buffer* de transmisión la palabra de emergencia 'E' y enviarla a través de la interfaz de comunicación RS485. En el caso de que no haya una solicitud de emergencia, se verifica continuamente el estado del pulsador a través del *buffer* de entrada.

Bloque 9: Se borra el bit de solicitud del pulsador de emergencia que es el bit 3 del *buffer* de entrada para que la palabra de emergencia no quede memorizada y no se retransmita.

6.3.2 Subrutina de comunicación de recepción. Esta es la rutina de atención a la interrupción que se ejecuta cuando se detecta la llegada de un dato por el canal de comunicación serial. Cada uno de los bloques que componen esta rutina se explican enseguida.

Bloques 1 a 3: Después de evaluar (en el vector 04h de la memoria) la solicitud de interrupción de recepción serial, la interrupción es atendida y el dato es recibido a través del registro RCREG y depositado en el *buffer* de control.

Bloques 4 a 7: Se evalúa el *buffer* de entrada para ver en cual estado se halla el pulsador de modo, si se encuentra en '1' se indica que esta en modo peatonal y el programa enmascara solamente los bits que le corresponde al semáforo peatonal y se guarda en el *buffer* de control para ser enviados al puerto; si el pulsador de modo se encuentra en '0' se indica que esta en modo vehicular y en este caso se enmascara solamente los bits que corresponden y son guardados en el *buffer* de control antes de ser sacados por el puerto.

Bloque 8: Se ejecuta la instrucción que le permite al microcontrolador retornar al lugar en donde se genero la interrupción.

A continuación se muestra el programa principal y la rutina de recepción en lenguaje ensamblador.

```
*****
; NOMBRE DEL PROGRAMA: USART.ASM
; AUTOR: MILENA RAMIREZ, ISABEL QUEJADA Y WILSON PARRA
; FECHA: SEP-17-2009
; VERSION: 1.0
*****
; COMUNICACION USART
; *****
; DEFINICION DEL PIC, DEL SISTEMA NUMERICO, DE SUS ETIQUETAS Y DE SUS CONSTANTES
; *****
      #INCLUDE <P16F877A.INC>
      ERRORLEVEL -301,-302,-306
```

```

;*****
;
;DEFINICION DE LA PALABRA DE CONFIGURACION
;*****
;
;   _CONFIG   H'1D32'
;*****
;DEFINICION DE REGISTROS, CONSTANTES Y ETIQUETAS DEL USUARIO Y ASIGNACIONES
;*****
;
;   CBLOCK   H'21'
;   BFE                               ;BUFFER DE ENTRADA
;   BFC                               ;BUFFER DE CONTROL
;   REGSELEC                               ;REGISTRO SELECTOR DE PAGINA
;   ENDC
;   #DEFINE PM   PORTE, 0   ;PULSADOR DE MODO
;   #DEFINE PRCE PORTE, 1   ;PULSADOR DE RADIO CONTROL DE EMERGENCIA
;   #DEFINE PE   BFE, 3     ;ENTRADA DEL BUFFER ASOCIADA AL PULSADOR DE EMERGENCIA
;*****
;DEFINICION DEL ORIGEN PARA EL ENSAMBLAJE DEL PROGRAMA (VECTOR DE RESET)
;*****
;
;   ORG   H'0'
;   GOTO  INICIO
;*****
;DEFINICION DEL ORIGEN PARA EL VECTOR DE INTERRUPCION
;*****
;
;   ORG   H'4'
;   MOVF  STATUS,W
;   BANKSEL  REGSELEC
;   MOVWF  REGSELEC
;   BTFSS  PIR1,RCIF
;   NOP
;   GOTO   CMR
;*****
;SUBROUTINA DE COMUNICACION DE RECEPCIÓN: LEE DATO DEL BUFFER DE ENTRADA RCREG SERIAL Y LO CARGA EN EL BFC
;*****
;
;   CMR
;   BANKSEL  RCREG
;   MOVF    RCREG,W
;   MOVWF   BFC
;
;   BTFSS   PM                               ;PREGUNTA SI ESTA EN MODO VEHICULAR O PEATONAL
;   GOTO    SEMAFOROVEHICULAR
;
;SEMAFORO PEATONAL
;
;   MOVLW   B'00011000'                       ;CARGA A W CON LAMPARAS DE SEMAFORO
;                                               ;PEATONAL
;
;   ANDWF   BFC,W
;   MOVWF   PORTA                               ;DE W SE LO PASA AL PUERTO A PARA VISUALIZAR
;   BANKSEL  REGSELEC
;   MOVF    REGSELEC,W
;   MOVWF   STATUS
;   GOTO    SALE

```

SEMAFOROVEHICULAR

```
    MOVLW    B'00000111'           ;CARGA A W CON LAMPARAS DE SEMAFORO
                                           ;VEHICULAR
    ANDWF    BFC,W
    MOVWF    PORTA                 ;DE W SE LO PASA AL PUERTO A PARA VISUALIZAR
    BANKSEL  REGSELEC
    MOVF     REGSELEC,W
    MOVWF    STATUS
    GOTO     SALE
    SALE
    RETFIE                          ;RETORNA A DONDE SE GENERO LA INTERRUPCION
```

;INICIO DEL PROGRAMA PRINCIPAL

INICIO

;CONFIGURACION DE ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES

```
    BANKSEL  TRISA
    MOVLW    B'10000000'           ;RC7/RX ENTRADA, RC6/TX SALIDA
    MOVWF    TRISC
    MOVLW    B'11100000'           ;CONFIGURA SALIDAS (LVR, LVA, LVR, LPR Y LPV)
    MOVWF    TRISA
    MOVLW    B'00000011'           ;BIT CERO Y UNO COMO ENTRADAS (PULSADOR DE MODO Y
                                           ;PULSADOR DE EMERGENCIA)

    MOVWF    TRISE
    MOVLW    B'00000111'
    MOVWF    ADCON1
```

;CONFIGURACION DE PUERTO SERIE

```
    BCF     TXSTA,TX9             ;TRANSMISIÓN A 8 BITS
    BSF     TXSTA,TXEN           ;TRANSMISIÓN ACTIVADA
    BCF     TXSTA,SYNC           ;MODO ASÍNCRONO
    BCF     TXSTA,BRGH           ;BAJA VELOCIDAD
    MOVLW   .15                  ;CARGA A W CON 19200 BAUDIOS
    MOVWF   SPBRG                ;CONFIGURA REGISTRO SPBRG
    BANKSEL RCSTA
    BSF     RCSTA,SPEN           ;PUERTO SERIE HABILITADO
    BCF     RCSTA,RX9           ;SELECCIÓN DE RECEPCIÓN DE 8 BITS
    BSF     RCSTA,CREN           ;HABILITA MODO DE RECEPCIÓN CONTINUA
```

;HABILITA INTERRUPCIÓN PERIFERICA Y GLOBAL DE RECEPCION SERIE DE LA USART .

```
    BANKSEL PIE1
    BSF     PIE1,RCIE           ;HABILITA INTERRUPCIÓN EN RECEPCIÓN
    BSF     INTCON,GIE          ;HABILITA INTERRUPCION GLOBAL
    BSF     INTCON,PEIE         ;HABILITA INTERRUPCION PERIFERICA
```

;PREGUNTA SI RCE ESTA EN 1

```

    BANKSEL   BFE
PM1
    BTFSS     PRCE           ;PREGUNTA SI EL BIT 1 DEL PUERTO E ESTA EN 1 (PULSADOR DE
                           ;EMERGENCIA)
    GOTO      PM1

;BUFFER DE TRANSMISION DISPONIBLE

T1
    BTFSS     PIR1,TXIF     ;PREGUNTA SI EL REGISTRO TXREG ESTA DISPONIBLE
    GOTO      T1
    BANKSEL   TXSTA
    TRMT1
    BTFSS     TXSTA,TRMT    ;SE PREGUNTA SI EL BIT DE ESTADO DEL REGISTRO DE
                           ;DEZPLAZAMIENTO DE TRANSMISION ESTA VACIO
    GOTO      TRMT1

;CARGA DE EMERGENCIA EN EL BUFFER DE TRANSMISION DE LA USART

    BANKSEL   TXREG
    MOVLW    'E'           ;CARGA EL CODIGO BINARIO DE EMERGENCIA
    MOVWF    TXREG        ;LO PASA AL BUFFER DE TRANSMISION DE LA USART

;BORRA RCE DEL BUFFER DE ENTRADA BFC

    BCF      PE           ;LIMPIA EL BIT 3 DEL BUFFER DE ENTRADA
    GOTO     PM1         ;SALTA A PM1
;*****
;FIN DEL PROGRAMA
;*****
    END
;*****

```

6.4 RUTINA DE LA PLACA DE VIBRACIÓN Y LA INTERFAZ DE SONIDO

La placa de vibración y la interfaz de sonido representan las dos formas de información que ofrece el semáforo inteligente a los peatones con limitaciones visuales y auditivas, la solicitud de activación de estos dos modos se realiza a través de un control remoto y de un pulsador instalado en el poste del semáforo.

La programación asociada a la rutina que maneja la placa de vibración y la interfaz de sonido consta de un programa principal y una subrutina por interrupciones que maneja la vibración y el sonido, ambos programas utilizan el TIMER2 en su funcionamiento como

contador. El primer programa se encarga de la lectura permanente del *buffer* de entrada, observando siempre el estado el bit 1 correspondiente al pulsador de vibración y sonido (PVS) y también evalúa bit 2 correspondiente a la señal de radio control de vibración y sonido (RCVS).

La disposición de los bit`s que conforman el *buffer* de entrada (BFE) se muestran a continuación.

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
X	X	X	X	RCE	RCVS	PVS	M

M: Modo de la lámpara verde.

1: Modo peatonal

0: Modo vehicular

PVS: Pulsador de vibración y sonido.

RCVS: Radio control de vibración y sonido.

RCE: Radio control de emergencia.

El segundo programa controla la activación y desactivación de la placa de vibración y de la interfaz de sonido durante el tiempo que se muestran en la lámpara verde los números del 9 hasta el 2. A continuación se explican estos programas.

6.4.1 Subrutina del programa principal. El programa principal se encarga de leer cíclicamente el PVS y la señal de RCVS a través del BFE, en caso de estar algunas de estas entradas se debe activar el TIMER2 y borrar la entrada puesta.

A continuación se explican cada uno de los bloques que conforman el diagrama de flujo del programa principal.

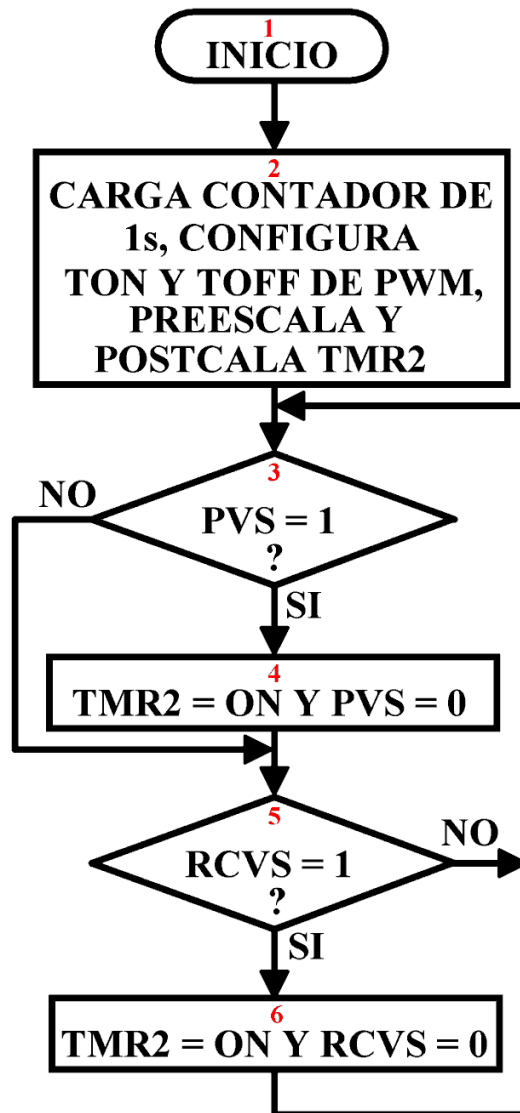


Figura 6.21. Diagrama de flujo de la subrutina del programa principal

Bloques 1 a 2: En esta fase se carga por primera vez el contador de 1s, se hace una limpieza del *buffer* de ENTRADA1, el bit de vibración y el bit de sonido; se habilitan los bits de interrupciones globales y periféricas, a través de el registro INTCON; se configura el funcionamiento del TIMER2, del registro PIE1 para la habilitación de la interrupción del TIMER2, se asigna el período de la frecuencia de sonido en el registro PR2, que en este caso corresponde a 207 en decimal; en este bloque también se programa el registro

T2CON, ya que aquí se configura el (PWM) necesario para la salida de la interfaz de sonido.

Bloques 3 a 4: Aquí se prueba el bit del PVS, si está en 1 lógico (pulsador presionado), se activa el TIMER2 poniendo el bit TMRON del registro T2CON, además se borra el bit correspondiente con dicha entrada. Si se prueba el bit PVS y está en 0 lógico, se salta a preguntar por el estado lógico de la señal de RCVS en el bloque siguiente.

Bloque 5 a 6: En esta fase se prueba el bit de RCVS, en caso de estar en el estado lógico 1 (señal enviada) se debe encender el TIMER2 por medio el bit TMRON del registro T2CON, además se debe poner en 0 lógico la entrada RCVS. De lo contrario el flujo del programa volverá al inicio de la consulta de las entradas PVS y RCVS (Bloque 3).

6.4.2 Subrutina del programa de vibración y sonido. La subrutina del programa de vibración y sonido establece los momentos en que debe ser activada la interfaz de sonido y la placa de vibración. En este caso se utiliza el módulo embebido en el microcontrolador que controla la modulación por anchura de pulsos (PWM). Aquí también se cuenta el tiempo durante el cual deben estar activos el sonido y la vibración, que es cuando el contador de números de la lámpara verde llega a 2.

La siguiente explicación describe la función de cada uno de los bloques que conforman el diagrama de flujo de la subrutina de vibración y sonido la cual se puede apreciar en la figura 6.22.

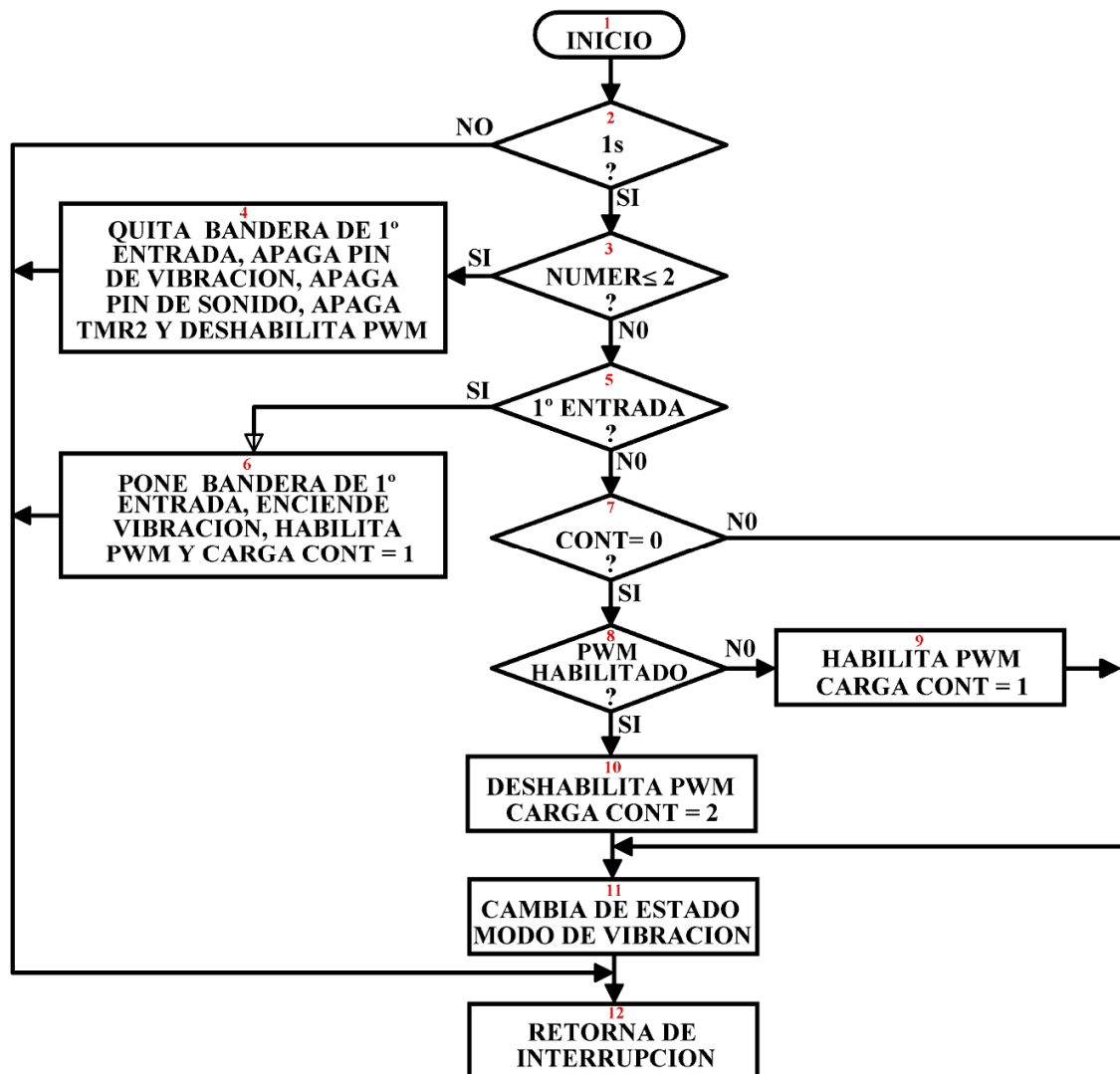


Figura 6.22. Diagrama de flujo de la subrutina del programa de vibración y sonido

Bloque 1: Este bloque comprende la definición del PIC, del sistema numérico, de sus etiquetas y de sus constantes; se define la palabra de configuración, las constantes, etiquetas del usuario y asignaciones; y a demás, se define el origen para el ensamblaje del programa y para el vector de interrupciones.

Bloque 2: Se pregunta si el tiempo del contador de 1s ha transcurrido, esto se hace mediante el decremento del registro CONTADOR1, si no han pasado el programa debe retornar al lugar de donde fue llamado.

Bloques 3 a 4: Se compara el numero visualizado por la lámpara verde, si este es mayor o igual a 2 se desactiva la salida PWM borrando el registro de control CCP1CON, se pone la bandera de ENTRADA1, se borra el pin de salida de sonido y el pin de salida de vibración, además se inactiva el funcionamiento del TIMER2, y en caso de que el conteo de los 32s no haya terminado se debe continuar con el siguiente bloque.

Bloques 5 a 6: En este segmento se prueba el bit de ENTRADA1 para saber si se ha entrado por primera vez a la subrutina de vibración y sonido, en caso de ser así, se pone la bandera de ENTRADA1, habilitar el funcionamiento del PWM cargando debidamente el registro de control CCP1CON, se habilita la salida de vibración y la salida de sonido, además se carga el CONRTADORPWM con 1s y finalmente retornar.

Bloque 7: En este bloque se pregunta si el bit de ENTRADA1 esta en el estado lógico 0 lo cual significa que no se ha entrado por primera vez a la rutina vibración y sonido, esto se realiza mediante el decremento del CONTADORPWM, si este decremento es cero el programa debe saltar a la etiqueta “CAMBIA” que inicia en el bloque 11.

Bloques 8 a 10: En esta fase del programa se pregunta si está habilitado el PWM, esto se hace mediante la operación lógica SUBWF, la cual compara el contenido del registro W con el registro CCP1CON, si el resultado de la operación lógica en el bit Z del registro STATUS corresponde al estado lógico 1, significa que el PWM está activo y por lo tanto debe desactivarse, además debe cargar el CONTADORPWM con 2s. En caso tal de que el resultado de la operación sea 0 lógico en el bit Z, la programación debe continuar con la activación del PWM e incrementar el CONTADORPWM en 1s.

Bloque 11: Este bloque contiene el segmento del programa que inicia con la etiqueta “CAMBIA”, en este se logra que el tren de pulsos del PWM cambie de estado lógico, si el nivel es alto debe pasar a bajo y viceversa, esto se adquiere haciendo la operación lógica XORWF entre la constante 00000010 y el contenido de la salida vibración.

Bloque12: Aquí se limpia la bandera del TIMER2 y finalmente se retorna a la rutina del programa principal.

A continuación se muestra la rutina de la placa de vibración y la interfaz de sonido escrita en lenguaje ensamblador.

```

;*****
; NOMBRE DEL PROGRAMA:RUTINA DE LA PLACA DE VIBRACION Y LA INTERFAZ DE SONIDO
; AUTOR: ISABEL QUEJADA PALACIOS, MILENA RAMIREZ ARBOLEDA, WILSON PARRA CADAVID
; FECHA: SEP-2009
; VERSION: 1.0
;*****
; DEFINICION DEL PIC, DEL SISTEMA NUMERICO, DE SUS ETIQUETAS Y DE SUS CONSTANTES
;*****
        #INCLUDE <P16F877A.INC>
        ERRORLEVEL -301,-302,-306
;*****
;DEFINICION DE LA PALABRA DE CONFIGURACION
;*****
        _CONFIG 0X1D32
;*****
;DEFINICION DE CONSTANTES Y ETIQUETAS DEL USUARIO Y ASIGNACIONES
;*****
        CBLOCK      21H
        BFE          ; BUFFER DE ENTRADA
        BANDERA      ; BUFFER DE ENTRADA1
        CONTADOR1
        CONTADOR32
        CONTADORPWM
        ENDC
        #DEFINE      PVS      BFE,1
        #DEFINE      RCVS     BFE,2
        #DEFINE      ENTRADA1 BANDERA,1
        #DEFINE      VIBRACION PORTC,1
        #DEFINE      SONIDO   PORTC,2
;*****
; DEFINICION DEL ORIGEN PARA EL ENSAMBLAJE DEL PROGRAMA (VECTOR DE RESET)
;*****
        ORG 0x0
        GOTO MAIN
;*****
; DEFINICION DEL ORIGEN PARA EL VECTOR DE INTERRUPCION
;*****
        ORG H'4'
        BTFSS      PIR1, TMR2IF ; SE PREGUNTA POR LA BANDERA DEL TMR2 Y SALTA
                                ; SI ESTA EN UNO
        NOP
        GOTO VIBRACIONSONIDO
;*****
; MAIN
;*****
MAIN

```

```

BANKSEL PORTC
BCF ENTRADA1 ; SE INDICA QUE NO SE HA ENTRADO POR PRIMERA VEZ
BCF PORTC, 1
BCF PORTC, 2
BANKSEL TRISC
BCF TRISC, 1
BCF TRISC, 2
BSF INTCON,GIE
BSF INTCON,PEIE
BSF PIE1, TMR2IE ; SE PONE LA INTERRUPCION DE IGUALACION DEL TIMER2
; Y PR2

MOVLW .207
MOVWF PR2 ; SE CARGA EL PERÍODO CON 207 EN EL REGISTRO PR2
BANKSEL CCPR1L
MOVLW .104
MOVWF CCPR1L ; SE CARGA EL REGISTRO CCPR1L CON EL 50% DEL VALOR DEL
; PERÍODO

MOVLW B'01111011'
MOVWF T2CON ; SE CONFIGURA EL REGISTRO T2CON
MOVLW B'00001111'
MOVWF CCP1CON ; SE CONFIGURA EL REGISTRO CCP1CON PARA LA SALIDA
; PWM

MOVLW .94
MOVWF CONTADOR1 ; SE CARGA CONTADOR DE 1s
MOVLW .32
MOVWF CONTADOR32 ; SE CARGA CONTADOR DE 32s

P1
BTFSS PVS ; PREGUNTA SI PVS ESTA ACTIVO
GOTO P2
BSF T2CON, TMR2ON ; ACTIVA EL FUNCIONAMIENTO DEL TMR2
BCF PVS

P2
BTFSS RCVS ; PREGUNTA SI RCVS ESTA ACTIVO
GOTO P1
BSF T2CON, TMR2ON ; ACTIVA EL FUNCIONAMIENTO DEL TMR2
BCF RCVS
GOTO P1

;*****
; INICIO VIBRACION Y SONIDO
;*****
VIBRACIONYSONIDO
BANKSEL PIR1
DECFSZ CONTADOR1, F ; SE PREGUNTA SI HAN PASADO 1s
GOTO SALE
MOVLW .94
MOVWF CONTADOR1 ; CARGA CONTADOR1 PARA 1s
DECFSZ CONTADOR32
GOTO PRIMERENTRADA
GOTO DESHABILITA

PRIMERENTRADA
BTFSC ENTRADA1 ; PREGUNTA SI FUE LA PRIMERA ENFTRADA A
; VIBRACION Y SONIDO

GOTO PREGUNTA
BSF ENTRADA1 ; PONE EL BIT DE ENTRADA1 PARA SEÑALAR QUE YA ENTRO
; UNA VEZ

MOVLW B'00001111'
MOVWF CCP1CON ; CONFIGURA EL REGISTRO CCP1CON PARA LA SALIDA PWM
MOVLW .1
MOVWF CONTADORPWM ; CARGA CONTADORPWM CON 1s

```

```

BSF      VIBRACION      ; ACTIVA LA SALIDA DE VIBRACION
GOTO     SALE
PREGUNTA
DECFSZ   CONTADORPWM, F ; PREGUNTA SI HA INICIADO CONTADORPWM
GOTO     CAMBIA         ; CAMBIA DE ESTADO
MOVLW   B'00001111'
SUBWF   CCP1CON,W      ; COMPARARA SI PWM ESTA HABILITADO
BTFSS   STATUS, Z
GOTO     HABILITA
CLRF    CCP1CON        ; DESHABILITA LA SALIDA PWM
BCF     SONIDO         ; BORRA SALIDA DE SONIDO
MOVLW   .2
MOVWF   CONTADORPWM    ; CARGA CONTADORPWM CON 2s
GOTO     CAMBIA        ; CAMBIA DE ESTADO

HABILITA
MOVLW   B'00001111'
MOVWF   CCP1CON        ; CONFIGURA EL REGISTRO CCP1CON PARA LA SALIDA PWM
MOVLW   .1
MOVWF   CONTADORPWM; F ; CARGA CONTADORPWM CON 1s
GOTO     CAMBIA        ; CAMBIA DE ESTADO
CAMBIA
BANKSEL PORTC
MOVLW   B'00000010'    ; CONFIGURA EL REGISTRO W CONSTANTE LA DE
                                ; COMPARACION
XORWF   PORTC, F      ; CAMBIA DE ESTADO EL BIT DE VIBRACION
GOTO     SALE
DESHABILITA
BANKSEL CCP1CON
CLRF    CCP1CON        ; INACTIVA LA SALIDA PWM
BCF     SONIDO         ; SE QUITA LA SALIDA DE SONIDO
BCF     VIBRACION     ; SE QUITA; LA SALIDA DE VIBRACION
BCF     T2CON, TMR2ON ; SE INACTIVA EL FUNCIONAMIENTO DEL TMR2
GOTO     SALE
BANKSEL PIR1
BCF     PIR1, TMR2IF   ; LIMPIA LA BANDERA DEL TMR2
RETFIE

```

```

*****
;
; FIN DEL PROGRAMA
;
*****
END
*****
;

```

6.5 RUTINA DE CONTROL DE LA LÁMPARA VERDE

El programa se encarga de controlar el brillo de la lámpara verde por medio del sensor de luz LX1972, cada 5s se detecta el nivel de luz radiado por el Sol, se cuantifica y dependiendo de este se controla la frecuencia de barrido de las columnas de la lámpara.

Dependiendo del estado del interruptor de modo se visualizan números entre el 9 y el 0 ó la lámpara totalmente encendida, el primer caso, cuando el interruptor esta en modo peatonal y el segundo caso cuando está en vehicular. En el caso peatonal el cambio de números se ejecuta cada 4s.

Este programa se ejecuta teniendo en cuenta la rutina del temporizador, la rutina de conversión A/D y la rutina de visualización, las cuales se explican a continuación.

En el encabezado del programa principal, se realiza la definición del PIC, del sistema numérico, de sus etiquetas y constantes; se define la palabra de configuración del microcontrolador; los registros, constantes y etiquetas del usuario; las asignaciones; se hace la definición del origen para el ensamblaje del programa (vector de reset) y la configuración de los puertos digitales de entrada y salida.

Además se incluye dentro del ensamblaje el segmento de código que contiene los bytes que conforman y definen los números a visualizar, guardados estratégicamente en filas de 2 bytes (llamado NUMEROS.asm). También se define el origen para los vectores de interrupción (posición 4 de la memoria de código ROM), y en este lugar se evalúan todas las banderas que provocan las interrupciones para determinar el lugar al cual se debe efectuar el correspondiente salto.

6.5.1 Subrutina del temporizador 0. Esta rutina se implementa con el temporizador/contador de 8 bits, llamado TIMER0, que actúa de dos maneras diferentes; como contador de sucesos y como temporizador, siendo este el modo de funcionamiento

que se usa en este proyecto. Se encarga de controlar el tiempo en el cual se inicia la conversión del dato analógico a digital que se adquiere desde el sensor de luz para cambiar la intensidad de brillo de la lámpara, este tiempo es de 5s.

A continuación se describe el funcionamiento de cada uno de los bloques que conforman el diagrama de flujo del temporizador que se muestra en la figura 6.23.

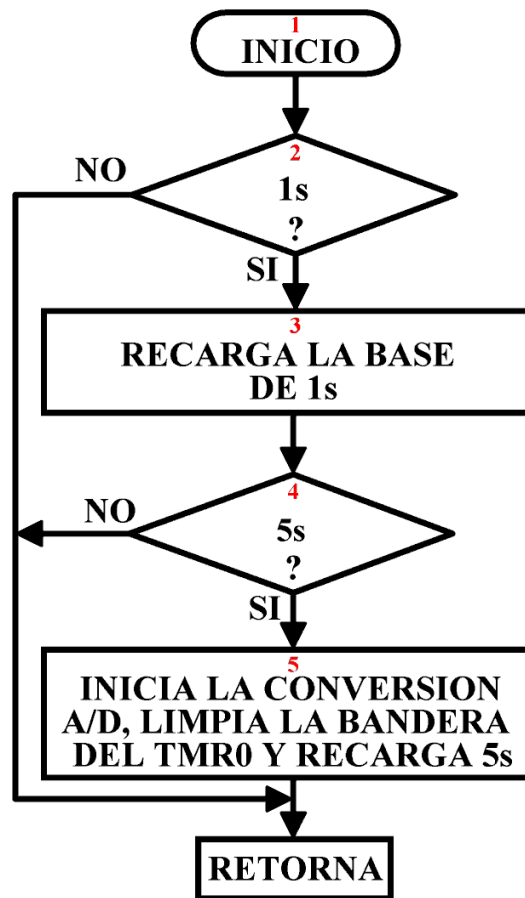


Figura 6.23. Diagrama de flujo de la subrutina del temporizador (TMR0)

Bloque 1: Inicialmente se configura el TIMER0 como temporizador, en donde se utilizan los registros: OPTION que se encarga de controlar la frecuencia del TIMER0, en este se selecciona el preescalamiento, que en este caso es de 1:256, usando un divisor de frecuencia programable que permite ampliar el rango de las cuentas; se le asigna el

preescalera al TIMER0, se selecciona el reloj interno ($F_{osc}/4$) y el registro INCONT que se encarga de permitir la señal de interrupción cuando se produce un desborde en el registro TMR0 (cuando pasa de FF a 00H). Permite también las interrupciones periféricas y las globales.

Bloques 2 y 3: En esta fase se pregunta si ha transcurrido 1s, para este propósito es necesario cargar el contador de 1s llamado (CONTA1S) con el número de conteos de desbordamientos del TMR0, que es de 76, el cual se decrementa hasta que sea 0 y pase a ejecutar el siguiente bloque, de lo contrario retorna de la interrupción. Después de transcurrido un segundo y haberse decrementado totalmente el contador de 1s, se vuelve a cargar con el número de desbordamientos del TMR0.

Bloque 4: Se carga inicialmente con 5 el contador llamado (CONTA5S), se decrementa y se pregunta por su estado cada vez que se haya cumplido 1s hasta que sea 0 y pase a ejecutar el siguiente bloque, de lo contrario retorna de la interrupción.

Bloque 5: Al transcurrir los 5s se inicia la conversión A/D, se limpia la bandera del temporizador y se recarga nuevamente la base de tiempo de 5s, y finalmente retorna de la interrupción.

6.5.2 Subrutina de conversión A/D. Los microcontroladores PIC16F877A poseen un conversor A/D de 10 bits y 8 canales de entrada. La resolución que tiene cada bit procedente de la conversión tiene un valor que es función de la tensión de referencia (en este caso +VCC) de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Resolucion} = \frac{+VCC - GND}{2^n} \quad (11.1)$$

De acuerdo a la ecuación 11.1 y teniendo en cuenta que n es el número de bits, en este caso es 10, se tiene:

$$\text{Resolucion} = \frac{+5\text{VCC} - 0\text{V}}{1.024} = 4,8\text{mV/bit}$$

Por tanto, a la entrada analógica de 0V le corresponde un valor digital de 0000000000 y para la de +5VCC un valor digital de 1111111111. La tensión de referencia determina los límites máximo y mínimo de la tensión analógica que se puede convertir.

Esta subrutina se encarga de convertir la señal de entrada análoga que viene desde el sensor de luz a su correspondiente valor digital de 10 bits. La entrada analógica configurada, en este caso, se lleva a un circuito de muestreo y retención y luego se conecta con la entrada del convertidor, el cual genera el resultado por medio de aproximaciones sucesivas.

A continuación se describe el funcionamiento de cada uno de los bloques que conforman el diagrama de flujo de la conversión A/D que se muestra en la figura 6.24.



Figura 6.24. Diagrama de flujo de la conversión A/D

Bloque 1: En esta etapa se configura el módulo A/D, e interfieren los registros ADCON1 y ADCON0.

En el ADCON1 se configuran las funciones de los pines del puerto análogo, es decir, permite seleccionar como se ubican los 10 bits que resultan de la conversión A/D, los cuales se ubican justificados a la derecha con los 6 bits más significativos del registro ADRESH en cero; igualmente permite seleccionar cuales de los pines del puerto A trabajan como entradas análogas y cuales como entradas digitales, en este caso se selecciona el canal AN0 como análogo y los demás canales como digitales. Adicionalmente permite seleccionar los voltajes de referencia del convertidor.

En el ADCON0 se selecciona cual entrada análoga van a ser leída y permite dar la orden de iniciar el proceso de conversión, con estos propósitos se habilita el módulo A/D y se selecciona la frecuencia de conversión ($F_{osc}/32$). Se utilizan también los registros PIR1, PIE1 e INCONT con el fin de detectar y también limpiar, cuando sea necesario, la bandera que indica que ha finalizado la conversión, adicionalmente aquí se habilitan las interrupciones tanto de la bandera de conversión como las periféricas y las globales.

Bloque 2: Cuando se completa la conversión A/D, el resultado se carga en los registros ADRESH y ADRESL en el formato que se configura justificado a la derecha, los 8 bits de menor peso se cargan en el ADRESL y los 2 bits de mayor peso en el ADRESH. Una vez allí, se copia este resultado en unos registros llamados RESULTADOL y RESULTADOH, y el programa pasa al siguiente bloque.

Bloque 3: Después de tener el resultado de la conversión almacenado en los registros antes mencionados se les realiza tres rotaciones consecutivas, para lograr dividirlo entre 8, esto con el objetivo de reducir la longitud de palabra de la conversión de 10 a 8 bits, con esto se obtienen 128 posibilidades de brillo, y esto además es necesario para ejecutar la operación de substracción de la siguiente etapa.

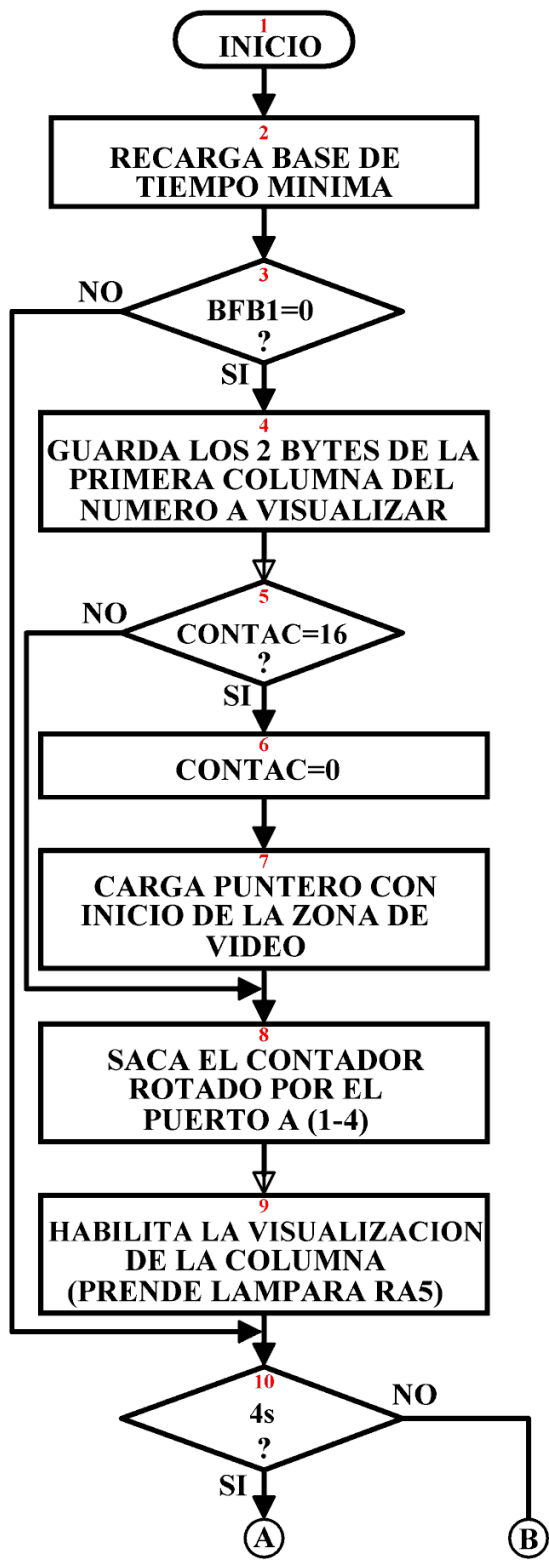
Bloques 4 y 5: En esta etapa el resultado de la última división se guarda en W para realizar la operación de resta con la instrucción SUBLW, entre W y una constante K igual a 127, con el objetivo de obtener una escala de tiempo que determina el período de la frecuencia de barrido de las columnas de la lámpara, así:

- Cuando el valor de la conversión es máximo (127) el resultado del tiempo de barrido es el mínimo (0), esto sucede cuando el sensor está a plena luz del día, lo cual genera la máxima frecuencia de barrido, con el propósito de hacer que la lámpara brille con su máxima intensidad.
- Cuando el valor de la conversión es mínimo (0) el resultado del tiempo de barrido es el máximo (127), esto sucede cuando el sensor detecta la noche, lo cual genera la mínima frecuencia de barrido, con el propósito de hacer que la lámpara brille con su mínima intensidad.

Posteriormente se guarda el resultado de la resta en el *buffer* de brillo (BFB).

6.5.3 Subrutina de visualización. La rutina de visualización se encarga de controlar los circuitos que manejan las filas y las columnas de la lámpara con el propósito de mostrar los números decimales, usando la técnica de multiplexión por barrido de columnas, ó de encender la lámpara completa, dependiendo del modo de funcionamiento. El muestreo de los números se hace en conteo descendente desde el 9 al 0 y cada número se muestra durante 4s.

Adicionalmente toma en consideración los datos de la conversión del sensor de brillo arrojados por el convertidor A/D cada 5s, y con estos, modifica en tiempo real el valor de la frecuencia de multiplexión de las columnas. A continuación se muestra el diagrama de flujo.



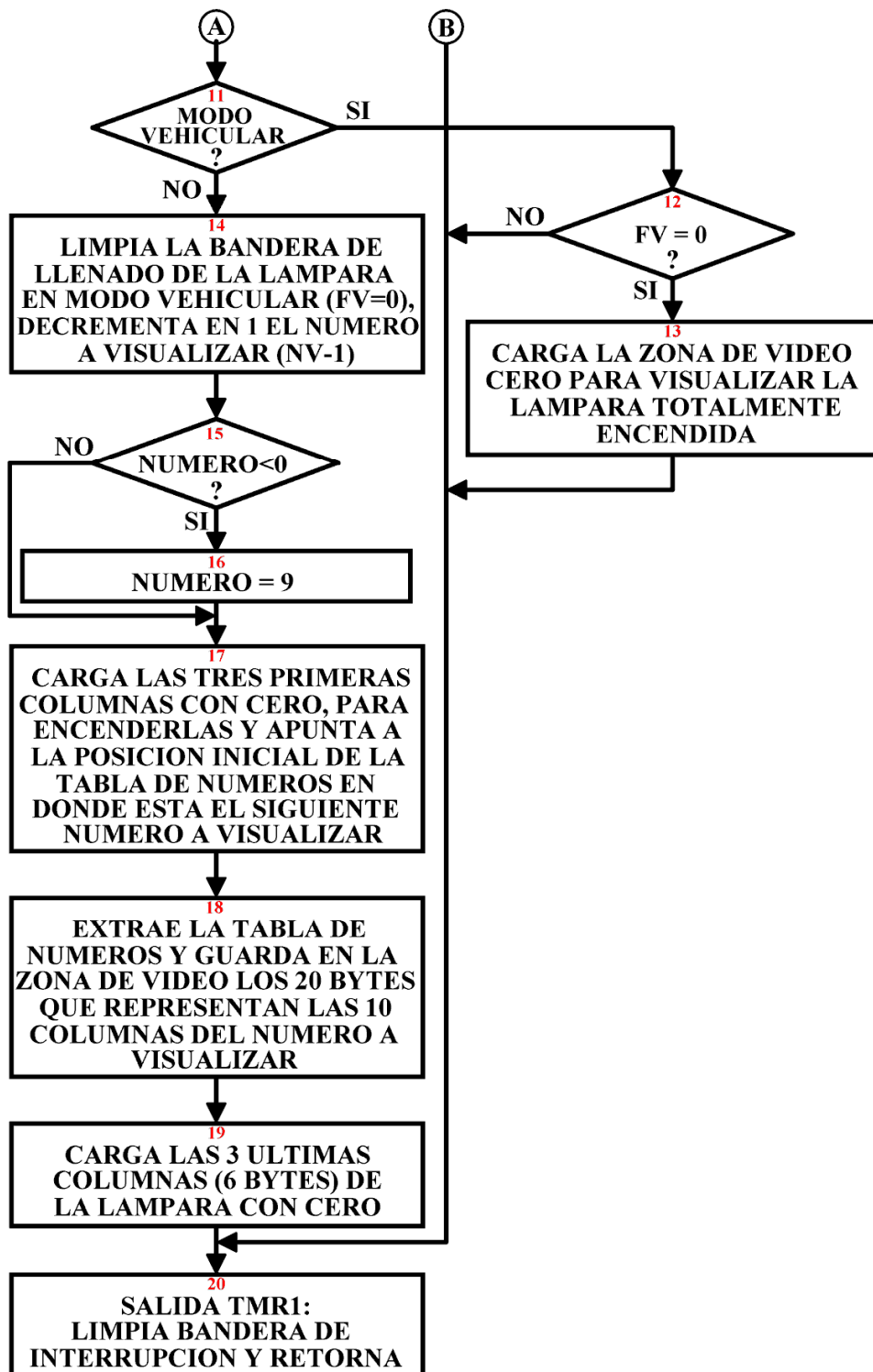


Figura 6.25. Diagrama de flujo de la subrutina de visualización

Bloques 1 a 3: Se configura el TIMER1 como temporizador de 16 bits, lo que requiere el uso de dos registros concatenados de 8 bits (TMR1H y TMR1L), que se encargan de guardar el valor de conteo. Dicho valor evoluciona desde 0000H hasta FFFFH, una cuenta después cuando se desborda y de nuevo vuelve a cero se activa la bandera del temporizador TMR0IF.

Se utiliza el registro T1CON para el control del TIMER1, en donde se selecciona el valor del divisor de frecuencia de los impulsos que se le aplican al temporizador (1:1), se habilita el oscilador y se determina la sincronización con el reloj externo, además permite seleccionar el reloj interno ($F_{osc}/4$) como la fuente de los impulsos de conteo, y por último, se activa el TIMER1.

Se usan también los registros PIR1, PIE1 e INCONT con el fin de limpiar la bandera del temporizador que indica que ha finalizado el tiempo programado, y para permitir las interrupciones tanto del TMR1 como las periféricas y las globales.

Posteriormente se carga la base de tiempo mínima del proceso que es $20\mu s$ y también se carga la base de 4s a punto de finalizar. Se limpia inicialmente el archivo que contiene el número, se realizan los ajustes necesarios para que el contador de columnas llamado (CONTAC) quede apuntando a la columna cero, se carga el puntero de la zona de video en la posición de inicio y se crea un registro auxiliar llamado *buffer* de brillo 1 (BFB1) que se usa como contador del tiempo de barrido de columnas, para esto debe ser decrementado hasta llegar a cero. Si no es cero salta al bloque 10 y de lo contrario ejecuta el siguiente bloque.

Bloques 4: Aquí se inicia la subrutina de visualización, se recarga la base de tiempo mínima y también lo que tiene el BFB en el BFB1; se apaga la lámpara a través del puerto RA5 del microcontrolador y se apunta al inicio de la zona de video.

Enseguida se carga el primer byte de la zona de video en el puerto B y se incrementa el puntero de la zona de video llamado PUNTEROZV, para cargar el segundo byte en el puerto D; una vez más se incrementa indirectamente para que apunte al primer byte de la siguiente columna y quede con la posición actual, y luego se suma 1 al contador de columnas (CONTAC).

Bloques 5 a 7: Se pregunta si CONTAC se ha incrementado hasta 16, que es el número de columnas que debe barrer para multiplexar toda la lámpara. Si ha llegado al límite de 16, se recarga con cero y de nuevo se apunta al inicio de la zona de video, y se ejecuta el bloque siguiente. Si CONTAC no ha llegado a 16 en el momento de la consulta, salta a ejecutar el bloque 8.

Bloque 8 y 9: En estos bloques se enmascara, se rota y se saca por los bits 1 al 4 del puerto A el contenido de CONTAC, y se habilita la visualización de la lámpara poniendo un cero en el puerto RA5, llamado control de la lámpara (control_lamp).

Bloques 10 y 11: Aquí se inicia el control de número, se pregunta inicialmente si ya se cumplieron los 4s (tiempo de visualización), si no se han cumplido salta a ejecutar el último bloque llamado (SALIDA), de lo contrario, pregunta por el modo vehicular a través de la entrada M. Si esta en este modo, salta al inicio del segmento de código que se encarga de prender toda la lámpara y que inicia en el bloque 12; pero si esta en modo peatonal continúa con la ejecución del bloque 14.

Bloques 12 y 13: El bloque 12 es la entrada al modo vehicular, en él se consulta el estado de la bandera vehicular (FV), si esta puesta (FV = 1), salta a ejecutar el bloque final (bloque 20); si no está puesta (FV = 0), inicia la ejecución del modo vehicular. En este modo primero se carga el contador de bytes llamado CONTAB con el valor que representa el número de bytes que se requieren para encender toda la lámpara (32), se cargan los 32 bytes de la zona de video con cero, se pone la bandera FV en 1 para indicar que se ejecutó el modo vehicular y salta al bloque final.

Bloques 14 a 16: Inicialmente se limpia la bandera vehicular ($FV = 0$), se decrementa una vez el número a visualizar (NUMERO), y se consulta si es menor que cero, de ser así se carga el número a visualizar con 9 y se continua con la rutina, de lo contrario salta con el contenido de NUMERO al origen de la zona de video.

Bloque 17: Se apunta al origen de la zona de video creada en la memoria RAM en donde se guardan los datos (32 bytes) del número que se va a visualizar y se cargan los 6 primeros bytes que corresponden a las tres primeras columnas con cero, para que estas se vean plenamente encendida. El contador de bytes (CONTAB) se carga con 20, y si es diferente de cero, se multiplica por el número a visualizar y el resultado se guarda en el puntero de la tabla (PUNTEROT), para que indique el inicio del número a visualizar.

Bloque 18: Carga el puntero de la tabla en W, selecciona la página que contiene la tabla en donde están los datos que representan los números a visualizar en grupos de 20 bytes (10 filas por número), llama y lee la tabla de números, y retorna a la página donde se encuentra el flujo principal del programa, y allí, en la zona de video, guarda el dato leído desde la tabla (1 byte). A continuación, se incrementa el puntero de la tabla una vez para que quede apuntando al siguiente byte del número, se decrementa en 1 el CONTAB y se compara con cero, si no ha llegado a cero, se repite el procedimiento que se acaba de describir para este bloque hasta que llega a cero y se continua con el bloque siguiente.

Bloque 19: En este bloque se termina de llenar la zona de video con los 6 bytes que representan las tres columnas restantes de la lámpara con cero, para que estas últimas columnas aparezcan encendidas.

Bloque 20: En este último bloque llamado SALIDA se limpia la bandera de interrupción y se ejecuta la instrucción de retorno de la interrupción [41].

```

;*****
;
; NOMBRE DEL PROGRAMA: CONVERSION.ASM
; AUTOR: MILENA RAMIREZ, ISABEL QUEJADA Y WILSON PARRA
; FECHA: SEP-24-2009
; VERSION: 1.0
;*****
;
; NOTAS SOBRE EL PROGRAMA
;*****
;
; CONVERSION A/D DEL SENSOR DE LUZ
;*****
;
; DEFINICION DEL PIC, DEL SISTEMA NUMERICO, DE SUS ETIQUETAS Y DE SUS CONSTANTES
;*****
;
; #INCLUDE <P16F877A.INC>
; ERRORLEVEL -302,-306,-301
;*****
;
; DEFINICION DE LA PALABRA DE CONFIGURACION
;*****
;
;   _CONFIG 0X0D02
;*****
;
; DEFINICION DE REGISTROS, CONSTANTES Y ETIQUETAS DEL USUARIO Y ASIGNACIONES
;*****
;
;   CBLOCK  0X30
;   BFB                                ;BUFFER DE BRILLO
;   BFB1                               ;BUFFER DE BRILLO AUXILIAR
;   CONTA1S                            ;CONTADOR DE 1 SEGUNDO
;   CONTA5S                            ;CONTADOR DE 5 SEGUNDOS
;   CONTADOR1                          ;PRIMER REGISTRO CONTADOR DE 4s
;   CONTADOR2                          ;SEGUNDO REGISTRO CONTADOR DE 4s
;   CONTADOR3                          ;TERCER REGISTRO CNTADOR DE 4s
;   RESULTADOL                         ;PARTE BAJA DEL RESULTADO DE LA
;                                       ;CONVERSION
;   RESULTADOH                         ;PARTE ALTA DEL RESULTADO DE LA
;                                       ;CONVERSION
;   BANDERA                            ;REGISTRO DE BANDERAS
;   NUMERO                             ;NUMERO A VISUALIZAR
;   NUMERO1                            ;NUMERO AUXILIAR A VISUALIZAR
;   PUNTEROT                           ;PUNTERO DE LA TABLA
;   CONTAB                              ;CONTADOR DE BYTES
;   CONTAC                              ;CONTADOR DE COLUMNAS
;   PUNTEROZV                          ;PUNTERO DE LA ZONA DE VIDEO
;   ZONAV                              ;ZONA DE VIDEO
;   ENDC
;   #DEFINE  FV                        BANDERA,0  ;BIT DE LA BANDERA VEHICULAR
;   #DEFINE  CONTROL_LAMP  PORTA,5      ;BIT DE CONTROL DE LA LAMPARA VERDE
;*****
;
; DEFINICION DEL ORIGEN PARA EL ENSAMBLAJE DEL PROGRAMA (VECTOR DE RESET)
;*****
;
;   ORG  0X0
;   GOTO INICIO
;*****
;
; DEFINICION DEL ORIGEN PARA TABLA DE NUMEROS EN LA PAGINA 1
;*****
;
;   ORG  0X800
;   #INCLUDE <NUMEROS.ASM>
;*****
;
; DEFINICION DEL ORIGEN PARA EL VECTOR DE LAS INTERRUPCIONES
;*****
;
;   ORG 0X4
;   BTFSC INTCON,TMR0IF ;PREGUNTA SI ESTA EN 0 LA BANDERA DEL TMRO
;   GOTO  TIMER

```



```

BTFSZ   PIR1,ADIF           ;PREGUNTA SI ESTA EN 0 LA BANDERA DE CONVERSIÓN
GOTO    CONVERSION
BTFSZ   PIR1,TMR1F         ;PREGUNTA SI ESTA EN 0 LA BANDERA DEL TMR1
GOTO    VISUALIZAR
;*****
; SUBROUTINA DEL TEMPORIZADOR: TEMPORIZA 5 SEGUNDOS PARA HACER LA CONVERSION
; A/D
;*****
TIMER
DECFSZ  CONTA1S,F
GOTO    SALIR1
MOVLW  .76
MOVWF  CONTA1S           ;SE CARGA EL NUMERO DE CONTEOS DE DESBORDAMIENTO
DECFSZ  CONTA5S,F
GOTO    SALIR1
BSF     ADCON0,GO        ;SE INICIA LA CONVERSION
MOVLW  .5
MOVWF  CONTA5S           ;SE CARGA EL CONTADOR DE 5S PARA REALIZAR LA
;CONVERSION

SALIR1
BCF     INTCON,TMR0IF    ;SE LIMPIA LA BANDERA DE DESBORDAMIENTO DEL TMR0
RETFIE  ;RETORNA DE INTERRUPCION
;*****
; SUBROUTINA DE CONVERSION A/D: RECIBE EL VALOR DE LA CONVERSION A/D DEL SENSOR
; DE LUZ LO DIVIDE ENTRE 8, LO AJUSTA Y GUARDA EL RESULTADO EN EL BUFFER DE
; BRILLO (BFB)
;*****
CONVERSION
BANKSEL ADRESL           ;SE PASA AL BANCO 1 DE LA RAM
MOVF    ADRESL,W         ;SE GUARDA EL REGISTRO ADRESL EN W
BANKSEL RESULTADOL      ;SE PASA AL BANCO 0 DE LA RAM
MOVWF  RESULTADOL       ;SE GUARDA EL REGISTRO ADRESL EN RESULTADOL
MOVF    ADRESH,W        ;SE GUARDA EL REGISTRO ADRESH EN W
MOVWF  RESULTADOH       ;SE GUARDAN 2 BITS DEL REGISTRO ADRESH EN RESULTADOH
BCF     STATUS,C         ;SE BORRA EL CARRY
RRF     RESULTADOH,F     ;USANDO ROTACIONES SE DIVIDE ENTRE 8 (TRES VECES
;CONSECUTIVAS ENTRE DOS)
RRF     RESULTADOL,F    ;EL RESULTADO DE LA CONVERSION DE 10 BITS SE GUARDA
;EN LOS REGISTROS RESULTADOH Y RESULTADOL

BCF     STATUS,C
RRF     RESULTADOH,F
RRF     RESULTADOL,F
BCF     STATUS,C
RRF     RESULTADOH,F
RRF     RESULTADOL,W    ;EL RESULTADO DE LA ULTIMA DIVISION SE GUARDA EN W
SUBLW  .127             ;SE REALIZA LA OPERACION DE RESTA ENTRE 127 Y EL
;RESULTADO DE LA DIVISION (K - W)
MOVWF  BFB              ;SE GUARDA EL RESULTADO DE LA RESTA EN EL BUFFER DE
;BRILLO

MOVLW  .0
XORWF  BFB,W
BTFSZ  STATUS,Z
GOTO   $+.3
INCF   BFB,F
GOTO   $+.7
MOVLW  .64
SUBWF  BFB,W
BTFSZ  STATUS,C
GOTO   $+.3
MOVLW  .64

```

```

MOVWF    BFB
BCF      PIR1,ADIF      ;SE BORRA LA BANDERA DE LA CONVERSION A/D
RETFIE

;*****
;
; SUBROUTINA DE VISUALIZACION
;*****
VISUALIZAR
MOVWLW   B'10011100'    ;SE CARGAN LO REGISTROS DEL TMR1 PARA OBTENER
MOVWF    TMR1L          ;EL TIEMPO DE 20µs
MOVWLW   B'11111111'
MOVWF    TMR1H
DECFSZ   BFB1,F
GOTO     CONTROL_NUMERO
MOVF     BFB,W          ;SE CARGA LO QUE TIENE EL BFB AL BFB1 AUXILIAR
MOVWF    BFB1
BSF      CONTROL_LAMP  ;SE APAGA LA LAMPARA
MOVF     PUNTEROZV,W   ;SE CARGA EL PUNTERO DEL DIRECCIONAMIENTO
MOVWF    FSR            ;INDIRECTO CON EL PUNTEROZV
MOVF     INDF,W        ;SE CARGA EL PRIMER BYTE DE LA ZONA DE VIDEO EN EL
;PORTB

MOVWF    PORTB
INCF     FSR,F          ;SE INCREMENTA EL PUNTERO DE LA ZONA DE VIDEO
MOVF     INDF,W        ;PARA CARGAR EL SEGUNDO BYTE DE LA ZONA DE VIDEO
;EN EL PORTD

MOVWF    PORTD
INCF     FSR,W          ;SE INCREMENTA PARA QUE APUNTE AL PRIMER BYTE DE
;LA SIGUIENTE COLUMNA
MOVWF    PUNTEROZV     ;SE GUARDA EN EL PUNTERO DE LA ZONA DE VIDEO
INCF     CONTAC,F
MOVLW   .16
SUBWF    CONTAC,W      ;SE COMPARA CON 16 PARA INICIAR CON EL CONTAC EN
;CERO

BTFSS   STATUS,C
GOTO    SACAR_CONTAC
CLRF    CONTAC
MOVLW   ZONAV          ;SE CARGAN EN EL PUNTERO DE LA ZONA DE VIDEO LA
;POSICION DE INICIO

MOVWF    PUNTEROZV
MOVF     PUNTEROZV,W   ;SE CARGA EL PUNTERO DEL DIRECCIONAMIENTO
MOVWF    FSR            ;INDIRECTO CON EL PUNTEROZV
MOVF     INDF,W        ;SE CARGA EL PRIMER BYTE DE LA ZONA DE VIDEO EN EL
;PORTB

MOVWF    PORTB
INCF     FSR,F          ;SE INCREMENTA EL PUNTERO DE LA ZONA DE VIDEO
MOVF     INDF,W        ;PARA CARGAR EL SEGUNDO BYTE DE LA ZONA DE VIDEO
;EN EL PORTD

MOVWF    PORTD
INCF     FSR,W          ;SE INCREMENTA PARA QUE APUNTE AL PRIMER BYTE DE
;LA SIGUIENTE COLUMNA
MOVWF    PUNTEROZV     ;SE GUARDA EN EL PUNTERO DE LA ZONA DE VIDEO
SACAR_CONTAC
MOVLW   B'11100001'    ;SE ENMASCARA PARA LIMPIAR EL PUERTO DE CONTROL
;DE COLUMNAS

ANDWF    PORTA,F
RLF      CONTAC,W      ;SE REALIZA UNA ROTACION PARA SACAR EL DATO POR
;LOS PUERTOS PA1 A PA4

IORWF    PORTA,F
BCF      CONTROL_LAMP  ;SE HABILITA LA VISUALIZACION DE LAS COLUMNAS
;(RA5)

CONTROL_NUMERO

```

```

DECFSZ    CONTADOR1,F      ;SE CUENTAN 4s Y SE RECARGAN LOS CONTADORES CON
                                ; LA BASE DE TIEMPO NECESARIA

GOTO      SALIDA
MOVLW    .255
MOVWF    CONTADOR1
DECFSZ    CONTADOR2,F
GOTO      SALIDA
MOVLW    .240
MOVWF    CONTADOR2
DECFSZ    CONTADOR3,F
GOTO      SALIDA
MOVLW    .3
MOVWF    CONTADOR3
BTFSC    M                  ;SE PREGUNTA POR EL MODO
GOTO     MODO_PEATONAL

MODO_VEHICULAR
BTFSC    FV                  ;SE PREGUNTA POR LA BANDERA VEHICULAR
GOTO     SALIDA
MOVLW    .32                  ;SE CARGA EL CONTAB CON EL NUMERO DE BYTES DE
MOVWF    CONTAB              ;TODA LA LAMPARA
MOVLW    ZONAV              ;SE CARGA EL PUNTERO DEL DIRECCIONAMIENTO
MOVWF    FSR                 ;INDIRECTO EN LA POSICION DE INICIO
CLRF     INDF                ;SE LIMPIA EL INDF PARA CARGAR LA ZONA DE VIDEO
                                ;CON CEROS

INCF     FSR,F
DECFSZ    CONTAB,F
GOTO     $-3                  ;SE SALTA A BORRAR NUEVAMENTE EL INDF Y SE CARGA
                                ;EL SIGUIENTE BYTE CON CERO

BSF      FV                  ;SE PONE LA BANDERA VEHICULAR EN 1 PARA INDICAR
                                ;QUE LA ZONA DE VIDEO ES IGUAL A CERO

GOTO     SALIDA

MODO_PEATONAL
BCF      FV                  ;SE LIMPIA LA BANDERA VEHICULAR
DEC     NUMERO,F            ;SE DECREMENTA EL NUMERO A VISUALIZAR
MOVF    NUMERO,W
XORLW   .255
BTFSS   STATUS,Z
GOTO    MULTIPLICAR
MOVLW   .9
MOVWF   NUMERO

MULTIPLICAR
MOVF    NUMERO,W            ;SE MULTIPLICA EL NÚMERO POR 20 PARA UBICAR EL
MOVWF   NUMERO1           ;PUNTERO DE LA TABLA EN EL INICIO DEL NUMERO A
                                ;VISUALIZAR

INCF    NUMERO1,F
CLRF    PUNTEROT
DECFSZ  NUMERO1,F
GOTO    $+.2
GOTO    $+.4
MOVLW   .20
ADDWF   PUNTEROT,F
GOTO    $-.5

MOVLW   ZONAV              ;SE CARGAR EL PUNTERO DE DIRECCIONAMIENTO
MOVWF   FSR                 ;INDIRECTO EN LA POSICION DE INICIO
MOVLW   .6                  ;SE CARGAN LAS TRES PRIMERAS COLUMNAS DE LA
                                ;LAMPARA CON CERO

MOVWF   CONTAB
CLRF    INDF
INCF    FSR,F
DECFSZ  CONTAB,F

```

```

GOTO    $-3
MOVLW  .20                ;SE CARGA EL NUMERO DE BYTES DE UN NUMERO EN
                          ;CONTAB

MOVWF   CONTAB
MOVF    PUNTEROT,W        ;SE CARGA EN W LO QUE TIENE EL PUNTERO DE TABLA
PAGESEL CERO              ;SE PASA A LA PAGINA 1
CALL    CERO              ;SE LLAMA LA TABLA Y SE CARGA EL PRIMER BYTE
PAGESEL CONTROL_NUMERO   ;SE PASA NUEVAMENTE A LA PAGINA CERO Y SE GUARDA
                          ;EL DATO EN LA ZONA DE VIDEO
MOVWF   INDF              ;SE INCREMENTAN LOS PUNTEROS DE LA ZONA DE VIDEO
                          ;Y EL DE LA TABLA

INCF    FSR,F
INCF    PUNTEROT,F
DECFSZ  CONTAB
GOTO    $-10              ;SE REPITE EL PROCESO HASTA CARGAR LOS 20 BYTES
                          ;DEL NUMERO

MOVLW  .6                  ;SE CARGAN LAS TRES ULTIMAS COLUMNAS DE LA
                          ;LAMPARA CON CERO

MOVWF   CONTAB
CLRF    INDF
INCF    FSR,F
DECFSZ  CONTAB,F
GOTO    $-3

SALIDA
BCF     PIR1,TMR1IF       ;SE LIMPIA LA BANDERA DEL TIMER1
RETFIE

;*****
;INICIO DEL PROGRAMA PRINCIPAL
;*****
;CONFIGURACION DE LOS PUERTOS DIGITALES DE ENTRADA Y SALIDA
;-----
INICIO
BANKSEL TRISB            ;SE PASA AL BANCO 1 DE LA RAM
MOVLW  B'00000000'       ;SE CONFIGURA EL PUERTO B COMO SALIDAS
MOVWF  TRISB
MOVLW  B'00000000'       ;SE CONFIGURA EL PUERTO D COMO SALIDAS
MOVWF  TRISD
MOVLW  B'00000001'       ;SE CONFIGURA EL BIT 0 DEL PUERTO A COMO ENTRADA
MOVWF  TRISA

;-----
;CONFIGURACION DEL TMR1 COMO TEMPORIZADOR
;-----
BANKSEL T1CON
BCF     T1CON,T1CKPS0     ;SE SELECCIONA EL VALOR DEL PREDIVISOR
BCF     T1CON,T1CKPS1     ;SE SELECCIONA EL RELOJ DE ENTRADA
BCF     T1CON,T1OSCEN     ;SE HABILITA EL OSCILADOR DEL TMR1
BCF     T1CON,T1SYNC      ;SE ELIGE LA SINCRONIZACION DE LA ENTRADA DE RELOJ
                          ;COMO EXTERNA
BCF     T1CON,TMR1CS      ;SE ASIGNA EL RELOJ INTERNO AL TIMER
BSF     T1CON,TMR1ON      ;SE ACTIVA EL TMR1
BCF     PIR1,TMR1IF       ;SE LIMPIA LA BANDERA DEL TIMER1
BANKSEL PIE1
BSF     PIE1,TMR1IE       ;SE HABILITA LA INTERRUPCION AL DESBORDARSE EL TMR1
BSF     INTCON,PEIE       ;SE HABILITAN LAS INTERRUPCIONES PERIFERICAS
BSF     INTCON,GIE        ;SE HABILITAN LAS INTERRUPCIONES GLOBALES
BANKSEL TMR1L
MOVLW  B'10011100'       ;SE CARGAN LOS REGISTROS DEL TMR1 PARA OBTENER
MOVWF  TMR1L              ;EL TIEMPO DE 20µs
MOVLW  B'11111111'
MOVWF  TMR1H

```

```

MOV LW .1 ;SE CARGA LA BASE DE TIEMPO DE 4s A PUNTO DE FINALIZAR
MOV WF CONTADOR1
MOV WF CONTADOR2
MOV WF CONTADOR3
CLRF NUMERO ;SE BORRA INICIALMENTE EL ARCHIVO QUE CONTIENE EL
;NUMERO
MOV LW .255 ;SE CARGA EL CONTAC PARA QUE CUANDO ENTRE A LA
;RUTINA POR PRIMERA VEZ SE INCREMENTE Y QUEDE
MOV WF CONTAC ;APUNTANDO A LA COLUMNA CERO
MOV LW ZONAV ;SE CARGA EL PUNTERO DE LA ZONA DE VIDEO LA
;POSICION DE INICIO
MOV WF PUNTEROZV
MOV LW .2
MOV WF BFB1
MOV WF BFB

```

; CONFIGURACION DEL TMR0 COMO TEMPORIZADOR

```

BANKSEL OPTION_REG
BSF OPTION_REG,PS0
BSF OPTION_REG,PS1
BSF OPTION_REG,PS2
BCF OPTION_REG,PSA
BCF OPTION_REG,T0CS
BCF INTCON,TMR0IF ;SE LIMPIA LA BANDERA DEL TIMER
BSF INTCON,TMR0IE ;SE HABILITA LA INTERRUPTIÓN AL DESBORDARSE EL TMR0
BSF INTCON,PEIE ;SE HABILITAN LAS INTERRUPTIONES PERIFÉRICAS
BSF INTCON,GIE ;SE HABILITAN LAS INTERRUPTIONES GLOBALES
BANKSEL TMR0
CLRF TMR0
; CARGO LOS CONTADORES POR PRIMERA VEZ PARA LA RUTINA DE RETARDO

```

```

MOV LW .1 ;SE CARGA EL TEMPORIZADOR 0 A PUNTO DE DESBORDE
;PARA QUE HAGA LA PRIMERA CONVERSIÓN A/D
MOV WF CONTA1S ;SE CARGA EL NUMERO DE CONTEOS DE DESBORDAMIENTO
;PARA COMPLETAR 1s
MOV LW .1
MOV WF CONTA5S ;SE CARGA EL CONTADOR DE 5s, LUEGO DE ESTE TIEMPO SE
;REALIZA LA CONVERSIÓN A/D
MOV LW .255 ;EL TMR0 INICIA A PUNTO DE DESBORDARSE
MOV WF TMR0

```

; CONFIGURACION DE MODULO A/D

```

BANKSEL ADCON1
MOV LW B'10001110' ;SE HABILITA AN0 COMO CANAL ANÁLOGO
MOV WF ADCON1 ;SE ELIGEN +VREF Y -VREF COMO REFERENCIAS
BANKSEL ADCON0 ;SE CAMBIA AL BANCO 0 DE LA RAM
MOV LW B'10000001' ;SE HABILITA EL MODULO A/D Y PROGRAMA FOSC/32
MOV WF ADCON0
BCF PIR1,ADIF ;SE LIMPIA LA BANDERA DEL A/D
BANKSEL PIE1
BSF PIE1,ADIE ;SE HABILITA LA INTERRUPTIÓN DEL A/D
BSF INTCON,PEIE ;SE HABILITAN LAS INTERRUPTIONES PERIFÉRICAS
BSF INTCON,GIE ;SE HABILITAN LAS INTERRUPTIONES GLOBALES

```

; FIN DEL PROGRAMA

END

7. INTERFAZ DE COMUNICACIÓN BIDIRECCIONAL RS-485

Este sistema es el encargado de comunicar el control lógico programable (PLC), también conocido como autómata programable, con el sistema de control del semáforo a través de la interfaz de comunicación RS-485.

La interfaz de comunicación bidireccional está conformada por dos etapas que son: una etapa de análisis, diseño e implementación y la otra etapa comprende la ejecución del programa para la comunicación serial través del control de la USART del PIC 16F628A.

7.1 ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN



Figura 7.1 Interfaz de comunicación

Cada vez que una salida de 120VAC del autómata se pone, el circuito de conversión se encarga de transformarlo a niveles TTL, estos datos son recibidos por el microcontrolador donde son procesados (enmascarados, comparados y validados) para luego ser transmitidos

en forma secuencial asincrónica por medio de la USART, y luego a través del driver de comunicación estos datos son enviados al sistema de control del semáforo. Por otra parte el driver de comunicación recibe también en forma serial la palabra de emergencia procedente del sistema de control del semáforo, la enmascara, la valida y activa una salida para energizar un relé, por medio del cual se cierra un contacto que se conecta apropiadamente para llevar a la entrada del autómatas +24VDC.

Las partes que conforman la interfaz de comunicación se muestran en el siguiente diagrama de bloques.

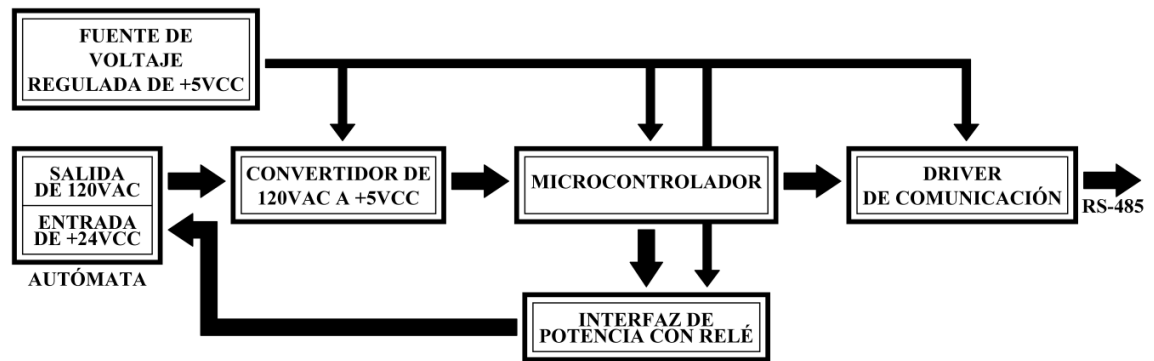


Figura 7.2 Diagrama de bloques de la interfaz de comunicación bidireccional RS-485

7.1.1 Fuente de voltaje regulada de +5VCC. Es una fuente construida con el regulador positivo 7805 de tres terminales de +5VCC y 1A. En la figura 7.5 se puede observar claramente la fuente regulada de +5VCC, en donde se tiene un puente de diodos que sirve para rectificar la onda AC, los condensadores C6, C7 y C8 sirven como filtros a las oscilaciones que puedan existir en las tensiones de entrada y de salida del 7805, ya que es un circuito de alimentación y no se desea que haya rizado en la señal regulada.

7.1.2 Convertidor de 120VAC a +5VCC. Es el circuito encargado de tomar los 120VAC procedentes del autómatas y convertirlos a niveles TTL. Por medio de un diodo, un condensador y la resistencia RN que forman un rectificador de media onda limitado, en donde se rectifica y se filtra la señal alterna de salida del autómatas y se convierte en una

señal de corriente continua. La función de RN es limitar la corriente de carga del condensador en los instantes más críticos, que son cuando este se encuentra totalmente descargado, evitando así un posible daño en el diodo DN (donde DN=R1-R5).

El cálculo de la resistencia RN (donde RN=R1=R4=R7=R10=R13) es el siguiente.

Dado que el voltaje pico es:

$$VP = VRMS\sqrt{2} \quad (7.1)$$

Usando la ecuación (7.1) y con VRMS=120VAC se tiene:

$$VP = 120V\sqrt{2} = 169,7V$$

El cálculo de RN obedece a la siguiente expresión extraída de la malla 1 (M1):

$$RN = \frac{VP - VDN}{ICMAX} \quad (7.2)$$

Con una corriente de carga ICMAX = 9,44mA, VDN = 0,7V y reemplazando en la ecuación (7.2) se encuentra que:

$$RN = \frac{169,7V - 0,7V}{9,44mA} = 17,90k\Omega \approx 18k\Omega$$

Después de obtener la corriente continua se calcula el valor de la resistencia RX (donde RX=R2=R5=R8=R12=R15) para poder encender el diodo LED que dispara el optoacoplador 4N33. El optoacoplador tiene la función de aislar la parte lógica del circuito de la etapa de potencia.

Conociendo de la hoja de datos los parámetros de polarización del LED para que se dispare el 4N33, que son: $V_F = 1,25V$ e I_F máxima = 50mA, puede calcularse la resistencia RX usando la siguiente expresión obtenida de la malla M2:

$$R_X = \frac{\bar{V} - V_F}{I_F} \quad (7.3)$$

Dado que el voltaje promedio es:

$$\bar{V} = V_P - \frac{1}{2}V_r \quad (7.4)$$

Y el voltaje de rizado esta dado por:

$$V_r = \frac{I_F}{fC} \quad (7.5)$$

Donde $I_F = 50mA$, $f = 60HZ$ y $C = 33\mu F$

$$V_r = \frac{50mA}{60Hz \times 33\mu F} = 25,25V$$

El voltaje promedio es:

$$\bar{V} = 169,7V - \frac{1}{2}25,25V = 157,07V$$

Por lo tanto el valor de RX obtenido de la ecuación (7.3) es [40]:

$$R_X = \frac{157,07V - 1,25V}{50mA} = 3,11k\Omega$$

En la salida del optoacoplador se uso una resistencia de *pull-up* con el objetivo de mantener un nivel alto en la entrada del microcontrolador cuando el optodarlington no esté conduciendo.

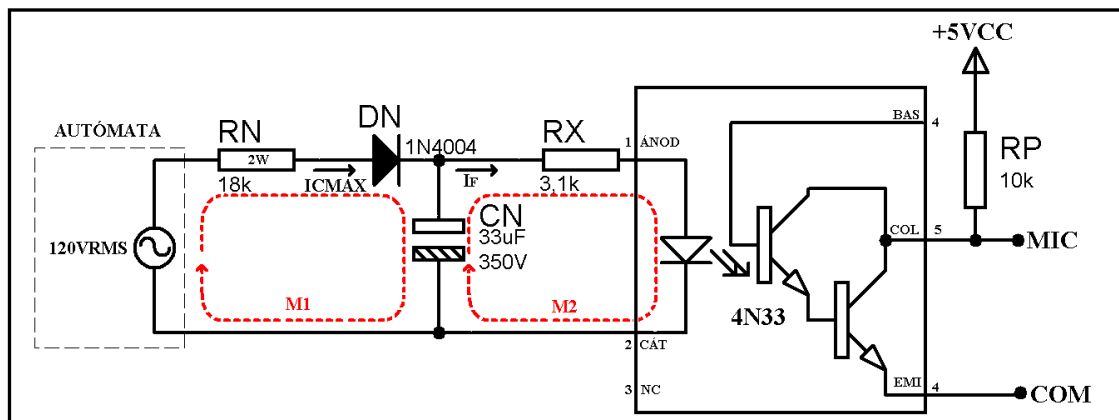


Figura 7.3. Convertidor de 120VAC a +5VCC

7.1.3 Microcontrolador. El microcontrolador 16F628A es el encargado de recibir los datos procedentes del convertidor de 120VAC a +5VCC, donde son enmascarados, comparados y validados para ser transmitidos en forma secuencial asincrónica a través de la USART. Por otra parte el microcontrolador recibe también en forma serial la palabra de emergencia procedente del driver de comunicación, la enmascara, la valida y pone una salida para activar la interfaz de potencia.

Las características más relevantes del microcontrolador 16F628A son:

- Posee un conjunto reducido de instrucciones (solamente 35 instrucciones).
- Oscilador interno de 4MHz.
- Las instrucciones se ejecutan en un sólo ciclo de máquina, excepto los saltos *GOTO* y *CALL*, que requieren 2 ciclos. Aquí hay que especificar que un ciclo de máquina se lleva 4 ciclos de reloj, si se utiliza el reloj interno de 4MHz, los ciclos de máquina se realizarán con una frecuencia de 1MHz, es decir que cada instrucción se ejecutará en 1µs.
- Opera con una frecuencia de reloj de hasta 20MHz (ciclo de máquina de 200ns).
- Memoria de programa de 2048 locaciones de 14 bits.
- Memoria de datos RAM de 224 bytes (8 bits por registro).
- Memoria EEPROM de 128 bytes (8 bits por registro).

- Pila de datos de 8 niveles.
- 16 Terminales de I/O que soportan corrientes de hasta 25mA.
- 3 Temporizadores.
- Módulos de comunicación serie, comparadores y PWM [42].

7.1.4 Driver de comunicación. Para lograr la comunicación con el sistema de control del semáforo se construyó un driver de comunicación bidireccional RS-485. Para su elaboración se usaron dos circuitos integrados SN75176, de los cuales, uno es para la recepción de datos y el otro es para la transmisión de datos. Su diseño se hizo en conformidad con la hoja de datos del fabricante.

7.1.5 Interfaz de potencia con relé. Está conformada por un circuito electromecánico que consta de un relé (de 5VDC y 1A) y un amplificador de corriente transistorizado, que al activarse cierra un contacto que lleva a la entrada del autómatas +24VDC. En la figura 7.4 se puede observar detalladamente la interfaz.

D6 se utiliza como diodo volante (*free-wheeling*), se conecta en paralelo con el relé y sirve como dispositivo de protección contra la inducción de corrientes inversas a través del transistor.

Los cálculos pertinentes a la interfaz de potencia son:

Conociendo la resistencia interna de la bobina que es de $125,9\Omega$, $V_{CE} = 0,2V$ y usando la ecuación (7.6) extraída de la malla M1, se tiene que:

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_{bobina}} \quad (7.6)$$

Por lo tanto:

$$I_C = \frac{+5V_{CC} - 0,2V}{125,9\Omega} = 38,12mA$$

Para el transistor Q1, la corriente base obedece a la siguiente expresión:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \quad (7.7)$$

Donde $I_C = 38,12\text{mA}$ y $\beta = 100$ para el transistor 2N3904.

$$I_B = \frac{38,12\text{mA}}{100} = 381,20\mu\text{A}$$

En la figura 7.4, de la malla de entrada M2 del transistor se obtiene:

$$R_{17} = \frac{V_{0H} - V_{BE}}{I_B} \quad (7.8)$$

Con $V_{0H} = +5\text{V}$ (voltaje que entrega el microcontrolador), $V_{BE} = +0,7\text{V}$ y reemplazando en la ecuación (7.8), se encuentra que:

$$R_{17} = \frac{+5\text{V} - 0,7\text{V}}{381,20\mu\text{A}} = 11,28\text{k}\Omega$$

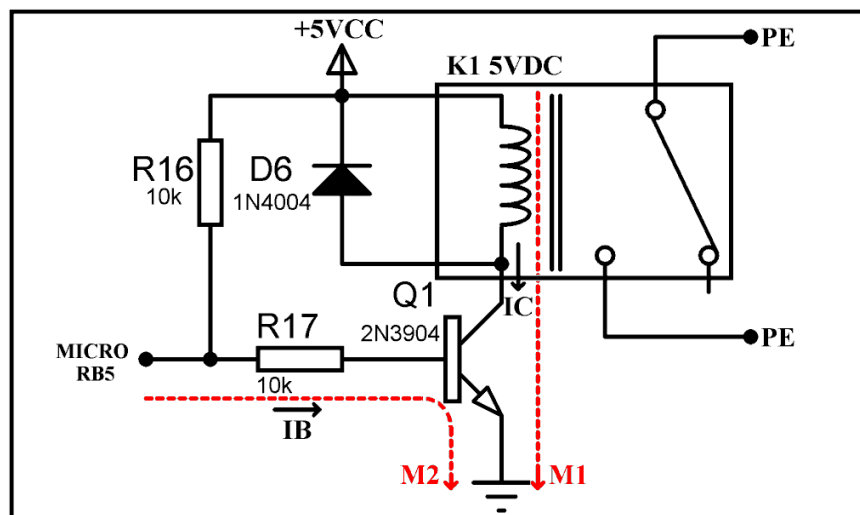


Figura 7.4. Interfaz de potencia con relé

El diagrama electrónico de la interfaz de comunicación bidireccional RS485 se muestra en la siguiente figura.

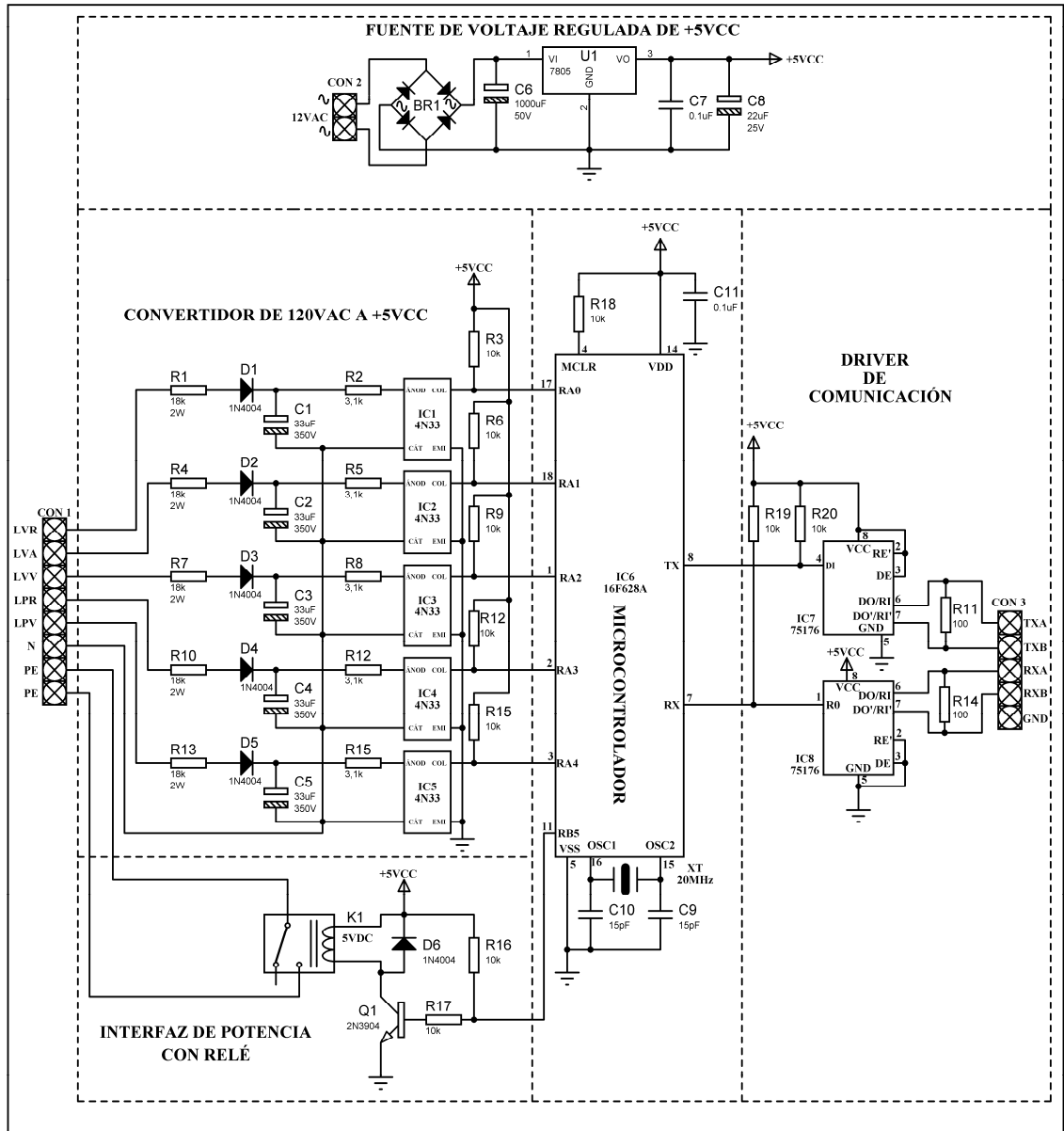


Figura 7.5. Circuito electrónico de la interfaz de comunicación bidireccional RS-485

El diseño del circuito impreso en *TraxMaker* de la interfaz de comunicación bidireccional RS-485 se puede ver en la siguiente figura.

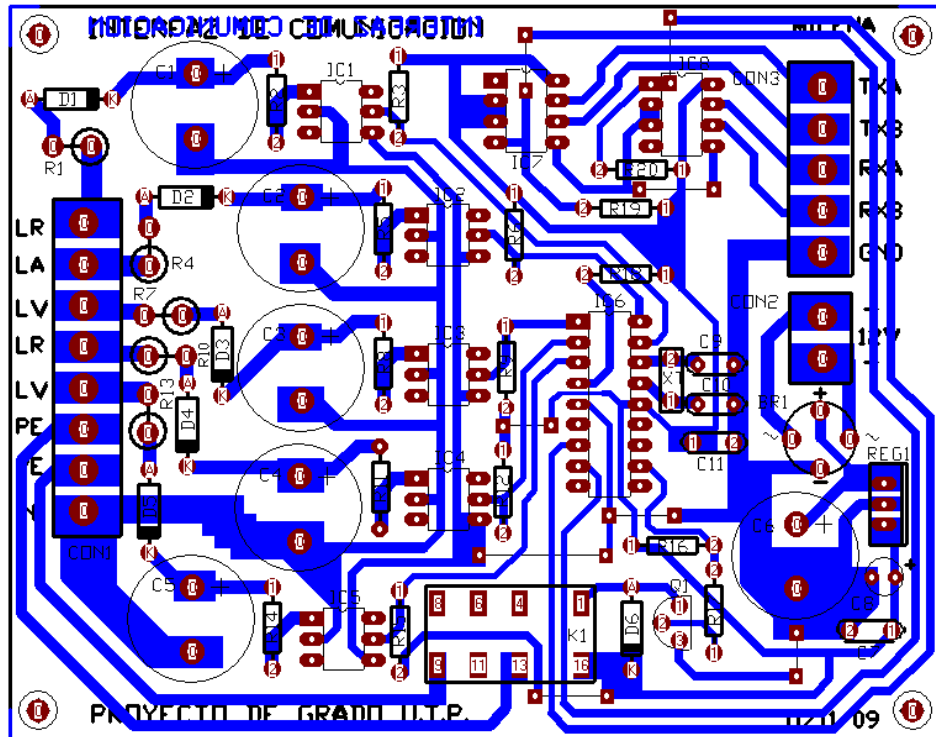


Figura 7.6. Diseño del circuito impreso en *TraxMaker* de la interfaz de comunicación bidireccional RS-485

7.2 INTERFAZ DE COMUNICACIÓN SERIAL USANDO EL 16F628A

Este programa se encarga de leer las señales procedentes del autómata y además de leer el código binario de la palabra de emergencia (PE) procedente del pulsador de emergencia. Esto se realiza a través del control de la USART del PIC 16F628A.

Cada vez que se reciben las señales procedentes del autómata estas son guardadas en el *buffer* de control y enviadas tan solo una vez por medio de un código a través de la línea de transmisión (TX), el programa está en constante lectura de las señales del autómata, ya que si se presenta cualquier cambio en estas, se transmite inmediatamente, adicionalmente en

cualquier momento puede detectarse la recepción (RX) de comunicación por interrupción que lee la palabra de emergencia procedente de la comunicación serial.

Una vez que se recibe el dato procedente de la comunicación serial el programa se encarga de comparar la palabra de emergencia con el dato recibido, en caso de que sea iguales se saca al puerto una señal que tendrá una duración de 2 segundos, después de pasado este tiempo se borra la salida del puerto hasta que nuevamente sea detectada la palabra de emergencia.

A continuación se muestra el algoritmo que ejecuta esta rutina compuesto por un programa principal y dos rutinas, una de recepción y otra de temporización, ambas habilitadas por interrupciones, el programa principal se muestra en el diagrama de flujo siguiente:

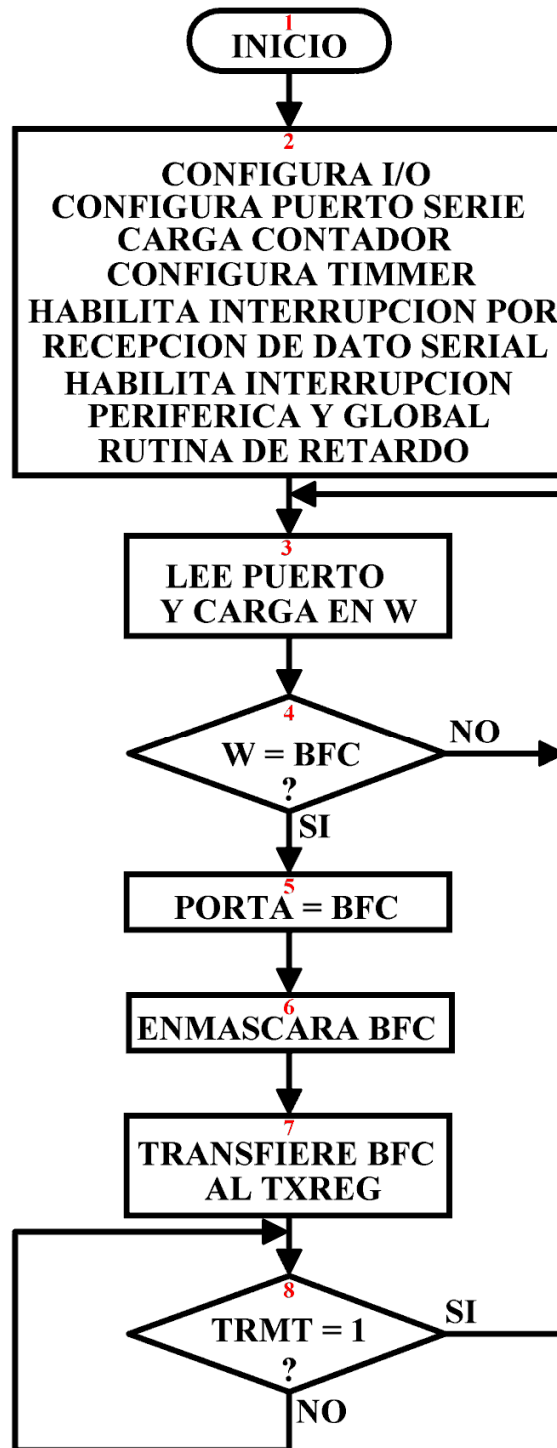


Figura 7.7. Diagrama de flujo de la interfaz de comunicación serial

Bloque 1: Aquí se realiza la definición del PIC, del sistema numérico, de sus etiquetas y constantes, se define la palabra de configuración del microcontrolador, los registros, constantes y etiquetas del usuario, las asignaciones, se hace la definición del origen para el ensamblaje del programa (vector de *reset*), la configuración de los puertos digitales de entrada y salida, además de la entrada de comunicación serial RX por el puerto RC7/RX/DT y la salida de comunicación serial TX por el puerto RC6/TX/CK.

Bloque 2: Se configura el puerto serie del microcontrolador por medio de los diferentes registros que interviene en la comunicación serial como lo son: el TXSTA, el RCSTA y el SPRBG, con los cuales se selecciona la transmisión a 8 bits, se habilita el modo asíncrono, se habilita el modo de recepción continua, se elige la transmisión a baja velocidad y además se controla la velocidad interna para la USART que corresponde a 19200 baudios. También se configura el TIMER0 donde se habilita el ciclo de reloj, el preescalado de 1:256, se carga el contador de 2s y además se habilita la interrupción periférica, global y de recepción a través de los registros PIE1 e INTCON.

Por otra parte se ejecuta la rutina de retardo de 117ms, tal retardo se logra cargando registros con un determinado valor, que posteriormente se decrementa y que constantemente se consulta para identificar el momento en que lleguen a cero. Dependiendo del resultado de la consulta, el programa puede seguir decrementando ó dirigirse a la lectura del puerto. Este retardo se realiza para que el programa de la comunicación serial pueda estar en sincronía con el programa de la interfaz de comunicación, ya que el primero posee más instrucciones para realizar y de este forma se evitan que se reciban datos erróneos.

Bloques 3 a 5: Se leen las señales procedentes del autómata a través del puerto A, esta lectura es comparada con el dato que se encuentre en el *buffer* de control, en el caso de que la comparación sea igual continua consultando el estado del puerto, si la comparación es distinta, se leen nuevamente las entradas del puerto A y se pasan al *buffer* de control.

Bloque 6: El *buffer* de control se enmascara con una constante con el fin de dejar solamente los 5 estados binarios que indican las condiciones de encendido y apagado de los semáforos peatonal y vehicular de la intersección para que el dato pueda ser pasado al registro de transmisión (TXREG).

Bloques 7 a 8: Estos bloques se encargan de consultar si el dato del registro TXREG ha cambiado, en caso de que haya existido un cambio, se consulta la disponibilidad de la USART y además se verifica si el estado del registro de desplazamiento de transmisión está vacío para poder enviar el dato a través de la interfaz de comunicación RS485, una vez enviado el dato, se retorna nuevamente a leer las entradas del puerto.

7.2.1 Subrutina de comunicación de recepción. Esta es la rutina de atención a la interrupción que se ejecuta cuando se detecta la llegada de un dato por el canal de comunicación serial. El diagrama de flujo de la rutina de comunicación de recepción se muestra a continuación.



Figura 7.8. Diagrama de flujo de la subrutina de comunicación de recepción

Bloques 1 a 6: Después de evaluar (en el vector 04h de la memoria) la solicitud de interrupción de recepción serial, la interrupción es atendida y el dato es recibido a través del registro RCREG, y el programa se encarga de comparar la palabra de emergencia con el dato que se recibió a través de la comunicación serial, en caso de que sea iguales se pone en el puerto la salida de emergencia (SE) y además se habilita el TIMMERO, si no son iguales se debe retornar a donde se genera la interrupción.

7.2.2 Subrutina de temporización. Esta es la rutina de atención a la interrupción del TIMER0 que se ejecuta cuando se detecta la palabra de emergencia y que permite determinar el tiempo que debe estar activa la salida SE.

Bloques 1 a 8: Una vez detectada la palabra de emergencia se decrementa en uno los registros que ha sido cargados con los valores necesarios para contabilizar un tiempo igual a 2 segundos. En el caso de que los registros después del decremento lleguen a cero, se borra la salida de emergencia y se cargan nuevamente los registros del contador, y además, se habilita la recepción continua, se deshabilita el TIMER0 y se borra la bandera del mismo, con el fin de que esté disponible en el caso tal de que se vuelva a realizar la solicitud de emergencia; por último se retorna a donde se realizó la interrupción. En caso de que los registros del contador no lleguen a cero luego del decremento se retorna al lugar donde se generó la interrupción. El diagrama de flujo de la rutina de temporización se muestra en la figura 7.9 [40].

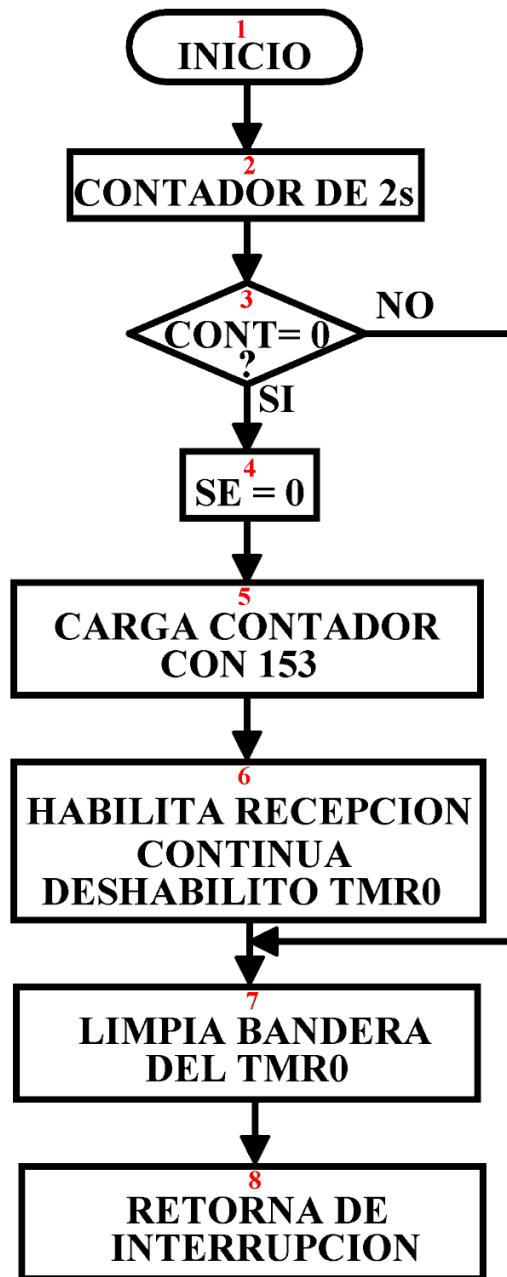


Figura 7.9. Diagrama de flujo de la subrutina de temporización

A continuación se muestran el programa principal y las rutinas de recepción y temporización.

```

;*****
;
; NOMBRE DEL PROGRAMA: COMUAUTO.ASM
; AUTOR: MILENA RAMIREZ, ISABEL QUEJADA Y WILSON PARRA
; FECHA: OCT-13-2009
; VERSION: 1.0
;*****
; COMUNICACION USART
;*****
; DEFINICION DEL PIC, DEL SISTEMA NUMERICO, DE SUS ETIQUETAS Y DE SUS CONSTANTES
;*****
;
; #INCLUDE <P16F628A.INC>
; ERRORLEVEL -301,-302,-306
;*****
; DEFINICION DE LA PALABRA DE CONFIGURACION
;*****
;
; _CONFIG H'1F22'
;*****
; DEFINICION DE REGISTROS, CONSTANTES Y ETIQUETAS DEL USUARIO Y ASIGNACIONES
;*****
;
; CBLOCK H'21' ;REGISTRO DE INICIO
; BFC ;BUFFER DE CONTROL
; BE ;BUFFER DE EMERGENCIA
; CONTADOR2S ;CONTADOR DE DOS SEGUNDO
; REG1 ;CONTADOR PARA 78.542mS
; REG2 ;CONTADOR PARA 39.27mS
; REG3 ;CONTADOR PARA 153uS
; REGSELEC ;REGISTRO SELECTOR DE PAGINA
; ENDC
;*****
; DEFINICION DEL ORIGEN PARA EL ENSAMBLAJE DEL PROGRAMA (VECTOR DE RESET)
;*****
;
; ORG H'0'
; GOTO INICIO
;*****
; DEFINICION DEL ORIGEN PARA EL VECTOR DE INTERRUPCION
;*****
;
; ORG H'4'
; MOVF STATUS,W
; BANKSEL REGSELEC
; MOVWF REGSELEC
; BTFSC INTCON,T0IF ;PREGUNTA POR BANDERA DE INTERRUPCION DEL TIMMER
; GOTO TEMP ;VA A SUBROUTINA DE TEMPORIZACION
; BTFSS PIR1,RCIF ;PREGUNTA POR BANDERA DE INTERRUPCION DE RECEPCION DE LA
; ;USART
;
; NOP
; GOTO CMR ;VA A SUBROUTINA DE RECEPCION
;*****
; SUBROUTINA DE COMUNICACION DE RECEPCIÓN: LEE PALABRA DE EMERGENCIA Y LA VISUALIZA
;*****
;
; CMR
; BANKSEL RCREG
; MOVF RCREG,W ;CARGA LO QUE ESTA EN EL REGISTRO RCREG
;
; COMPARA
;
; XORLW B'01000101' ;COMPARA UNA CONSTANTE CON LO QUE HAY EN EL REGISTRO W
; BTFSS STATUS,Z
; GOTO SALE
;
; VISUALIZAR SALIDA

```

```

BSF      PORTB,5
BSF      INTCON,T0IE ;HABILITA EL TMR0
BCF      INTCON,T0IF ;LIMPIA BANDERA DEL TMR0
BANKSEL  RCSTA
BCF      RCSTA,CREN ;DESHABILITA RECEPCION CONTINUA
SALIR
BANKSEL  REGSELEC
MOVF     REGSELEC,W
MOVWF   STATUS ;PREGUNTA SI EL BIT 2 DEL REGISTRO STATUS ESTA EN 1
RETFIE  ;RETORNA A DONDE SE GENERO LA INTERRUPCION
;*****
;SUBROUTINA DE TEMPORIZACION:TEMPORIZACION DE DOS SEGUNDOS
;*****
TEMP
DECFSZ  CONTADOR2S
GOTO    SALIR
BCF     PORTB,5
BANKSEL CONTADOR2S
MOVLW  .153
MOVWF  CONTADOR1S
BCF    INTCON,T0IF
BANKSEL RCSTA
BSF    RCSTA,CREN
BCF    INTCON,T0IE
SALIR
BCF    INTCON,T0IF
BANKSEL REGSELEC
MOVF   REGSELEC,W
MOVWF  STATUS
RETFIE
;*****
;INICIO DEL PROGRAMA PRINCIPAL
;*****
INICIO

;CONFIGURACION DE ENNTRADAS Y SALIDAS DIGITALES

BANKSEL  TRISB
MOVLW   B'00000010' ;RB1/RX ENTRADA, RB0 SALIDA DE SOLICITUD DE
;EMERGENCIA, RB5 SALIDA DE EMERGENCIA RB2/TX SALIDA

MOVWF   TRISB
MOVLW   B'00011111' ;CONFIGURA ENTRADAS (LVR, LVA, LVV, LPR Y LPV)
MOVWF   TRISA
BANKSEL CMCON
BSF     CMCON,CM0
BSF     CMCON,CM1
BSF     CMCON,CM2
BANKSEL OPTION_REG
BCF     OPTION_REG,T0CS

;CONFIGURACION DE PUERTO SERIE

BCF     TXSTA,TX9 ;SELECCIONA TRANSMISIÓN A 8 BITS
BSF     TXSTA,TXEN ;TRANSMISIÓN ACTIVADA
BCF     TXSTA,SYNC ;MODO ASÍNCRONO
BSF     TXSTA,BRGH ;BAJA VELOCIDAD
MOVLW  .64 ;CARGA A W CON 19200 BAUDIOS
MOVWF  SPBRG ;CONFIGURA REGISTRO SPBRG
BANKSEL RCSTA

```

```

BSF      RCSTA,SPEN      ;PUERTO SERIE HABILITADO
BCF      RCSTA,RX9      ;SELECCIÓN DE RECEPCIÓN DE 8 BITS
BSF      RCSTA,CREN      ;HABILITA MODO DE RECEPCIÓN CONTINUA
BANKSEL  PORTB          ;SE UBICA EN EL BANCO DONDE ESTA EL PUERTO B
BCF      PORTB,5        ;PONE EN CERO EL BIT 5 DEL PUERTO B

```

;CARGA CONTADOR

```

BANKSEL  CONTADOR1S
MOVLW   .153
MOVWF   CONTADOR1S

```

;CONFIGURA TIMMER

```

BANKSEL  TRISA
BSF      INTCON,PEIE      ;HABILITA INTERRUPCIONES PERIFERICAS
BCF      OPTION_REG,T0CS  ;HABILITA EL CICLO DE RELOJ INTERNO
BSF      OPTION_REG,T0SE  ;HABILITA INCREMENTO DE TRANSICION DE BAJO A ALTO
BCF      OPTION_REG,PSA   ;HABILITA EL PREESCALADO EN EL TIMMER0
BSF      OPTION_REG,PS2   ;PS1,PS1 Y PS2 TODOS PUESTOS EN UNO PARA EL
                                ;PREESCALADO 1:256

BSF      OPTION_REG,PS1
BSF      OPTION_REG,PS0

```

;HABILITA INTERRUPCIÓN PERIFERICA, GLOBAL Y DE RECEPCION SERIE DE LA USART

```

BANKSEL  PIE1
BSF      PIE1,RCIE        ;HABILITA INTERRUPCIÓN EN RECEPCIÓN
BSF      INTCON,GIE       ;HABILITA INTERRUPCION GLOBAL
BSF      INTCON,PEIE      ;HABILITA INTERRUPCION PERIFERICA

```

;RETARDO

```

BANKSEL  REG1
MOVLW   .2
MOVWF   REG1
TRES
MOVLW   .255
MOVWF   REG2
DOS
MOVLW   .255
MOVWF   REG3
UNO
DECFSZ  REG3,F
GOTO    UNO
DECFSZ  REG2,F
GOTO    DOS
DECFSZ  REG1,F
GOTO    TRES

```

;LEE LAS ENTRADAS Y HAGO UNA MASCARA CON UNA CONSTANTE

```

COMP1
BANKSEL  PORTA
MOVF    PORTA,W
XORWF   BFC,W
BTFSC   STATUS,Z
GOTO    COMP1
MOVF    PORTA,W
MOVWF   BFC

```



```

MOVW    B'00011111'    ;CARGA W CON UNA CONSTANTE QUE INDICA LAS LAMPARAS
                        ; PEATONALES Y VEHICULARES
ANDWF   BFC,W          ;ENMASCARA, REALIZANDO UNA AND ENTRE W Y EL BUFFER DE
                        ;CONTROL
MOVWF   TXREG          ;LO QUE ESTA EN W SE LO PASO AL REGISTRO TXREG

;BUFFER DE TRANSMISION DISPONIBLE

        BANKSEL    PIR1
T1      BTFSS      PIR1,TXIF    ;SE PREGUNTA SI EL REGISTRO TXREG ESTA DISPONIBLE
        GOTO      T1
        BANKSEL    TXSTA
TRMT1   BTFSS      TXSTA,TRMT   ;SE PREGUNTA SI EL BIT DE ESTADO DEL REGISTRO DE
                        ;DEZPLAZAMIENTO DE TRANSMISION ESTA VACIO
        GOTO      TRMT1
        GOTO      COMP1
;*****
;FIN DEL PROGRAMA
;*****
                END
;*****

```

8. PROGRAMA EN AUTÓMATAS LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC) PARA EL CONTROL DE LA SECUENCIA DE ENCENDIDO DEL SEMÁFORO

Este programa se realizó con el software del autómata programable SIMATIC S7 de Siemens, que se encarga de controlar la secuencia de encendido y además de atender dos señales externas: la del medidor de tráfico vehicular y la señal de radio control de emergencia (RCE).

A continuación se muestra y se explica el diagrama de tiempos de un ciclo completo de encendido de las luces del semáforo en los modos vehicular y peatonal, en operación normal y teniendo en cuenta las señales externas.

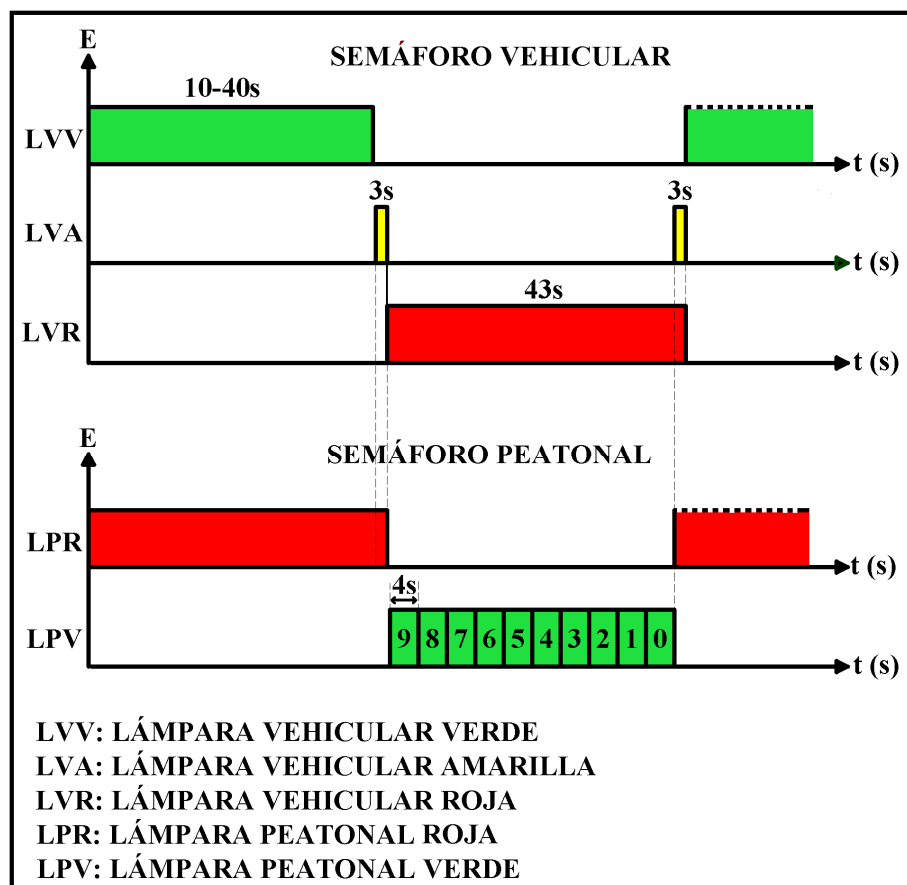


Figura 8.1 Diagrama de tiempos del encendido de las luces del semáforo

El algoritmo que se implemento para el control del semáforo en el PLC se describe a continuación:

Inicialmente está encendida la lámpara vehicular verde al igual que la lámpara peatonal roja con un tiempo que puede variar entre 10 y 40s para la primera, y entre 13 y 43s para la segunda, cuyo tiempo esta determinado por la cantidad de vehículos que sean contados por medio del medidor de tráfico vehicular durante un ciclo completo de encendido del semáforo, una vez se termina dicho tiempo, se enciende la lámpara amarilla durante 3s, después de apagarse la lámpara amarilla, se enciende la lámpara roja vehicular al igual que la lámpara verde peatonal durante un tiempo de 43s para la primera y 40s para la segunda, por último, la lámpara amarilla se vuelve a encender durante los 3s finales de encendido de la lámpara roja vehicular, y el ciclo se repite indefinidamente.

Durante los 40s que dura el encendido de la lámpara peatonal verde se muestra números en conteo descendente del 9 al 0, que indica la evolución del tiempo para el cruce permitido de los peatones, donde cada uno de estos números se muestra durante 4 segundos.

Por otra parte se considera la señal de RCE que puede llegar a alterar la secuencia normal del semáforo así:

- Si el semáforo se encuentra en rojo vehicular y se hace la solicitud de emergencia a través de la entrada RCE, este inmediatamente debe pasar a la lámpara amarilla y seguir su secuencia normal.

- Si el semáforo se encuentra en verde vehicular y se hace la solicitud de emergencia a través de la entrada RCE, se debe incrementar el tiempo de exposición de esta lámpara en 10s, y pasado este tiempo continuar con su secuencia normal.

A continuación se muestra la programación estructurada en la cual se utilizan módulos de código que contiene la lógica para controlar el ciclo de encendido, en donde el bloque de

función FB1 y las funciones FC2 y FC3 que desarrollan las operaciones del proceso son llamados del bloque de organización OB, por otra parte, se encuentra la base de datos DB2 en donde se registran los tiempos de carga asociados con el contador y la programación de las funciones FC4 y FC5.

8.1 FB1 (GRAFCET)

En el GRAFCET se programa la secuencia de activación del semáforo peatonal y del vehicular teniendo en cuenta el tiempo de encendido de cada lámpara, además se considera el cambio que puede afectar la secuencia normal por causa de la señal de RCE. Adicionalmente se hace el llamado de la función FC4 en donde se encuentra la base de datos de las posiciones de memoria con las cuales se deben cargar los temporizadores, por otra parte, se hace el llamado a la función FC5 en donde se realiza el *reset* del contador (se pone a cero), los llamados del FC4 y FC5 se hacen justo antes de que se active el estado de encendido de la lámpara verde que es donde se realizan las respectivas actualizaciones.

A continuación se muestra el GRAFCET que resuelve el algoritmo aquí descrito y se explican cada uno de los estados que lo compone:

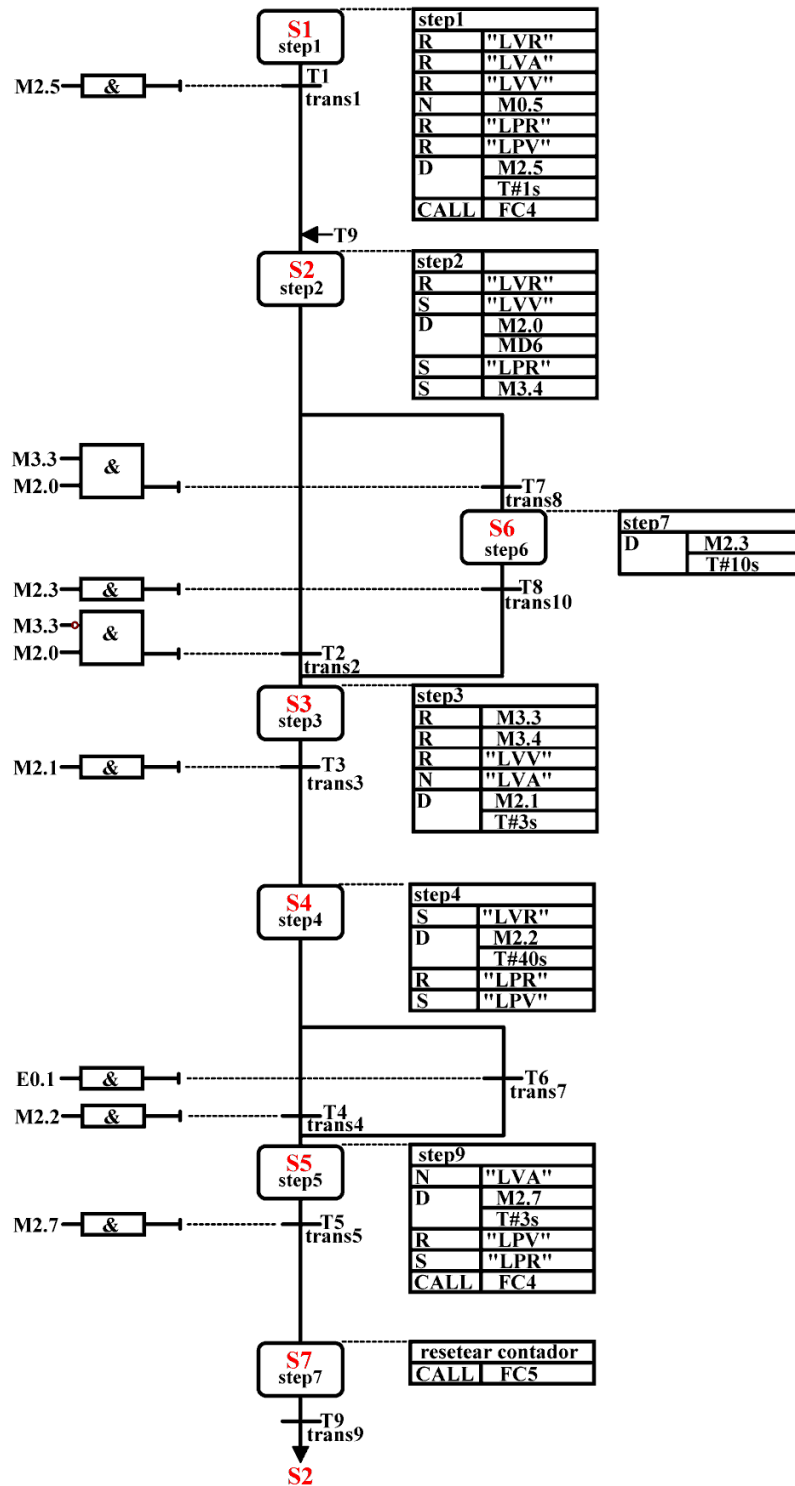


Figura 8.2. GRAFCET de la secuencia del semáforo

Estado 1 (S1): Esta es la etapa de inicialización, en este estado se hace el *reset* (R) ó borrado de todas las salidas referentes a las lámparas del semáforo vehicular y peatonal, las cuales están asociadas a unas memorias (ver tabla 8.1), esto con el objetivo de que al iniciar la secuencia del semáforo las lámparas enciendan de manera coordinada, también se activa la memoria de inicio del contador de vehículos a través de la acción de control “N” que indica que esta acción se debe ejecutar sólo en esta etapa, por otra parte, se realiza el llamado a la función FC4 en donde se hace la asignación de los tiempos para cada rango del contador. Para poder evolucionar a la siguiente etapa es necesario que haya transcurrido el tiempo prefijado para la inicialización que es de 1s.

Tabla 8.1 Salidas asociadas a las lámparas del semáforo

Asignaciones	Salida
LVR	A4.5
LVA	A4.6
LVV	A4.7
LPR	A4.3
LPV	A4.4

LPV: Lámpara Peatonal Verde

LPR: Lámpara Peatonal Roja

LVV: Lámpara Vehicular Verde

LVA: Lámpara Vehicular Amarilla

LVR: Lámpara Vehicular Roja

Estado 2 (S2): Obedeciendo a la cadena secuencial que se muestra en la figura 8.1, se deben activar las salidas “LVV”, “LPR” y la memoria M3.4, además se debe garantizar que la salida “LVR” se encuentre desactivada. Por otra parte se hace el llamado de la palabra doble de memoria MD6 en donde se cargan los tiempos asociados a cada rango de conteo de vehículos.

En caso de que se presente la entrada de emergencia RCE, se provoca la transición T7, que se realiza con la operación lógica AND entre las memorias M3.3 y M2.0, y ocasiona un salto en el programa al estado S6, y como es lógico, mientras no esté la memoria M3.3 se debe continuar con la programación del estado S3.

Para activar la memoria M3.3 es necesario que exista la memoria M3.4 y además la señal de RCE ya que la última es momentánea y no queda memorizada, por lo tanto no se ejecuta el incremento de 10s durante la activación de la salida “LVV”.

Estado 3 (S3): Durante esta etapa se activa la salida “LVA” y se carga un tiempo de 3s a través de la instrucción (D), además se pone en *reset* las memorias M3.3, M3.4 y la salida “LVV”.

Estado 4 (S4): Se avanza a este estado siempre y cuando exista la transición “T3” que ocurre cuando haya transcurrido el tiempo prefijado para la salida “LVA” que es de 3s y es asignado a la memoria M2.1. En el estado S4 se pone la salida “LVR” y “LPV” con un tiempo de carga de 40s y se pone en *reset* las salida “LPR”.

Bajo condiciones normales la transición que habilita el estado S5 es la memoria M2.2 asociada al tiempo de la salida “LVR”, pero en caso de que se presente la entrada de emergencia RCE el programa inmediatamente debe saltar al estado S5.

Estado 5 (S5): Aquí se pone la salida “LVA” a través de la acción de control “N” para indicar que esta salida sólo debe estar activa durante esta etapa, adicionalmente se le asigna un tiempo de exposición de 3s. Mientras esté presente el estado S5 se pone la salida “LPR” y se le hace *reset* en la salida “LPV”.

En esta etapa, adicionalmente se realiza el llamado de la función FC4 que es en donde se encuentra la base de datos que contiene las posiciones de memoria que hacen referencia a

los valores con los cuales se deben cargar los temporizadores para el encendido de la salida “LVV”.

Estado 6 (S6): La ejecución de este estado depende de que exista la transición T7 (ver figura 8.2), una vez activa esta etapa se carga un tiempo de 10s que indica el incremento del tiempo de encendido de la lámpara verde. Al finalizar este tiempo es activada la transición T8 dando paso al siguiente estado que corresponde a S3.

Estado 7 (S7): Una vez esta activa la transición T5 se habilita el estado S7 el cual involucra el llamado del bloque de función FC5, en donde se hace *reset* al contador justo antes de saltar al estado S2 que es donde nuevamente se inicia el conteo.

8.2 FC2 (PROGRAMACIÓN DEL CONTADOR)

Esta función se encarga de contar el número de veces que pasa un vehículo por la vía por medio del medidor de tráfico vehicular, que se conecta al modulo de entrada del autómata usando el relé que tiene el medidor en su salida. Una vez realizado el conteo (N) el programa se encarga de asignarle unas memorias de acuerdo a unos valores prefijados que se muestran en la tabla 8.2.

Tabla 8.2 Conteos y memorias asociadas

Conteo	Memorias
$N \leq 5$	M0.6
$N > 5$	M0.7
$N \leq 10$	M1.0
$N > 10$	M1.1
$N \leq 15$	M1.2
$N > 15$	M1.3

Inicialmente deben estar activa la memoria de inicio del programa M2.5 y la memoria de inicio del contador M0.5 para que comience a operar el contador, que en este caso es incremental y cuyo conteo comienza a partir de cero.

A continuación se muestra el programa del contador en lenguaje de instrucciones.

```

U  "M2.5"           //MEMORIA DE INICIALIZACION
U  M  0.5           //MEMORIA DE INICIO DEL CONTADOR
L  C#0              //INICIA EN CERO EL CONTADOR
S  Z  1             //CONTADOR 1

U  E  2.3           //ENTRADA DE INCREMENTO DEL CONTADOR
ZV Z  1             //ACTIVA EL CONTADOR ASCENDENTE

L  Z  1             //CARGA EN EL ACUMULADOR 1
L  5                //CARGA LA CONSTANTE 5
<=I                 //COMPARA EL ACUMULADOR CON LA CONSTANTE
=  M  0.6           //ACTIVA LA MEMORIA M0.6

L  Z  1             //CARGA LA CONSTANTE 5
L  5                //CARGA LA CONSTANTE 5
>I                  //CARGA LA CONSTANTE 5
=  M  0.7           //ACTIVA LA MEMORIA M0.7

L  Z  1             //CARGA LA CONSTANTE 10
L  10               //CARGA LA CONSTANTE 10
<=I                 //COMPARA EL ACUMULADOR CON LA CONSTANTE
=  M  1.0           //ACTIVA LA MEMORIA M1.0

L  Z  1             //CARGA LA CONSTANTE 10
L  10               //CARGA LA CONSTANTE 10
>I                  //CARGA LA CONSTANTE 10
=  M  1.1           //ACTIVA LA MEMORIA M1.1

L  Z  1             //CARGA LA CONSTANTE 15
L  15               //CARGA LA CONSTANTE 15
<=I                 //COMPARA EL ACUMULADOR CON LA CONSTANTE
=  M  1.2           //ACTIVA LA MEMORIA M1.2

L  Z  1             //CARGA LA CONSTANTE 15
L  15               //CARGA LA CONSTANTE 15
>I                  //CARGA LA CONSTANTE 15
=  M  1.3           //ACTIVA LA MEMORIA M1.3

```

8.3 FC3 (ENMASCARAMIENTO DE DATOS Y ACTIVACIÓN DE MEMORIAS)

En esta función se lee la palabra de memoria MW0, se enmascara con una constante que contiene los 6 estados binarios que indican las memorias de activación del contador y este resultado es transferido a la palabra de memoria MW4, una vez obtenido el dato limpio, el programa lo compara con las constantes que contiene los bits que están asociados a cada rango y que se muestran en la tabla 8.3, para cada caso si la comparación se cumple se activa una memoria asociada a dicho rango, como se ve en la tabla 8.4.

Tabla 8.3 Rangos de vehículos y memorias de activación del contador

Rangos	Memorias de activación
0-5	M0.6, M1.2 y M1.0
6-10	M0.7, M1.2 y M1.0
11-15	M0.7, M1.1 y M1.2
15 en adelante	M0.7, M1.1 y M1.3

Tabla 8.4 Rangos de conteo de vehículos y memorias asociadas

Rangos	Memoria asociada
0-5	M1.4
6-10	M1.5
11-15	M1.6
15 en adelante	M1.7

A continuación se muestra el programa del FC3 en lenguaje de instrucciones.

```

L MW 0 //CARGA LA PALABRA DE MEMORIA MWO
L 2#1100000000001111 //CARGA CONSTANTE
UW //REALIZA LA OPERACION AND ENTRE EL ACUMULADOR 1 Y 2
T MW 4 //SE TRANSIERE A UNA MEMORIA DE PALABRA

L MW 4 //CARGA LA PALABRA DE MEMORIA MW4
L 2#100000000000101 //CARGAR EL VALOR A COMPARAR (RANGO)
==I //COMPARA
= M 1.4 //ACTIVA LA MEMORIA DEL RANGO DE 0-5

L MW 4
L 2#1000000000000101
==I
= M 1.5 //ACTIVA LA MEMORIA DEL RANGO DE 6-10

L MW 4
L 2#1000000000000110
==I
= M 1.6 //ACTIVA LA MEMORIA DEL RANGO DE 11-15

L MW 4
L 2#1000000000001010
==I
= M 1.7 //ACTIVA LA MEMORIA DEL RANGO DE 15 EN ADELANTE
BE
    
```

8.4 FC4 (CARGAR LOS TEMPORIZADORES)

Esta función se encarga de asignar la base de datos asociada con las posiciones de memoria con las cuales se deben cargar los temporizadores. La activación de cualquier memoria

consignada en la tabla 8.4 significa que el RLO (bit de resultado lógico) se encuentra en 1 y esto provoca a través de la instrucción SPB xn que se interrumpa la ejecución lineal del programa y se salte a la meta que se haya indicado, que en este caso corresponde a la carga en el acumulador 1, del dato almacenado en la doble palabra de la base de datos con su respectiva dirección de memoria que contiene los tiempos con los cuales se determina el tiempo de encendido de la salida “LVV”, y por último se le transfiere a la palabra doble de memoria MD6.

A continuación se muestra el programa del temporizador en lenguaje de instrucciones.

```

U M 1.4 //CONSULTA SI LA MEMORIA M1.4 ESTA ACTIVA
SPB x1 //SALTAR A x1 SI EL RLO = 1
U M 1.5 //CONSULTA SI LA MEMORIA M1.5 ESTA ACTIVA
SPB x2 //SALTAR A x2 SI EL RLO = 1
U M 1.6 //CONSULTA SI LA MEMORIA M1.6 ESTA ACTIVA
SPB x3 //SALTAR A x3 SI EL RLO = 1
U M 1.7 //CONSULTA SI LA MEMORIA M1.7 ESTA ACTIVA
SPB x4 //SALTAR A x4 SI EL RLO = 1
NOP 0
BEA //FIN DEL BLOQUE INCONDICIONADO

x1: L DB2.DBD 2 //CARGA LA BASE DE DATOS CON LA DOBLE PALABRA DE
//DATOS DBD2
T MD 6 //LO TRANSFIERE A LA PALABRA DE DOBLE MEMORIA MD6
BE //FIN DEL BLOQUE

x2: L DB2.DBD 6 //CARGA LA BASE DE DATOS CON LA DOBLE PALABRA DE
//DATOS DBD6
T MD 6 //LO TRANSFIERE A LA PALABRA DE DOBLE MEMORIA MD6
BE //FIN DEL BLOQUE

x3: L DB2.DBD 10 //CARGA LA BASE DE DATOS CON LA DOBLE PALABRA DE
//DATOS DBD6
T MD 6 //LO TRANSFIERE A LA PALABRA DE DOBLE MEMORIA MD6
BE //FIN DEL BLOQUE

x4: L DB2.DBD 14 //CARGA LA BASE DE DATOS CON LA DOBLE PALABRA DE
//DATOS DBD6
T MD 6 //LO TRANSFIERE A LA PALABRA DE DOBLE MEMORIA
BE //FIN DEL BLOQUE

```

8.5 FC5: *RESET* DEL CONTADOR

En esta función se desactiva el contador que es llamado en el bloque de función FB1 en el estado 7 y justo antes de que la salida “LVV” se active para que se inicie nuevamente el contador.

```
R  Z  1          //DEACTIVA EL CONTADOR
BE          //FIN DEL BLOQUE
```

8.6 OB: LLAMADO A LOS MODULOS DE FUNCIÓN

El bloque de organización es el encargado de hacer el llamado a las funciones FC2, FC3 y al bloque de función FB1 que ejecutan el algoritmo para el control del semáforo. Por otra parte, lee la señal de de entrada de emergencia RCE y la memoria M3.4, y en caso de que estén activas pone la memoria M3.3 que ejecuta el incremento de 10s durante la activación de la salida “LVV”.

```
U  E  0.1        //ENTRADA DE LA SEÑAL DE RCE
U  M  3.4        //CONSULTA SI LA MEMORIA M3.4 ESTA ACTIVA
S  M  3.3        //PONE LA MEMORIA M3.3
```

```
CALL FC  2        //LLAMA A LA FUNCION FC2
CALL FC  3        //LLAMA A LA FUNCION FC2
CALL FB  1, DB1   //LLAMA AL BLOQUE DE FUNCION FB
```

8.7 DB2: ASIGNACIÓN DE TIEMPOS

En la base de datos se asignan la direcciones con las cuales se van a cargar los diferentes tiempos asociados a los rangos de conteo de los vehículos.

KOP/AWL/FUP - [DB2 -- sema\Equipo SIMATIC 300\CPU314(1)]

Archivo Edición Insertar Sistema de destino Test Ver Herramientas Ventana Ayuda

Dirección	Nombre	Tipo	Valor inicial	Comentario
0.0		STRUCT		
+0.0	DB_VAR	INT	0	Variable provisional
+2.0	rango0_5	TIME	T#10S	
+6.0	rango6_10	TIME	T#20S	
+10.0	rango11_15	TIME	T#30S	
+14.0	rango15_adelante	TIME	T#40S	
=18.0		END_STRUCT		

Figura 8.3 Configuración de la base de datos



SEMÁFORO INTELIGENTE CON ILUMINACIÓN DE ESTADO SÓLIDO

ANEXO 1. REGULADOR DE VOLTAJE 7805

El regulador 7805 cuenta con un circuito de limitación de corriente interno, posee protección de sobrecarga térmica y protección contra corto circuitos. Todas estas características determinan un área segura de trabajo, dentro de la cual se considera esencialmente indestructible.



El diagrama interno de bloques es el siguiente:

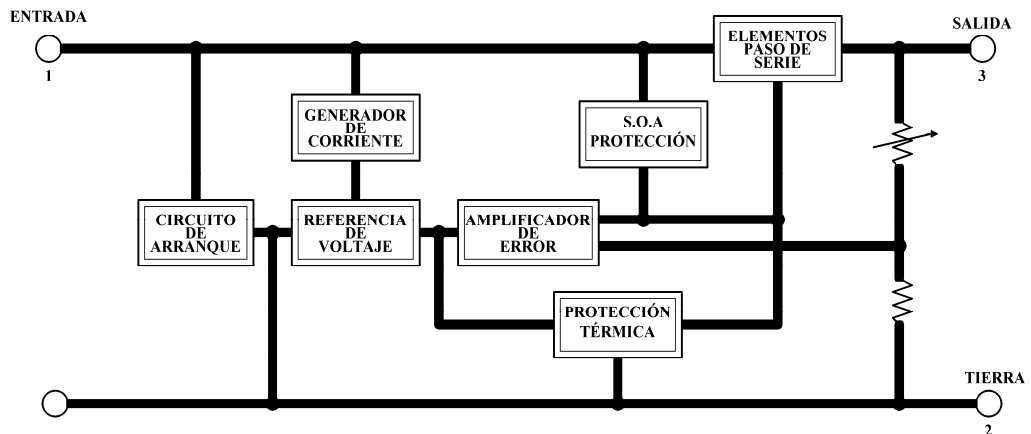


Figura 1. Diagrama interno de bloques

Características eléctricas							
Parámetro	Símbolo	Condiciones	MC7805/LM7805			Unid.	
			Min.	Típ.	Max.		
Voltaje de salida	Vo	Tj = +25°C	4,8	5	5,2	V	
		5,0mA ≤ Io ≤ 1,0A, Po ≤ 15W					
		Vi = 7V a 20V	4,75	5	5,25		
Regulación de entrada	Regline	Tj = +25°C	Vo = 7V a 25V	—	4	100	mV
			VI = 8V a 12V	—	1,6	50	
Regulación de salida	Regload	Tj = +25°C	Io = 5mA a 1,5A	—	9	100	mV
			Io = 250mA a 750mA	—	4	50	
Corriente de desbalance	IQ	Tj = +25°C	—	5	8	mA	
Cambio de corriente de desbalance	ΔIQ	Io = 5mA a 1,0A	VI = 7V a 25V	—	0,03	0,5	mA
			VI = 7V a 25V	—	0,3	1,3	mA
Voltaje de desviación en la salida	Δvo/ΔT	Io = 5mA	—	-0,8	—	mV/°C	
Ruido de voltaje a la salida	VN	F = 10Hz a 100kHz, Ta = +25°C	—	42	—	μV/Vo	
Razón de rizado	RR	F = 120Hz	62	73	—	db	
		Vo = 8V a 18V					
Caída de voltaje entrada- salida	VDrop	Io = 1A, Tj = +25°C	—	2	—	V	
Resistencia de salida	ro	f = 1kHz	—	15	—	mΩ	
Corriente de cortocircuito	ISC	VI = 35V, TA = +25°C	—	230	—	mA	
Corriente pico	IPK	Tj = +25°C	—	2,2	—	A	

ANEXO 2. TEMPORIZADOR LM555

El LM555 es un dispositivo temporizador altamente estable que puede generar con precisión pulsos astables y monoestables. Para la operación astable (o como un oscilador de carrera libre), la frecuencia y el ciclo de trabajo se obtienen controlando dos resistencias externas y un condensador. Para el caso de operación monoastable (o como generador de un pulso simple) solo basta con controlar una resistencia y un condensador.

El circuito puede ser disparado y puesto en *reset* controlando el pin 2 y el 4 respectivamente, para el caso del disparo ,solo basta que haya un nivel por debajo de 1/3 de la alimentación y para el de *reset* es necesario un nivel activo bajo.

Algunas de las características más importantes que posee este temporizador es que puede entregar ó absorber hasta 200mA, posee una estabilidad de temperatura superior a 0,005% por °C, es compatible con TTL y además su temporización se puede ajustar desde microsegundos hasta horas.

Aplicaciones

- Generador de tiempos de precisión.
- Generador de pulsos.
- Generador de secuencias de tiempo.
- Generador de retrasos de tiempo.
- Modulador por ancho de pulsos.
- Modulación por posición de pulsos.
- Generador de rampa lineal.

Características eléctricas (temperatura ambiente a 25°C, VCC a 5V o a 15V, a menos que se especifique lo contrario)

Características eléctricas

Parámetro	Condiciones	Limites			Unid.
		Lm555			
		Min.	Tip.	Max.	
Voltaje de alimentación		4,5		18	V
Corriente de alimentación	VCC = 5V, RL = ∞		3	5	mA
	VCC = 15V, RL = ∞ (Estado bajo)		10	12	mA
Error de temporización (monoestable)	RA = 1kΩ a 100kΩ C = 0,1μF		0,5		%
Precisión inicial			30		ppm/°C
Desviación con la temperatura			1,5		%
Precisión de temperatura			0,05		%/V
Derivación de abastecimiento					
Duración de error (astable)	RA, RB = 1kΩ a 100kΩ C = 0,1μF		1,5		%
Precisión inicial			90		ppm/°C
Derivación con temperatura			2,5		%
Precisión de temperatura			0,15		%/V
Derivación de abastecimiento					
Voltaje de umbral			0,667		x Vcc
Voltaje de activación	VCC = 1 5V	4,8	5	5,2	V
	VCC = 5V	1,45	1,67	1,9	V
Corriente de activación			0,01	0,5	μ A
Voltaje de reposición		0,4	0,5	1	V
Corriente de reposición			0,1	0,4	mA
Corriente de umbral			0,1	0,25	μ A
nivel del voltaje de control	VCC = 15V	9,6	10	10,4	V
	VCC = 5V	2,9	3,33	3,8	V
Caída de voltaje a la salida (bajo)	VCC = 15V		0,1	0,15	V
	Isumidero = 10mA		0,4	0,5	V
	Isumidero = 50mA		2	2,2	V
	Isumidero = 100mA		2,5		V
	Isumidero = 200mA				V
	VCC = 5V		0,1	0,25	V
Isumidero = 8mA				V	
Isumidero = 5mA				V	
	Idrenadero = 200mA VCC = 15V		12,5		V
Caída de voltaje a la salida (alto)	Idrenadero = 100mA VCC = 15V	13	13,3		V
	VCC = 5V	3	3,3		V
Tiempo de subida a la salida			100		ns
Tiempo de caída a la salida			100		ns

ANEXO 3. DIODO EMISOR INFRARROJO DE ALTA INTENSIDAD, COMPATIBLE CON ROHS, 940nm, GaAlAs

CARACTERÍSTICAS

- LED de 5mm.
- Longitud de onda pico = 940nm.
- Alta fiabilidad.
- Alta potencia radiante.
- Alta intensidad radiante.
- Ángulo medio de emisión: $\phi = \pm 10^\circ$.
- Bajo voltaje de polarización.



Descripción

El TSAL6100 es un diodo LED infrarrojo de 940nm construido con GaAlAs, emite luz de alta intensidad y tiene polarizador de plástico azul-grisáceo.

Aplicaciones

- Unidades de control remoto infrarrojas con requerimientos de alta potencia.
- Sistemas de transmisión al aire libre.
- Fuente de infrarrojos ópticos para contadores y lectores de tarjetas.
- Fuente de infrarrojos para detectores de humo.

($T_{amb} = 25^\circ C$, a menos que se especifique lo contrario).

Características básicas						
Parámetro	Condición evaluada	Símb.	Min.	Tip.	Max.	Unid.
Voltaje directo	$I_F = 100mA, t_p = 20ms$	V_F		1,35	1,6	V
	$I_F = 1A, t_p = 100\mu s$	V_F		2,6	3	V
Coefficiente de temperatura de V_F	$I_F = 1mA$	Tk_{VF}		-1,8		mV/K
Corriente inversa	$V_R = 5V$	IR		10	10	μA

Capacidad de unión	$V_R = 0V, F = 1MHz, E = 0$	C_j		25		pF
Intensidad de radiación	$I_F = 100mA, t_p = 20ms$	I_e	80	130	400	mW/sr
	$I_F = 1A, t_p = 100\mu s$	I_e	650	1000		mW/sr
Potencia radiante	$I_F = 100mA, t_p = 20ms$	φ_e		35		mW
Potencia radiada	$I_F = 20mA$	$Tk\varphi_e$		-0,6		%/K
Angulo de emisión		φ		± 10		deg
longitud de onda pico	$I_F = 100mA$	λ_p		940		nm
Ancho de banda espectral	$I_F = 100mA$	$\Delta\lambda$		50		nm
Coefficiente de temperatura a la longitud de onda pico	$I_F = 100mA$	$Tk\lambda_p$		0,2		nm/K
Tiempo de subida	$I_F = 100mA$	t_r		800		ns
Tiempo de bajada	$I_F = 100mA$	t_f		800		ns

Curvas característica

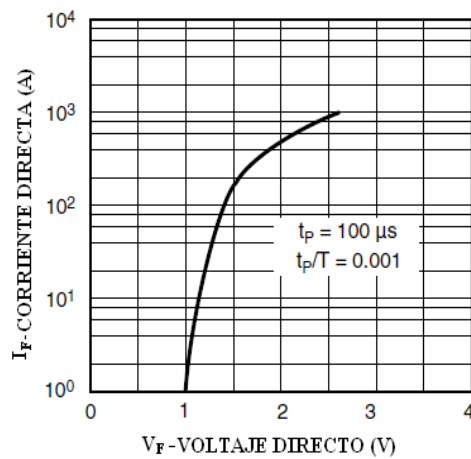


Figura 1. Corriente directa Vs. Voltaje directo

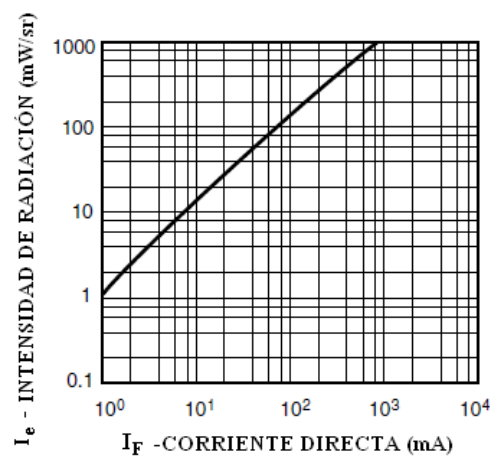


Figura 2. Intensidad de radiación Vs. Corriente directa

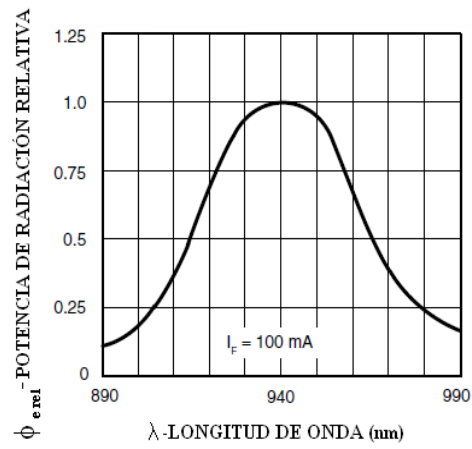


Figura 3. Potencia de radiación relativa vs. Longitud de onda

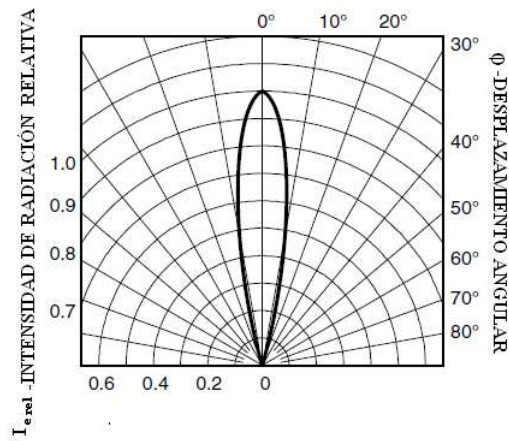


Fig.4. Intensidad de radiación relativa vs. Desplazamiento angular

ANEXO 4. MÓDULO RECEPTOR INFRARROJO LTM-8834-2

DESCRIPCIÓN

- Es una unidad tipo módulo que incorpora un diodo PIN y un circuito integrado receptor preamplificador.
- Puede ser utilizado para TVs, VTRs, equipos de audio, acondicionadores de aire, radios estéreos de automóviles, juguetes, ordenadores personales y todos los demás equipos que requieren control remoto.



Características absolutas máximas

- | | | | |
|---------------------------------|------|-----------|----|
| ➤ Tensión de alimentación | VCC | 6,3 | V |
| ➤ Temperatura de almacenamiento | Tstg | -20 a +60 | °C |
| ➤ Temperatura de funcionamiento | Topr | -10 a +60 | °C |

Condiciones recomendadas de operación

Tensión de alimentación VCC 4,7 a 5,3 V

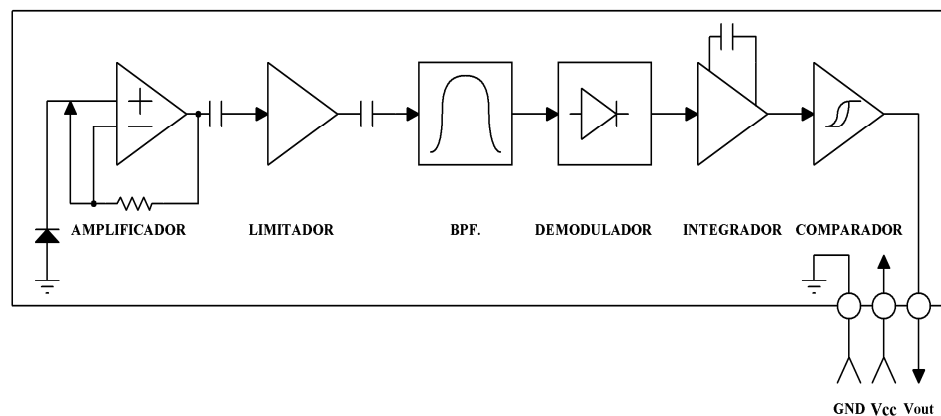


Figura 1. Diagrama de bloques

Método de medida

El diodo infrarrojo que se debe utilizar para el transmisor debe tener una $\lambda_{\text{pico}} = 940\text{nm}$, $\Delta \lambda = 50\text{nm}$.

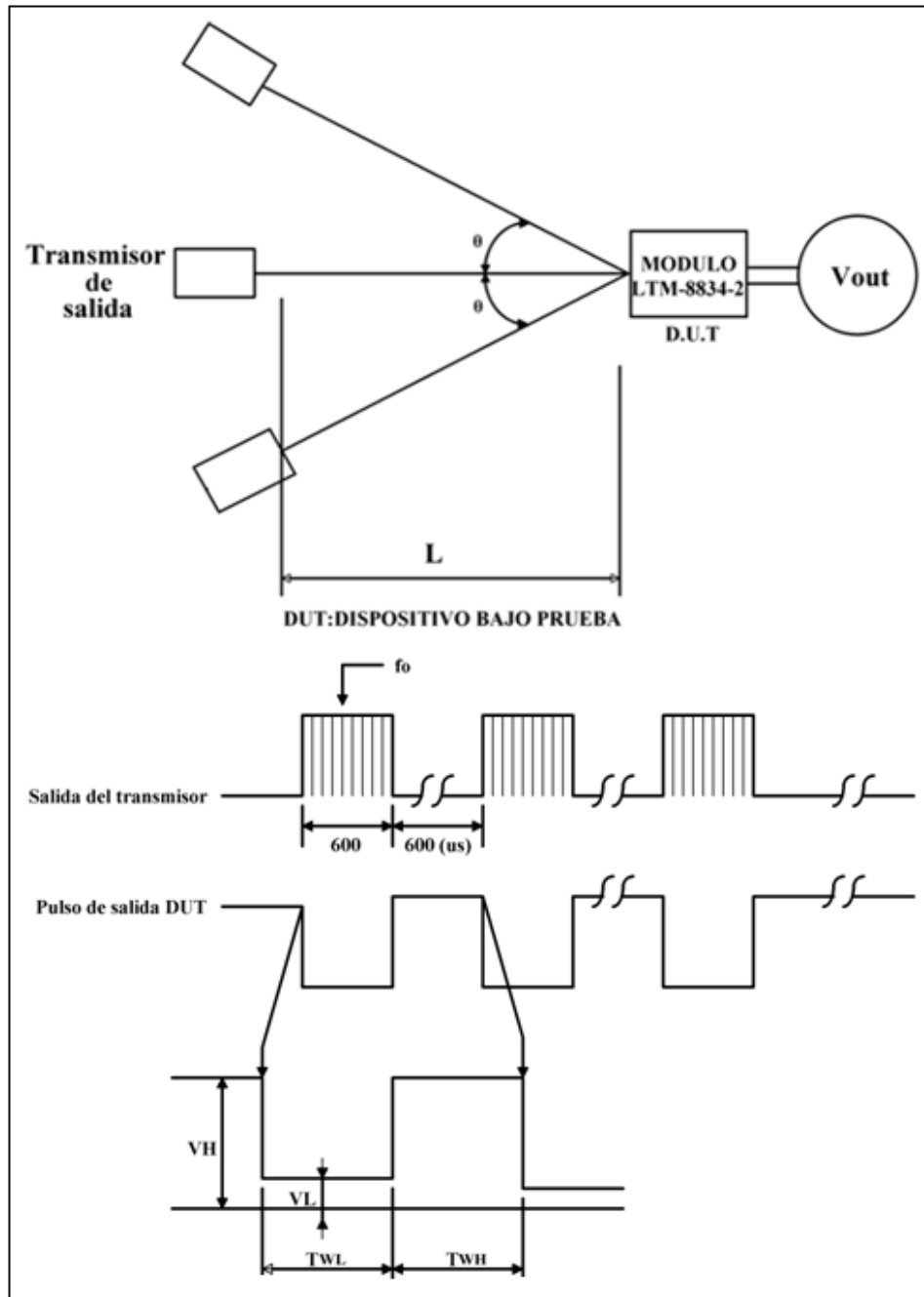


Figura 2. Método de medida

Características eléctricas						
Punto	Símbolo	Condición	Grado			Unid.
			Min.	Tip.	Max.	
Corriente consumida	ICC	No hay señal de entrada	1,1		2,5	mA
Llegada a distancia	L	En el eje del rayo	8	10		m
		a. En el rango de 30° del cono	6			
		b. En el rango de 45° del cono	3			
Voltaje bajo de la salida	VL	30cm sobre el eje del rayo			0,5	V
Voltaje alto de la salida	VH	30cm sobre el eje del rayo	4,5			V
Nivel bajo del ancho de pulso	TWL	a 5cm de distancia del módulo y con 50 pulsos	410	660	910	μs
Nivel alto del ancho de pulso	TWH	a 5cm de distancia del módulo y con 50 pulsos	290	540	790	μs
Frecuencia de la onda portadora	Fo			32,7		kHz

Curva característica eléctrica

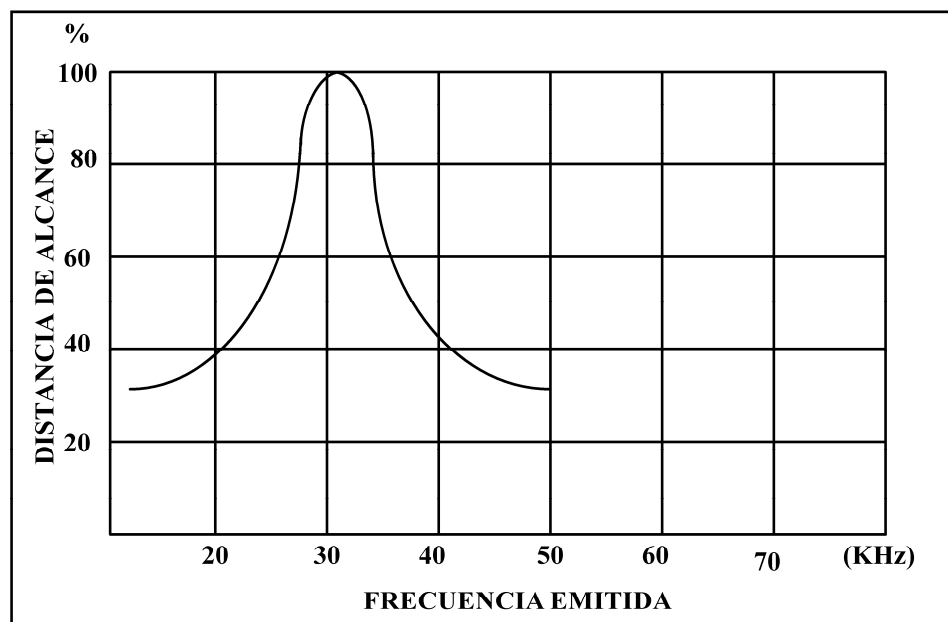


Figura 3. Distancia de llegada Vs. Frecuencia emitida

ANEXO 5. SENSOR DE LUZ TIPO LDR

VALORES MÁXIMOS ABSOLUTOS

Temperatura de operación y almacenamiento.....	-60°C a +75°C
Disipación de potencia a 25°C.....	50 mW
Voltaje pico AC o DC.....	100 V

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Símbolo	Parámetro	Min.	Típico	Max.	Unidad	Condiciones
RL	Resistencia con luz	20		100	kΩ	10 lx
			5		kΩ	100 lx
RD	Resistencia sin luz	20			MΩ	10s después de quitar la luz
λ_p	Longitud de onda pico espectral		550		nm	

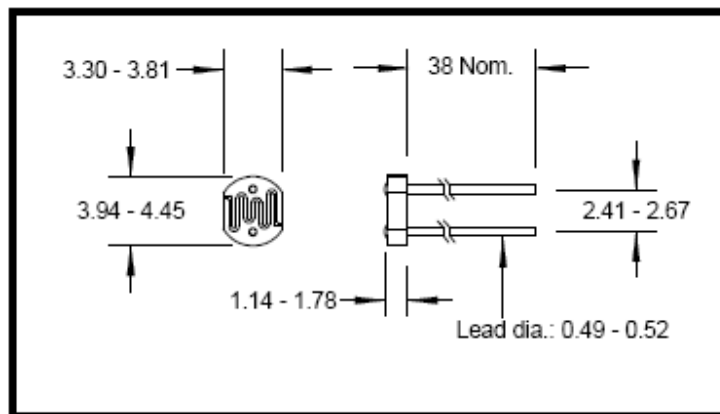
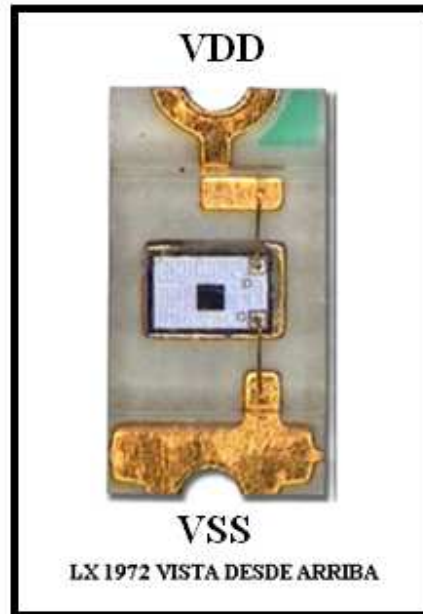


Figura 1. Dimensiones en mm

ANEXO 6. SENSOR DE LUZ AMBIENTAL



VALORES MÁXIMOS ABSOLUTOS

Voltaje de entrada de la fuente de alimentación.....	-0.3V a 6V
Corriente a tierra.....	Internamente limitada
Temperatura de operación.....	-40°C a 85°C
Máxima temperatura de operación de la unión.....	150°C
Temperatura de almacenamiento.....	-40°C a +100°C

Nota: Exceder estos valores podría causar daño al dispositivo. Todos los voltajes están con respecto a la tierra. Las corrientes entran por el terminal positivo y salen por el terminal negativo.

DATOS TÉRMICOS

Resistencia térmica entre la unión y el ambiente, θ_{JA}	850°C/W
---	---------

DESCRIPCIÓN DE LAS FUNCIONES DE LOS PINES

Nombre	Descripción
VDD	Terminal positivo
VSS	Terminal negativo

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

A menos que se especifique lo contrario, lo siguiente aplica sobre la temperatura ambiente de funcionamiento $-40^{\circ}\text{C} \leq T_a \leq 85^{\circ}\text{C}$, las condiciones de prueba son las siguientes: Véase la nota 1, VDD = +5VCC, RSS = 10k Ω .

Parámetro	Símbolo	Condiciones de prueba	Min.	Tip.	Max.	Unid.
Respuesta espectral máxima	λ PR			520		nm
Respuesta infrarroja	$\frac{\text{IDD}(\lambda)}{\text{IDD}(\lambda_{\text{PR}})}$	EV(550nm) = 292 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	5	1	5	%
Voltaje mínimo de operación	VDD-VSS	EV = 14,6 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ISS = 10 μA		1,2	1,4	V
		EV = 146 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ISS = 100 μA		1,8	2,1	
		EV = 292 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ISS = 200 μA		2,2	2,6	
Corriente en la luz	ISS	EV = 14,6 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	7,5	10	12,5	μA
		EV = 146 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	75	100	125	
		EV = 292 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	150	200	250	
Ganancia lineal		$14,6\mu\text{W}/\text{cm}^2 \leq \text{EV} \leq 146\mu\text{W}/\text{cm}^2 @ 25^{\circ}\text{C}$	-15		15	%
Corriente en la oscuridad	IDD (DARK)	EV = 0 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, TA = 25 $^{\circ}\text{C}$		0,01	50	nA
		EV = 0 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$			200	
Razón de rechazo de la alimentación	PSRR	Vrizado = 10mVp-p f = 10kHz		-25		dB
Área sensible a la radiación				0,04		mm ²

Nota1: La irradiación de la iluminación de entrada (EV) es suministrada por un diodo (LED) blanco ajustado a una longitud de onda $\lambda = 550\text{nm}$.

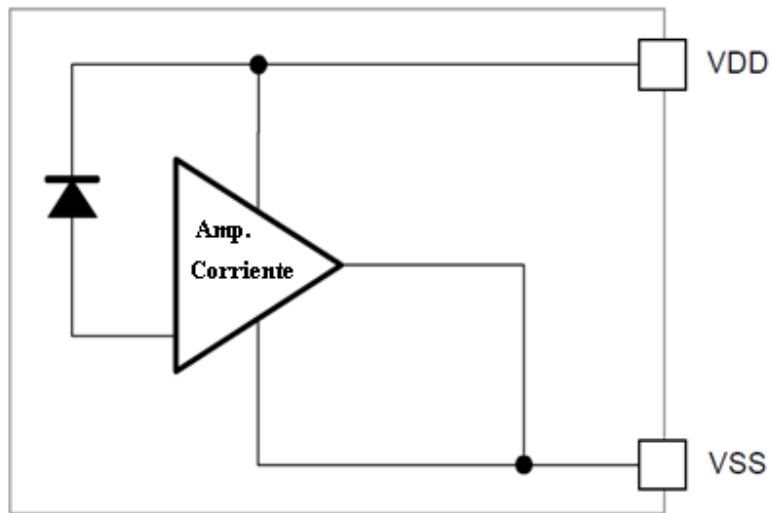


Figura 1. Diagrama de bloques simplificado

Curvas características

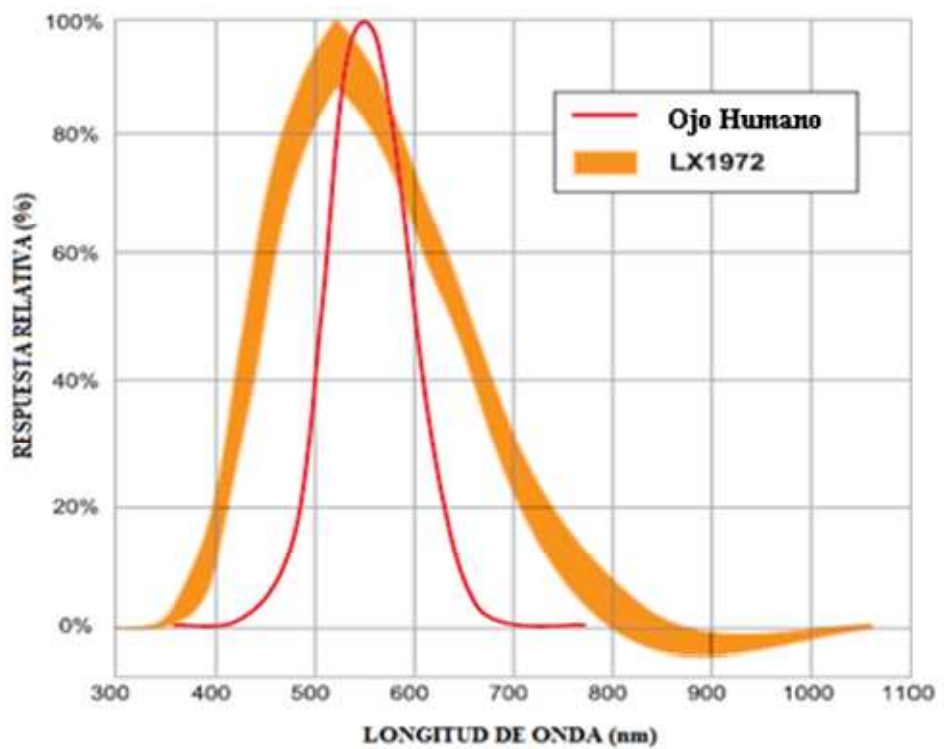


Figura 2. Respuesta relativa vs Longitud de onda

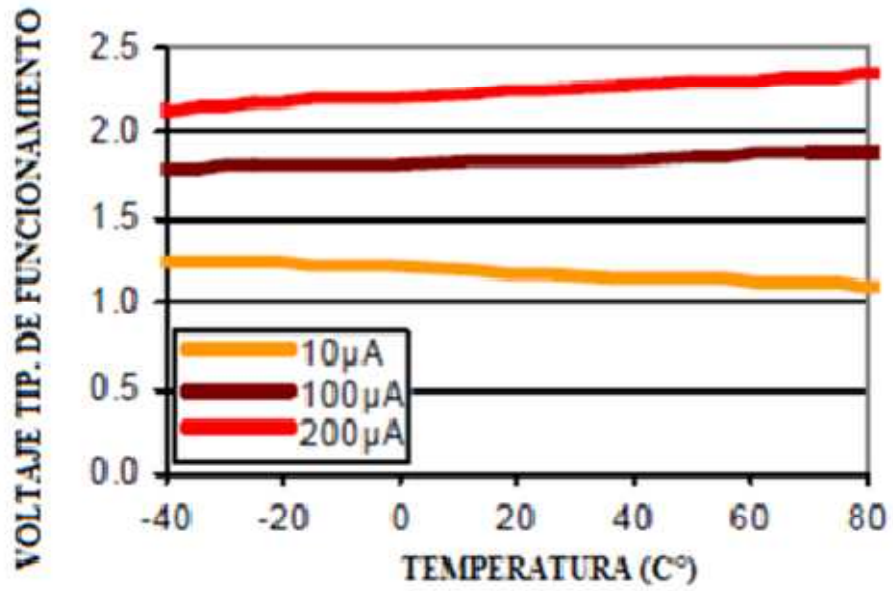


Figura 3. Voltaje típico de funcionamiento vs Corriente ISS

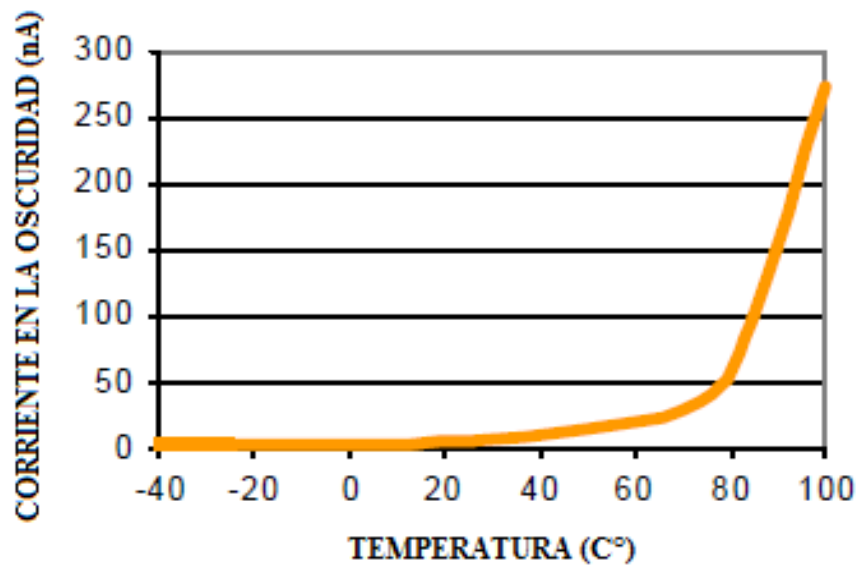
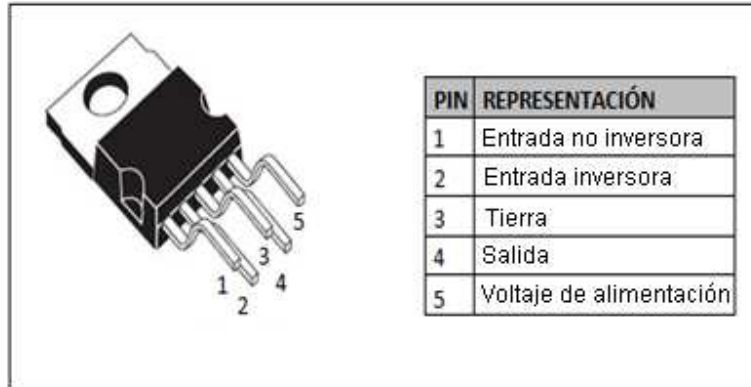


Figura 4. Corriente en la oscuridad vs Temperatura

ANEXO 7. AMPLIFICADOR TDA2003



El TDA2003 además de ser muy económico y de fácil acceso para el usuario, es un excelente amplificador de audio que requiere pocos elementos para su montaje.

Este integrado puede proporcionar una alta corriente de salida (hasta de 3,5A), su operación es segura y confiable debido a: la protección de corto circuito AC y DC que tiene entre todos los pines y tierra, la protección de sobrecarga térmica, y la protección contra sobrevoltajes por encima de 40V

VALORES MÁXIMOS ABSOLUTOS			
Símbolo	Parámetros	Valor	Unidad
Vs	Voltaje de alimentación pico (50ms)	40	V
Vs	Voltaje de alimentación DC	28	V
Vs	Voltaje de funcionamiento	18	V
Io	Corriente de salida pico (repetitiva)	3,5	A
Io	Corriente de salida pico (no repetitiva)	4,5	A
Ptot	Disipación de potencia con temperatura de chasis igual a 90° C	20	W
Tstg, Tj	Temperatura de almacenamiento y de la unión	-40 a 150	° C

CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS ($V_s = 14,4V$, $T_{amb} = 25^\circ C$ a menos que se especifique otra cosa)						
Símbolo	Parámetros	Condiciones de prueba	Min.	Tip.	Max.	Unidad
CARACTERÍSTICAS DC						
V_s	Voltaje de alimentación		8		18	V
V_o	voltaje de salida (pin 4)		6,1	6,9	7,7	V
I_d	Corriente de drenaje de alimentación (pin 5)			44	50	mA
CARACTERÍSTICAS AC						
P_o	Potencia de salida	d = 10% f = 1kHz RL = 4Ω RL = 2Ω RL = 3,2Ω RL = 1,6Ω	5,5 9	6 10 7,5 12		W W W W
$V_i(RMS)$	Voltaje de saturación de entrada		300			mV
V_i	Sensibilidad de entrada	f = 1kHz Po = 0,5W RL = 4Ω Po = 6W RL = 4Ω Po = 0,5W RL = 2Ω Po = 10W RL = 2Ω		14 55 10 50		mV mV mV mV
B	Respuesta en frecuencia (-3dB)	Po = 1W RL = 4Ω	40 a 15.000			Hz
d	Distorsión	f = 1kHz Po = 0,05 a 4,5W RL = 4Ω Po = 0,05 a 7,5W RL = 2Ω		0,15 0,15		% %
R_i	Resistencia de entrada (pin 1)	f = 1kHz	70	150		kΩ
G_v	Ganancia de Voltaje (en lazo abierto)	f = 1kHz f = 10kHz		80 60		dB dB
G_v	Ganancia de Voltaje (en lazo cerrado)	f = 1kHz RL = 4Ω	39,3	40	40,3	dB

e_N	Ruido del voltaje de entrada (Nota)			1	5	μV
i_N	Ruido de la corriente de entrada (Nota)			60	200	pA
η	Eficiencia	f = 1Hz Po = 6W RL = 4 Ω		69		%
		Po = 10W RL = 2 Ω		65		%
SVR	Razón del voltaje de alimentación	f = 100Hz Vrizado = 0,5V Rg = 10k Ω RL = 4 Ω	30	36		dB

Nota: Filtro de ruido de banda ancha: 22Hz a 22kHz.

CONCLUSIONES

- Se construyó un semáforo inteligente con iluminación de estado sólido que posee dos modos de funcionamiento, con el fin de ampliar las posibilidades de operación, y de esta forma, brindar mayor seguridad en la señalización vial tanto para vehículos como para peatones normales y con limitaciones visuales y auditivas.
- Se usaron lámparas con tecnología de punta basada en el estado sólido, lo que aporta grandes ventajas frente a los sistemas convencionales, tales como: mínimo mantenimiento, bajo consumo de potencia, versatilidad, flexibilidad, señalización luminosa más uniforme y grandes beneficios medio ambientales.
- Se construyó un sistema de alimentación para el semáforo que garantiza durante los cortes de la fuente de la energía convencional, el funcionamiento ininterrumpido de la señalización, usando para este propósito una fuente de energía fotovoltaica con control de movimiento heliotrópico.
- Se desarrolló un programa maestro en el PLC siemens S7 que controla la secuencia de encendido del semáforo vehicular y peatonal, y que además, atiende dos señales externas para el medir el tráfico vehicular y para recibir la señal de emergencia, con las cuales se afecta el comportamiento de la secuencia de iluminación del semáforo.

RECOMENDACIONES

- Se puede implementar un diseño donde la única fuente de alimentación sea la energía solar fotovoltaica, esto garantiza un sistema que funcione continuamente sin costo de energía, más limpio y por lo tanto con mayores beneficios medio-ambientales.
- A la interfaz de sonido como modo de información para peatones invidentes, se le puede incluir un circuito que permita controlar automáticamente la intensidad del tono emitido, como respuesta a los cambios del ruido ambiental.
- Para el caso del medidor de tráfico vehicular sería más apropiado usar un medidor inductivo, ya que permite medir el flujo vehicular en ambos sentidos en la carretera y requiere menos mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Williams B., Arthur. Microcontroladores, dispositivos periféricos, optoelectronicos y de interfaz. 1 ed. en español. México: McGraw – Hill/Interamericana de México, S.A. de C.V, 1989. CAP.1 p.2-4, CAP.2, 10-11, CAP.3 p.5
- [2]http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_electromagn%C3%A9tica
- [3]<http://es.wikipedia.org/wiki/Baudio>
- [4]<http://www.monografias.com/trabajos7/elec/elec.shtml>
- [5]<http://es.wikipedia.org/wiki/Chasis>
- [6] http://es.wikipedia.org/wiki/Circuito_impreso
- [7]<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1#Serial>
- [8] <http://es.wikipedia.org/wiki/Decibelio>
- [9]<http://www.monografias.com/trabajos38/programacion/programacion2.shtml>
- [10]<http://translate.google.com.co/translate?hl=es&sl=en&u=http://physics.about.com/od/lightoptics/a/vislightspec.htm&ei=4KqWS9HBBIO0tgfI1u3sDQ&sa=X&oi=translate&ct=result&resnum=7&ved=0CCoQ7gEwBg&prev=/search%3Fq%3DLight%2Bspectrum%26hl%3Des%26sa%3DG>
- [11]<http://es.wikipedia.org/wiki/Biestable>

- [12] http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=FOTOVOLTAICO
- [13] <http://es.wikipedia.org/wiki/FSK>
- [14] http://es.wikipedia.org/wiki/Fuente_conmutada
- [15] <http://www.feriaenergiasrenovables.com/m-energia-convencional.html>
- [16] <http://www.automatas.org/redes/grafcet.htm>
- [17] http://es.wikipedia.org/wiki/Iluminaci%C3%B3n_de_estado_s%C3%B3lido
- [18] http://www.unicrom.com/Tut_diodo_led.asp
- [19] [http://es.wikipedia.org/wiki/Leva_\(mec%C3%A1nica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Leva_(mec%C3%A1nica))
- [20] http://www.diclib.com/cgi-bin/d1.cgi?l=es&base=es_wiki_10&page=showid&id=45628
- [21] <http://es.wikipedia.org/wiki/EEPROM>
- [22] <http://usuarios.lycos.es/sfriswolker/pic/uno.htm>
- [23] http://es.wikipedia.org/wiki/Panel_solar
- [24] <http://es.wikipedia.org/wiki/Altavoz>
- [25] <http://www.control-systems-principles.co.uk/whitepapers/spanishwp/14ProgLogicSP.pdf>

- [26] http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_ancho_de_pulsos
- [27] <http://es.wikipedia.org/wiki/Radiofrecuencia>
- [28] [http://es.wikipedia.org/wiki/Reflexi%C3%B3n_\(f%C3%ADsica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Reflexi%C3%B3n_(f%C3%ADsica))
- [29] <http://es.wikipedia.org/wiki/Refracci%C3%B3n>
- [30] <http://www.forosdeelectronica.com/f24/son-resistencias-pull-up-2589/>
- [31] <http://es.wikipedia.org/wiki/RFID>
- [32] <http://es.wikipedia.org/wiki/RISC>
- [33] http://es.wikipedia.org/wiki/Ruido_el%C3%A9ctrico
- [34] <http://es.wikipedia.org/wiki/Sem%C3%A1foro>
- [35] http://es.wikipedia.org/wiki/Cualidades_del_sonido
- [36] <http://www.ucontrol.com.ar/wiki/index.php/USART>
- [37] http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=Tabique
- [38] Avendaño, Luis Enrique. Sistemas Electrónicos Analógicos, 2 ed. Pereira. Primera Publicación UTP, 2007. p.244-250.
- [39] Williams B., Arthur. Microcontroladores, dispositivos periféricos, opto electrónicos y de interfaz. 1 ed. en español. México: McGraw – Hill/Interamericana de México, S.A. de C.V, 1989. CAP.2 p.1

[40] Malvino, Albert Paul. Principios de Electrónica. 2 ed. México: McGraw – Hill, 1986. p.69-80.

[41] Angulo Usategui, José María; Romero Yesa, Susana y Angulo Martínez, Ignacio. Diseño práctico de aplicaciones. 2 ed. España: McGraw – Hill/Interamericana de España, S.A.U, 2000. p. 69-91, 109-111, 191-200,129-136.

[42] <http://micropic.wordpress.com/2007/01/12/el-pic-16f628/>

[43] http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_fotovoltaica