



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE ALUMBRADO PÚBLICO EFICIENTE
CON DETECCIÓN DE MOVIMIENTO Y COMUNICACIÓN POR RADIO FRECUENCIA**

Rodrigo Arana García

Asesorado por el Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar

Guatemala, junio de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE ALUMBRADO PÚBLICO EFICIENTE
CON DETECCIÓN DE MOVIMIENTO Y COMUNICACIÓN POR RADIO FRECUENCIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

RODRIGO ARANA GARCÍA

ASESORADO POR EL ING. CARLOS EDUARDO GUZMÁN SALAZAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, JUNIO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADORA	Inga. María Magdalena Puente Romero
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE ALUMBRADO PÚBLICO EFICIENTE CON DETECCIÓN DE MOVIMIENTO Y COMUNICACIÓN POR RADIO FRECUENCIA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 9 de marzo de 2015.

Rodrigo Arana García

Guatemala, 9 de abril de 2015

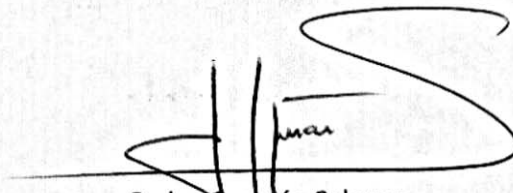
Señor
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado coordinador:

Hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación del estudiante Rodrigo Arana García, carnet universitario 2010-20307, titulado, "**Diseño de un sistema de control de alumbrado público eficiente con detección de movimiento y comunicación por radio frecuencia**". Considerando que ha cumplido con los objetivos que se propusieron. Por lo que, pido atentamente continuar con el trámite que la Universidad de San Carlos establece.

Así mismo, manifiesto que tanto el señor Arana García como el suscrito somos responsables de lo consignado en el trabajo de graduación.

Cordialmente,



Carlos Guzmán Salazar
ASESOR

CARLOS GUZMAN SALAZAR
Ingeniero Electricista
Col. No. 2762



REF. EIME 28. 2016.
Guatemala, 11 de MAYO 2015.

FACULTAD DE INGENIERIA

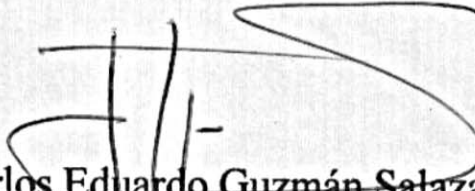
Señor Director
Ing. Francisco Javier González López
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE ALUMBRADO
PÚBLICO EFICIENTE CON DETECCIÓN DE MOVIMIENTO Y
COMUNICACIÓN POR RADIO FRECUENCIA, del estudiante
Rodrigo Arana García , que cumple con los requisitos establecidos para
tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
CARI Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador Área Electrónica





REF. EIME 28. 2016.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; RODRIGO ARANA GARCÍA Titulado: DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE ALUMBRADO PÚBLICO EFICIENTE CON DETECCIÓN DE MOVIMIENTO Y COMUNICACIÓN POR RADIO FRECUENCIA, procede a la autorización del mismo.

Ing. Francisco Javier González López



GUATEMALA, 13 DE MAYO 2016.

Universidad de San Carlos
De Guatemala

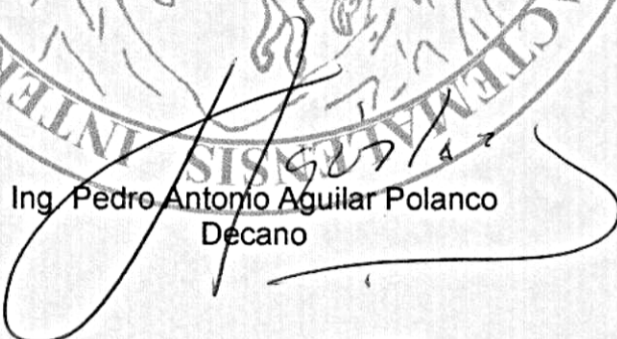


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.D.276-2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE ALUMBRADO PÚBLICO EFICIENTE CON DETECCIÓN DE MOVIMIENTO Y COMUNICACIÓN POR RADIO FRECUENCIA**, presentado por el estudiante universitario: **Rodrigo Arana García**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, junio de 2016



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Lilian Lizeth García García y Sergio Arana Velásquez, por darme la oportunidad de salir adelante y siempre preocuparse por mis estudios.

Mis hermanas

Ana Margarita y Liza María Arana García, quienes siempre me apoyaron en todo lo que estuviera a su alcance.

Universidad de San Carlos de Guatemala

Mi alma máter.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios.
Facultad de Ingeniería	Por abrirme sus puertas y darme las herramientas necesarias para concluir mi carrera.
Mis compañeros de Ingeniería Electrónica	Con quienes realicé los proyectos de electrónica, y quienes fueron un gran apoyo y grupo de trabajo.
Mis amigos de la Facultad de Ingeniería	Por haber influido en mí y por ayudarme a salir adelante.
Mi familia	Por siempre apoyarme y creer en mí.
Ing. Carlos Guzmán Salazar	Por asesorarme en este trabajo de graduación, y por ser excelente profesor.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Espectro electromagnético	1
1.1.1. Rayos gama.....	4
1.1.2. Rayos X	4
1.1.3. Rayos ultravioleta	5
1.1.4. Luz visible	5
1.1.5. Infrarrojo	6
1.1.6. Microondas	7
1.1.7. Ondas de radio	7
1.2. Luz eléctrica	8
1.2.1. Espectro de luz eléctrica.....	8
1.2.2. Tecnologías	9
1.2.3. Alumbrado público	12
1.3. Radiocomunicación	13
1.3.1. Espectro de radiofrecuencia	13
1.3.2. Transmisión y recepción.....	14
1.3.3. Modulación	15
1.4. Microcontroladores	17

1.4.1.	Elementos principales de un microcontrolador.....	18
1.4.2.	Memorias.....	19
1.4.3.	Periféricos	20
1.4.4.	Arquitecturas	22
1.5.	Sensores.....	23
1.5.1.	Características de un sensor.....	23
1.5.2.	Tipos de sensores	24
1.6.	Semiconductores	24
1.6.1.	Tipos de semiconductores.....	25
1.6.2.	Semiconductores de potencia	26
2.	ALUMBRADO PÚBLICO.....	29
2.1.	Elementos del alumbrado público	29
2.1.1.	Lámpara	30
2.1.2.	Luminaria.....	30
2.1.3.	Poste	31
2.2.	Altura de montaje de las luminarias	31
2.3.	Mantenimiento del alumbrado público.....	32
2.4.	Parámetros comunes de una luminaria.....	32
2.4.1.	Vida nominal.....	33
2.4.2.	Vida económica.....	33
2.4.3.	Tiempo de encendido.....	33
2.4.4.	Tiempo de reencendido.....	33
2.4.5.	Índice de reproducción cromático.....	34
2.4.6.	Temperatura de color	34
2.4.7.	Depreciación de lúmenes de lámpara (DLL)	34
2.4.8.	Eficiencia lumínica.....	35
2.4.9.	Factor de daño	35
2.5.	Alumbrado público en Guatemala	35

2.6.	Problema del sistema de alumbrado público actual	38
3.	DISEÑO Y ADAPTACIÓN	41
3.1.	El sistema y sus partes	41
3.2.	Selección de los componentes	43
3.2.1.	Sensor	44
3.2.2.	Módulo de radiofrecuencia.....	48
3.2.3.	Microcontrolador	52
3.2.4.	Actuador	54
3.2.5.	Sistema rectificador y regulador	57
4.	INTEGRACIÓN DE LOS COMPONENTES Y SOLUCIÓN FINAL	59
4.1.	Conexión de los componentes	59
4.1.1.	Circuito AC.....	60
4.1.2.	Circuito DC	60
4.1.2.1.	Oscilador.....	61
4.1.2.2.	Programación serial dentro de circuito (ICSP).....	62
4.1.2.3.	Conexión del sensor de movimiento PIR.....	64
4.1.2.4.	Conexión de los módulos de radiofrecuencia	65
4.1.3.	Circuito final	66
4.2.	Elaboración de placas impresas	66
4.3.	Programación del microcontrolador	68
4.3.1.	Enumeración e identificación de las luminarias	70
4.4.	Solución final	71
4.5.	Diagrama de flujo del funcionamiento	72
4.6.	Análisis de consumo de energía.....	74

CONCLUSIONES..... 79
RECOMENDACIONES 81
BIBLIOGRAFÍA..... 83
ANEXOS..... 85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Bandas del espectro electromagnético	4
2.	Espectro electromagnético visible	5
3.	Bandas de radiofrecuencia.....	14
4.	Arquitecturas Harvard y von Neumann	22
5.	Elementos del alumbrado público	30
6.	Costo del alumbrado público de septiembre de 2012 para los clientes de Energuate.....	40
7.	Diagrama de bloques del sistema	42
8.	Sensor AMN14111	45
9.	Diagrama de bloques del sensor AMN14111	46
10.	Diagrama de tiempos del sensor AMN14111	47
11.	Módulo de transmisión FSK HM-T	49
12.	Módulo receptor FSK HM-R	50
13.	Integrado DIL del PIC16F688.....	54
14.	Símbolo de un Triac	55
15.	Circuito de control de Triac	56
16.	Circuito rectificador y regulador.....	58
17.	Diagrama esquemático de circuito AC	60
18.	Diagrama esquemático de circuito DC	61
19.	Diagrama esquemático de conexión del oscilador de cuarzo	62
20.	Conexión para ISCP.....	63
21.	Diagrama esquemático de conexión para ISCP.....	63
22.	Diagrama esquemático de conexión del sensor PIR.....	64

23.	Diagrama esquemático de conexión módulos RF	65
24.	Diagrama esquemático de solución final	66
25.	Diseño de circuito impreso con componentes I	67
26.	Diseño de circuito impreso sin componentes II.....	68
27.	Diseño de circuito impreso sin componentes III.....	69
28.	Enumeración e identificación de luminaria.....	70
29.	Lógica de funcionamiento	72

TABLAS

I.	Bandas del espectro electromagnético	3
II.	Colores producidos por una sola longitud de onda	6
III.	Alturas de montaje de alumbrado público.....	32
IV.	Características del sensor AMN14111.....	47
V.	Características de la serie de módulos de transmisión FSK HM-T	49
VI.	Características de la serie de módulos de recepción FSK HM-R	51
VII.	Comparación de costo mensual de energía eléctrica con y sin sistema de control.....	77

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
I	Corriente
°C	Grado centígrado
Hz	Hercio
J	Joule
kHz	Kilo Hercio
kWh	KiloWattthora
λ	Longitud de onda
lm	Lumen, unidad de flujo luminoso
m	Metro
μA	Micro Amperios
mA	Mili Amperios
Ω	Ohm
pF	Pico Faradio
%	Porcentaje
P	Potencia
Q	Quetzales, moneda de Guatemala
V	Voltio
W	Watt

GLOSARIO

AC	Corriente alterna.
Alumbrado público	Fuente de luz diseñada para la iluminación de vías y áreas exteriores como calles, paseos, etcétera.
AM	Amplitud modulada.
Balasto	Dispositivo usado con lámparas de descarga eléctrica. Sus dos principales funciones son suministrar el voltaje necesario para el arranque de la lámpara y limitar el valor de la corriente en funcionamiento de la lámpara.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Comunicación serial	Envío de información de manera secuencial, un bit a la vez y a un ritmo acordado entre el emisor y el receptor.
DC	Corriente directa.
EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A.
FM	Frecuencia Modulada.

Iluminación	Conjunto de dispositivos utilizados para producir luz en un objeto o un ambiente.
Lámpara eléctrica	Dispositivo que produce luz a partir de energía eléctrica.
Led	Diodo emisor de luz.
Luminaria	Conjunto de elementos utilizados para la adecuación y el soporte de una lámpara. Entre estos se encuentran difusores, reflectores, conectores, entre otros.
Luz visible	Parte de la radiación electromagnética que puede ser percibida por el ojo humano.
Microcontrolador	Circuito integrado programable capaz de ejecutar instrucciones almacenadas en su memoria.
Modulación	Técnica utilizada para transportar información sobre una onda portadora, donde la información va incluida en forma de alguna variación de la onda portadora.
Oscilador	Circuito electrónico que produce una señal electrónica con forma de onda periódica, a menudo una onda sinusoidal o una onda cuadrada.

Potencia eléctrica	Relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo. La potencia eléctrica asociada con un circuito eléctrico completo o con un componente del circuito, representa la tasa a la cual la energía se convierte, de energía eléctrica a alguna otra forma.
Radiofrecuencia	También denominado espectro de radiofrecuencia o RF. Consiste en la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3 Hz y unos 300 GHz.
Rectificador	Circuito que permite convertir la corriente alterna en corriente continua.
Regulador	Dispositivo electrónico diseñado para mantener un nivel de voltaje constante.
Triac	Dispositivo semiconductor, de la familia de los tiristores.
Voltaje	Trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico sobre una partícula cargada para moverla entre dos posiciones determinadas.

RESUMEN

La finalidad del servicio de alumbrado público es satisfacer las necesidades de iluminación en todos los espacios públicos que lo necesitan, tales como calles, avenidas, carreteras y accesos públicos. Ya sea para peatones o para vehículos. La iluminación de áreas públicas es una necesidad fundamental en la cual los gobiernos invierten grandes cantidades de dinero en su implementación, mantenimiento y renovación.

La infraestructura del alumbrado público en Guatemala es poco eficiente. El país necesita de una serie de cambios y mejoras en los sistemas de alumbrado público, entre los cuales se pueden nombrar la sustitución de la tecnología de alumbrado actual, la implementación de sistemas automáticos e inteligentes de control de alumbrado público.

Los sistemas de control electrónicos combinados con la electrónica de potencia son la base para diseñar un sistema eficiente de alumbrado público que reduzca los costos de operación.

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema electrónico capaz de controlar las luces de alumbrado público actuales en la República de Guatemala, con el fin de automatizar el encendido y apagado y controlar el tiempo que estas funcionan, para así reducir los gastos en energía eléctrica.

Específicos

1. Adquirir información del alumbrado público de Guatemala.
2. Utilizar los conocimientos adquiridos durante la carrera de Ingeniería Electrónica para diseñar una solución a una problemática del país.
3. Determinar el papel que juega la electrónica en el mejoramiento de sistemas y procesos autónomos, específicamente aplicado al alumbrado público.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación tiene como objetivo mejorar una situación problemática del país, mediante el uso de la electrónica y la automatización.

Grandes sumas de dinero son destinadas a ser utilizadas en el mantenimiento y uso del alumbrado público, mismas que podrían ser mejor usadas en satisfacer otras necesidades de la comunidad, si tan solo se pudiera encontrar una manera de reducir costos de operación del alumbrado público pero manteniendo o mejorando su funcionamiento.

Se vive en una era moderna, donde continuamente se hacen avances técnicos y surgen nuevas tecnologías capaces de mejorar la vida diaria. Este trabajo busca hacer uso de estos adelantos para modernizar el sistema actual.

El trabajo presenta los siguientes capítulos: capítulo I se introduce todos los conceptos básicos que el lector necesita para comprender las bases de este trabajo. Incluye la teoría y términos físicos que se tratarán en capítulos posteriores.

En el capítulo II aborda el concepto de “alumbrado público”. Se explica el tema visto como un servicio público, y también como un sistema físico, en el cual se analizan las partes que lo componen. Se expone la situación actual del alumbrado público de Guatemala, y se da una explicación del por qué es necesaria la implementación de un sistema de control automático para las lámparas de alumbrado público. Además, se enumeran las características con

las que debe cumplir una carretera para que sea viable la implementación de dicho sistema.

En el capítulo III se realiza un esquema básico del sistema. Se analiza las características con las que debe cumplir cada parte de este control, y se seleccionan componentes que cumplan con estas características.

En el capítulo IV se interconectan los componentes seleccionados en el capítulo III, y se crea un circuito electrónico capaz de cumplir con los propósitos del sistema de control de alumbrado público. Se realiza la lógica del funcionamiento del sistema, y se explica cómo esta es adaptada a un microcontrolador mediante la programación.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Espectro electromagnético

La radiación electromagnética es una forma de energía que puede propagarse a través del vacío, es decir que no necesita de un medio para propagarse. Se conoce como espectro electromagnético al conjunto de radiaciones electromagnéticas desde la longitud de onda más pequeña y con mayor energía, hasta la longitud de onda más grande y con menor energía. Cuando se habla del espectro electromagnético se habla de una distribución energética de todas las ondas electromagnéticas existentes.

Se distinguen varios tipos de onda electromagnética dependiendo de su longitud de onda. Estos tipos de onda van desde los rayos gama hasta las ondas de radio.

Todas las ondas electromagnéticas en el vacío se propagan a la velocidad de la luz. Para cualquier onda electromagnética se tiene la siguiente relación:

$$c = \lambda \nu$$

Donde

c: velocidad de la luz en el vacío = 299 792 458 m/s

λ : longitud de onda

ν : frecuencia de la onda

La energía de una onda electromagnética está dada por la relación de Planck:

$$E = h\nu$$

Expresado de otra forma, utilizando la ecuación 1,

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Donde

h: constante de Planck = $6,626069 \cdot 10^{-34}$

De estas relaciones se puede ver que las ondas electromagnéticas de alta frecuencia y baja longitud de onda son de alta energía, mientras que las ondas de baja frecuencia y larga longitud de onda tienen baja energía.

Es común dividir al espectro electromagnético en bandas, de acuerdo a la longitud de onda. En la siguiente tabla se muestra esta división:

Tabla I. **Bandas del espectro electromagnético**

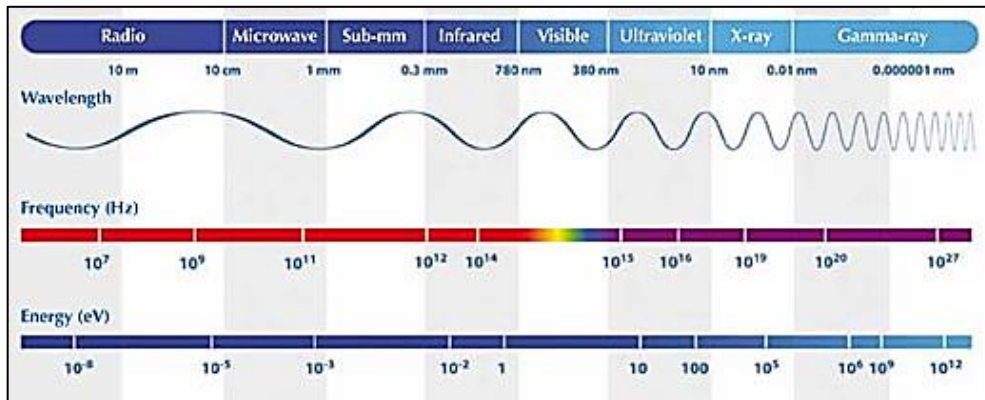
Banda	Longitud de onda (m)	Frecuencia (Hz)	Energía (J)
Rayos gamma	$< 10 \times 10^{-12}$	$> 30,0 \times 10^{18}$	$> 20 \cdot 10^{-15}$
Rayos X	$< 10 \times 10^{-9}$	$> 30,0 \times 10^{15}$	$> 20 \cdot 10^{-18}$
Ultravioleta extremo	$< 200 \times 10^{-9}$	$> 1,5 \times 10^{15}$	$> 993 \cdot 10^{-21}$
Ultravioleta cercano	$< 380 \times 10^{-9}$	$> 7,89 \times 10^{14}$	$> 523 \cdot 10^{-21}$
Luz visible	$< 780 \times 10^{-9}$	$> 384 \times 10^{12}$	$> 255 \cdot 10^{-21}$
Infrarrojo cercano	$< 2,5 \times 10^{-6}$	$> 120 \times 10^{12}$	$> 79 \cdot 10^{-21}$
Infrarrojo medio	$< 50 \times 10^{-6}$	$> 6,00 \times 10^{12}$	$> 4 \cdot 10^{-21}$
Infrarrojo lejano	$< 1 \times 10^{-3}$	$> 300 \times 10^9$	$> 200 \cdot 10^{-24}$
Microondas	$< 30^{-2}$	$> 1 \times 10^8$	$> 2 \cdot 10^{-24}$
Ultra Alta Frecuencia - Radio	< 1	$> 300 \times 10^6$	$> 19,8 \cdot 10^{-26}$
Muy Alta Frecuencia - Radio	< 10	$> 30 \times 10^6$	$> 19,8 \cdot 10^{-28}$
Onda Corta - Radio	< 180	$> 1,7 \times 10^6$	$> 11,22 \cdot 10^{-28}$
Onda Media - Radio	< 650	$> 650 \times 10^3$	$> 42,9 \cdot 10^{-29}$
Onda Larga - Radio	$< 10 \times 10^3$	$> 30 \times 10^3$	$> 19,8 \cdot 10^{-30}$
Muy Baja Frecuencia - Radio	$> 10 \times 10^3$	$< 30 \times 10^3$	$< 19,8 \cdot 10^{-30}$

Fuente: *Espectro electromagnético*.

http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagn%C3%A9tico. Consulta: 26 de enero de 2015.

La siguiente figura muestra gráficamente la clasificación de las distintas bandas del espectro electromagnético:

Figura 1. **Bandas del espectro electromagnético**



Fuente: *Science in school*. www.scienceinschool.com. Consulta: 26 de enero de 2015.

1.1.1. Rayos gama

Tienen longitud de onda menor a 10×10^{-12} m. Debido a que son rayos de gran energía son altamente dañinos. Los rayos gama son capaces de penetrar tejidos y cualquier sustancia orgánica, causando grandes daños. Son producidos por elementos radiactivos o procesos subatómicos.

1.1.2. Rayos X

Tienen longitud de onda entre los 10×10^{-12} m y 10×10^{-9} m; son originados por la desaceleración de los electrones y utilizados ampliamente en medicina debido a su capacidad de atravesar cuerpos opacos e imprimir películas fotográficas.

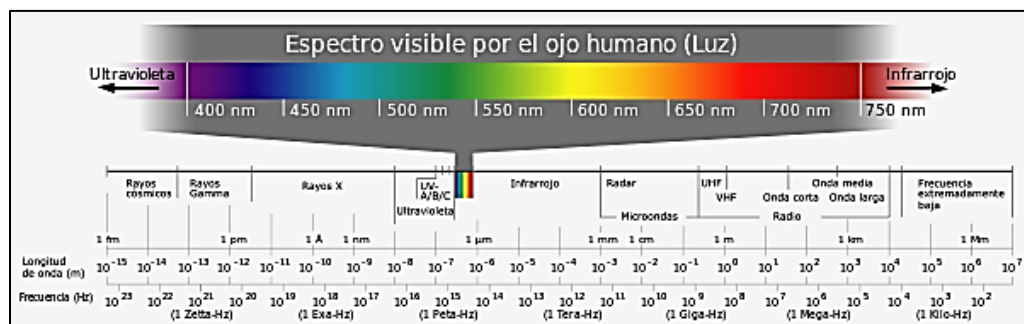
1.1.3. Rayos ultravioleta

Su longitud de onda está comprendida entre los 4×10^{-7} m y $1,5 \times 10^{-8}$ m. Es la banda anterior a la banda de luz visible, y obtiene su nombre de las ondas con longitud más corta perceptibles por el ojo humano: ondas de color violeta. Entre sus usos está la producción de lámparas fluorescentes, utilizando un recubrimiento en el interior de tubos que transforma la luz ultravioleta en luz visible.

1.1.4. Luz visible

Su longitud de onda está comprendida entre los 400 y los 750 nm. Es la parte de la radiación electromagnética que es capaz de ser percibida por el ojo humano. Ocupa una sección muy pequeña de todo el espectro electromagnético, como se puede apreciar en la figura 2.

Figura 2. Espectro electromagnético visible



Fuente: *Espectro electromagnético*.

http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagn%C3%A9tico. Consulta: 26 de enero de 2015.

Los colores del espectro visible que son producidos por una única longitud de onda, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla II. **Colores producidos por una sola longitud de onda**

Color	Longitud de onda (nm)
Violeta	380-450
Azul	450-495
Verde	495-570
Amarillo	570-590
Naranja	590-620
Rojo	620-750

Fuente: *Espectro visible*. http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_visible. Consulta: 26 de enero de 2015.

1.1.5. Infrarrojo

La radiación infrarroja es emitida por cualquier cuerpo con una temperatura mayor a cero grados Kelvin. Debido a su naturaleza, es utilizada por detectores de calor para crear visores nocturnos, y para capturar imágenes cuando la luz visible no es suficiente. Su rango de longitudes de onda va desde unos 0,7 hasta los 1 000 μm^1 . A su vez, la banda infrarroja está subdividida en las siguientes categorías:

- infrarrojo cercano (de 800 a 2 500 nm)
- infrarrojo medio (de 2.5 a 50 μm)
- infrarrojo lejano (de 50 a 1 000 μm)

¹ Wikipedia. *Radiación Infrarroja*. http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_infrarroja. Consulta: 26 de enero de 2015.

1.1.6. Microondas

Son ondas electromagnéticas cuya longitud de onda se encuentra entre los 30 cm y 1 mm. Las microondas son utilizadas en electrodomésticos, pero también tienen aplicaciones importantes en el campo de telecomunicaciones.

1.1.7. Ondas de radio

Es la porción menos energética del espectro electromagnético y, por lo tanto, la de mayor longitud de onda. Son altamente utilizadas en telecomunicaciones y en astronomía.

Las ondas de radio también pueden ser clasificadas dentro de las siguientes categorías dependiendo de su longitud de onda².

- Frecuencia extremadamente alta (EHF)
- Súper alta frecuencia (SHF)
- Ultra alta frecuencia (UHF)
- Muy alta frecuencia (VHF)
- Onda corta
- Onda media
- Onda larga
- Muy baja frecuencia (VLF)
- Ultra baja frecuencia (ULF)
- Súper baja frecuencia (SLF)
- Frecuencia extremadamente baja (ELF)

² Wikipedia. *Radiofrecuencia*. <http://es.wikipedia.org/wiki/Radiofrecuencia>. Consulta: 26 de enero de 2015.

1.2. Luz eléctrica

Es la luz producida por medio del uso de la electricidad como fuente de energía.

1.2.1. Espectro de luz eléctrica

Las ondas electromagnéticas que componen el espectro de luz visible son las que tiene longitud de onda entre 400 y 750 nm aproximadamente. Este rango es relativo, y no hay valores exactos para esta banda, ya que hay personas capaces de detectar longitudes de onda desde los 380 hasta los 780 nm.

Cuando se habla acerca de la luz eléctrica existe un número de conceptos clave que permiten distinguir y categorizar la calidad y el rendimiento de las formas para producirla.

- Índice de reproducción cromática: es una medida de la capacidad de fuente de luz de reproducir los colores verdaderos de los objetos. Como luz de comparación o de referencia se utiliza una fuente de luz natural.
- Temperatura de color: la temperatura de color de una fuente de luz se define comparando su color dentro del espectro luminoso, con el de la luz que emitiría un cuerpo negro calentado a una temperatura determinada. "Por este motivo esta temperatura de color se expresa en Kelvin, a pesar de no reflejar expresamente una medida de temperatura, por ser la misma solo una medida relativa"³.

³ Wikipedia. *Temperatura de color*. http://es.wikipedia.org/wiki/Temperatura_de_color. Consulta: 27 de enero de 2015.

1.2.2. Tecnologías

Se han desarrollado distintas formas de producir luz a partir de la energía eléctrica. Estas varían en su principio de funcionamiento y en características. A continuación se presenta un listado con los tipos de iluminación eléctrica más comunes.

- Lámpara incandescente: produce luz por el efecto Joule producido por el paso de corriente a través de un pequeño filamento de tungsteno. Se trata de un elaborado sistema encapsulado en una bombilla de vidrio rellena con un gas inerte, para evitar la combustión del filamento de tungsteno por el calor. Comúnmente se atribuye la invención a Thomas Edison, pero el verdadero inventor fue Joseph Wilson. Edison únicamente fue el responsable de crear una bombilla con filamento de carbono viablemente comercializable. Se considera que esta tecnología es muy poco eficiente, ya que solo alrededor de 15 % de la energía es convertida en luz, mientras que el restante 85 % es transformada en calor. Aun así, es preferida para ciertas aplicaciones en las que se necesita de luz cálida.
- Lámpara de neón: es una lámpara de descarga de gas que contiene en su interior gas neón. La luz se produce al hacer pasar una corriente directa o alterna a través del gas, provocando que este emita brillo.
- Lámpara de descarga: su principio de funcionamiento se basa en el fenómeno de la luminiscencia, el cual es un proceso de emisión de luz cuya radiación lumínica es provocada en condiciones de temperatura baja o temperatura ambiente, en vez de radicar en las temperaturas

altas. Por esto es común que a las lámparas de descarga se les conozca como lámparas frías.

- Lámpara de haluro metálico: son lámparas de descarga de alta presión, generalmente de alta potencia. Producen luz por medio de un arco eléctrico formado entre dos electrodos de tungsteno, a través de una mezcla de haluros metálicos y otros gases como el vapor de mercurio y argón. Contiene también bromuros metálicos, los cuales determinan la temperatura de la luz producida. Este tipo de lámpara requiere de la utilización de un balasto, el cual es un dispositivo eléctrico que regula la corriente y proporciona el voltaje adecuado para el funcionamiento de la lámpara.
- Lámpara de vapor de sodio: es un tipo de lámpara de descarga de gas. Utiliza el vapor de sodio para emitir luz. Está formada por un tubo cerámico para resistir la corrosión que genera el sodio. Requieren de un tiempo considerable desde su encendido hasta su funcionamiento total, y necesitan de un balastro para funcionar.
- Lámpara de vapor de mercurio: consisten en un tubo de descarga de cuarzo relleno de vapor de mercurio, el cual tiene dos electrodos principales y uno auxiliar para facilitar el arranque. Estas lámparas necesitan de un balasto para su funcionamiento.
 - Lámpara fluorescente: es una lámpara de vapor de mercurio de alta eficiencia energética, utilizada ampliamente para iluminación doméstica o industrial. Está formada por un tubo revestido interiormente con una sustancia que emite luz al recibir rayos ultravioleta. En el

interior del tubo se encuentra una pequeña cantidad de vapor de mercurio y un gas inerte.

- Debido a su alta eficiencia energética, han surgido varias versiones de lámparas fluorescentes compactas. Estas lámparas usualmente tienen tamaño similar a las bombillas incandescentes, pero están formadas por un largo tubo enrollado en forma de espiral para aumentar la superficie. Esto debido a que la luminosidad de una lámpara fluorescente depende directamente del área superficial del tubo.
- Lámpara halógena: es una lámpara con el mismo principio de funcionamiento que la lámpara incandescente, pero con muchas mejoras. El vidrio es reemplazado por un compuesto de cuarzo que soporta mejor las altas temperaturas, mientras que el interior de la bombilla tiene una mezcla de halógeno y un gas inerte, los cuales se encuentran en equilibrio térmico. Tienen mayor vida útil y mejor rendimiento que las lámparas incandescentes.
- Lámpara de inducción: se basa en la descarga eléctrica en un gas a baja presión, prescindiendo de electrodos para originar la ionización, que se sustituyen por una bobina de inducción sin filamentos y una antena acopladora (cuya potencia proviene de un generador externo de alta frecuencia). "Ambos elementos crean un campo electromagnético que introduce la corriente eléctrica en el gas, provocando su ionización"⁴.

⁴ Wikipedia. *Lámpara de inducción*. http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1mpara_de_inducci%C3%B3n. Consulta: 27 de enero de 2015.

- Lámpara led: utilizan la tecnología más moderna para emitir luz. Son lámparas de estado sólido que producen muy poco calor. Además de esto, tienen una alta eficiencia lumínica y energética. Están compuestas por agrupaciones de diodos emisores de luz (led). Las lámparas led vienen en todas formas y tamaños. Debido a su versatilidad, el rango de aplicaciones de las lámparas led es muy grande, y abarca desde lámparas de alta potencia para la industria hasta lámparas pequeñas y de baja potencia para el hogar.
- Los diodos emisores de luz funcionan con corriente directa, por lo que este tipo de lámparas necesita de un circuito regulador para su funcionamiento. También es común que necesiten de disipadores cuando se trata de lámparas potentes. Las lámparas led pueden llegar a tener una vida útil de hasta cien mil horas, sin disminuir su eficiencia lumínica más de un 5 %, lo que las hace la mejor opción disponible en la actualidad.

1.2.3. Alumbrado público

El alumbrado público es el servicio que consiste en la iluminación de áreas comunes de toda la población en general. Con esto se entiende parques, vías públicas y otros espacios que no sean propiedad privada.

El servicio de alumbrado público por lo general consiste en la instalación de nuevas luminarias, así como el mantenimiento y reparación de las luminarias actuales. El servicio también se encarga de cubrir los gastos de energía eléctrica para toda su red.

Los elementos de una red de alumbrado público son: sistema eléctrico, lámparas, postes de luz y en algunos casos sistemas ópticos para mejor propagación de la luminosidad.

1.3. Radiocomunicación

El termino radiocomunicación se refiere a todos los tipos de comunicación que utilizan la banda de radiofrecuencia del espectro electromagnético para transmitir y recibir mensajes. Es una forma de telecomunicación.

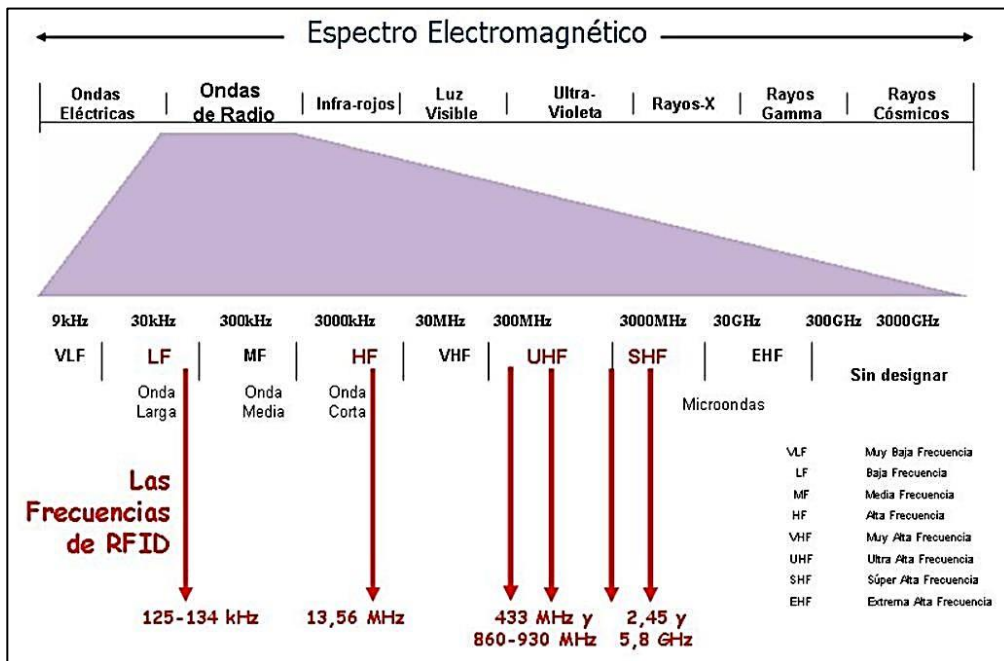
1.3.1. Espectro de radiofrecuencia

Existen diversos tipos de radiofrecuencia dependiendo de qué bandas de frecuencia se usan dentro del espectro de radiofrecuencia. Como se mencionó anteriormente existen muchas bandas de radiofrecuencia. Estas son las siguientes:

- Frecuencia extremadamente alta (EHF)
- Súper alta frecuencia (SHF)
- Ultra alta frecuencia (UHF)
- Muy alta frecuencia (VHF)
- Onda corta
- Onda media
- Onda larga
- Muy baja frecuencia (VLF)
- Ultra baja frecuencia (ULF)
- Súper baja frecuencia (SLF)
- Frecuencia extremadamente baja (ELF)

En cada una de las bandas anteriores, la onda de radiofrecuencia tiene un comportamiento distinto. En la siguiente figura se muestra la mayoría de las bandas de radiofrecuencia.

Figura 3. **Bandas de radiofrecuencia**



Fuente: *Blog de control de accesos*. <http://control-accesos.es/sistemas-de-identificacion/9>.

Consulta: 28 de enero de 2015.

1.3.2. Transmisión y recepción

Las ondas de radiofrecuencia son producidas cuando una o más partículas cargadas eléctricamente (como electrones), son excitadas a una frecuencia dentro de la banda de radiofrecuencia. La onda de radiofrecuencia es creada por una antena en un dispositivo transmisor. La onda luego viaja a través del medio, el cual es normalmente aire, llevando información hasta llegar

a uno o más dispositivos receptores. El dispositivo receptor cuenta con una antena, que al recibir la onda electromagnética de radio frecuencia, a su vez excita partículas cargadas en la antena. El movimiento de estas partículas genera una corriente eléctrica que a su vez puede ser transformada en señales de información.

La forma de enviar información dentro de la onda enviada es la siguiente: la onda de radiofrecuencia transmitida es alterada en alguno de sus parámetros de acuerdo a la información que se desea enviar. A este proceso se le conoce como modulación. La modulación permite un mejor aprovechamiento del canal y mejora la resistencia contra ruidos e interferencias. La señal que modifica la onda de radiofrecuencia es conocida como señal moduladora, y contiene el mensaje que se desea transmitir. La señal cuyos parámetros y características son modificados acorde a la señal moduladora es conocida como señal portadora.

El receptor es el encargado de recibir la onda portadora, y efectuar un proceso de demodulación, para recuperar la información del mensaje dentro de la onda de radiofrecuencia.

Existen diversas técnicas para modular una señal. En la siguiente sección se discute acerca de estas, y de sus ventajas y desventajas.

1.3.3. Modulación

Existen distintas formas de modificar la señal portadora para transmitir un mensaje. Inicialmente se pueden dividir todos los tipos de modulación en dos grandes grupos:

- Modulación analógica
- Modulación digital

La modulación analógica se utiliza cuando el mensaje a transmitir es una señal continua con amplitud y período variables en función del tiempo. Algunas magnitudes físicas comúnmente portadoras de una señal de este tipo son eléctricas como la intensidad, la tensión y la potencia, pero también pueden ser hidráulicas como la presión, "térmicas como la temperatura, mecánicas"⁵.

La modulación digital es utilizada cuando el mensaje a transmitir es una señal discreta en el tiempo. Son señales generalmente muestreadas y cuantizadas con valores de amplitud discretas.

Tipos de modulación analógica

- Amplitud modulada (AM): varía la amplitud de la onda portadora de acuerdo al mensaje analógico a transmitir. La modulación de amplitud resulta mucho más sencilla que los demás tipos de modulación. Tiene un ancho de banda de no más de 10 kHz. Las ondas AM tienen un mayor rango de alcance, y utilizan la ionósfera para rebotar y superar obstáculos.
- Frecuencia modulada (FM): varía la frecuencia de la onda portadora de acuerdo al mensaje analógico a transmitir. La modulación de frecuencia utiliza una banda de frecuencia mucho superior a la de AM, de alrededor de 200 kHz. Esto permite transmitir más información, lo que da como resultado una mejor calidad de transmisión. Las ondas FM no tienen tan

⁵ Wikipedia. *Señal analógica*. http://es.wikipedia.org/wiki/Se%C3%B1al_anal%C3%B3gica. Consulta: 28 de enero de 2015.

buena cobertura como las AM, por lo que es mejor utilizarlas en ubicaciones con pocas barreras u obstáculos.

- Fase modulada (PM): varía la fase de la onda portadora de acuerdo al mensaje analógico a transmitir.

Tipos de modulación digital

- *Amplitude shift keying (ASK)*: varía la amplitud de la onda portadora de acuerdo al mensaje digital a transmitir.
- *Frecuency shift keying (FSK)*: varía la frecuencia de la onda portadora de acuerdo al mensaje digital a transmitir.
- *Phase shift keying (PSK)*: varía la fase de la onda portadora de acuerdo al mensaje digital a transmitir. Este tipo de modulación tiene variantes dependiendo de cuantos valores de desfase se deseen, de manera que existe *binary PSK (BPSK)* y *quadrature PSK (QPSK)* por mencionar algunos.

1.4. Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito electrónico integrado programable que contiene todos los elementos necesarios para funcionar por sí solo, es decir: unidad central de procesamiento, memorias y periféricos.

Un microcontrolador no cuenta con ninguna funcionalidad a menos que se guarde en su memoria una lógica de funciones, que el microcontrolador debe llevar a cabo. Esto se hace mediante algún lenguaje de programación como ensamblador, o bien un lenguaje de alto nivel diseñado para microcontroladores. En el programa que se graba en el microcontrolador se

puede hacer uso de todos sus periféricos, así como de sus módulos y bloques internos para llevar a cabo la función que se necesita.

Existen diversos tipos y familias de microcontroladores, los cuales se diseñan de acuerdo a la aplicación para la cual serán utilizados. Algunos microcontroladores están diseñados específicamente para tener un bajo consumo de energía, lo que los hace ideales para dispositivos que están a la espera de una interrupción para ejecutar alguna acción.

Los microcontroladores necesitan de una señal de reloj para su correcto funcionamiento. Normalmente tienen pines de entrada para poder aplicar una señal de reloj externa, pero también cuentan con un generador de señal interno, menos confiable y exacto que una fuente externa. También cuentan con memoria RAM, ROM, EEPROM y con varios pines de entrada y salida analógica o digital.

La mayoría de microcontroladores cuentan con módulos específicos para cumplir ciertas funciones llamados periféricos, como lo es el bloque de conversión analógica-digital DAC, módulos de temporización, módulos de comunicación UART, I²C, entre otros.

1.4.1. Elementos principales de un microcontrolador

- Unidad de procesamiento central (CPU): es la unidad encargada de controlar y gobernar todo el sistema que comprende una computadora. La CPU consiste en un circuito integrado formado por millones de transistores, que está diseñado para poder procesar datos y controlar la máquina. La CPU dispone de dos unidades en su interior: la unidad de control y la unidad aritmético-lógica.

- Unidad de control: la unidad de control se encarga de leer las instrucciones de los programas almacenados en la memoria y envía las órdenes a los componentes del procesador para que ejecuten las instrucciones.
- Unidad aritmética lógica (ALU): es la encargada de realizar todas las operaciones aritméticas como sumas, restas y multiplicaciones, y lógicas como comparaciones.
- Memoria: formada por muchas localidades de memoria donde se puede almacenar datos.
- Buses: son las líneas de comunicación entre todos los demás elementos del microcontrolador.

1.4.2. Memorias

Un microcontrolador requiere de dos tipos de memoria para su funcionamiento: memoria de datos, y memoria de programa.

La memoria de datos es una memoria RAM (*random acces memory*) y está destinada a almacenar datos temporales utilizados por el microprocesador. En el espacio de almacenamiento de esta memoria se encuentran los registros de trabajo y de configuración del microprocesador, así como los registros de configuración de los periféricos.

La memoria de programa es la que almacena el programa a ejecutar por el microcontrolador, mismo que es grabado por el usuario o programador. Existen

distintos tipos de memoria que se utilizan para este propósito. El tipo de memoria depende de la aplicación del microcontrolador.

- PROM: *programmable read only memory* es un tipo de memoria que solo se puede programar una vez.
- EPROM: *erasable programmable read only memory* es una memoria que se puede programar múltiples veces. El contenido de esta memoria puede ser borrado con luz ultravioleta mediante una pequeña ventana de vidrio que expone el interior de la memoria. Una vez borrada la memoria, se puede grabar un nuevo programa en ella.
- EEPROM: *electrically erasable programmable read only memory* al igual que la memoria EPROM, esta memoria puede ser borrada y programada nuevamente, con la diferencia que la memoria EEPROM solo necesita de un pulso eléctrico para ser borrada.
- *Flash*: es el tipo de memoria más moderno y es superior a los demás tipos. Tiene una velocidad de escritura superior y es completamente compatible con los voltajes de alimentación. Son de muy bajo costo.

1.4.3. Periféricos

Como se mencionó anteriormente, los microcontroladores usualmente cuentan con módulos específicos para cumplir con distintos propósitos. A estos módulos se les llama periféricos.

- Entradas y salidas de propósito general: son puertos de E/S que generalmente están agrupados en puertos de 8 o 4 bits. Sirven para leer datos del exterior o para controlar elementos simples en la salida.
- Temporizadores y contadores: son módulos que permiten incrementar una cuenta ya sea con un pulso externo, o con la señal de reloj. Pueden ser utilizados para activar una interrupción, en la que se puede llevar a cabo una subrutina.
- Conversor analógico digital: es un módulo capaz de tomar una señal continua y analógica y transformarla en una señal discreta y digital. Normalmente está compuesto por un elemento de muestreo, un cuantificador y un codificador.
- Comparadores: son circuitos basados en amplificadores operacionales capaces de comparar dos señales analógicas y actuar con base en el resultado.
- Modulador PWM: es un circuito capaz de crear un tren de pulsos modulados en anchura.
- Puertos de comunicación: los microcontroladores cuentan con varios protocolos de comunicación, entre los que se encuentran SPI, I²C, USB y Ethernet, entre otros.

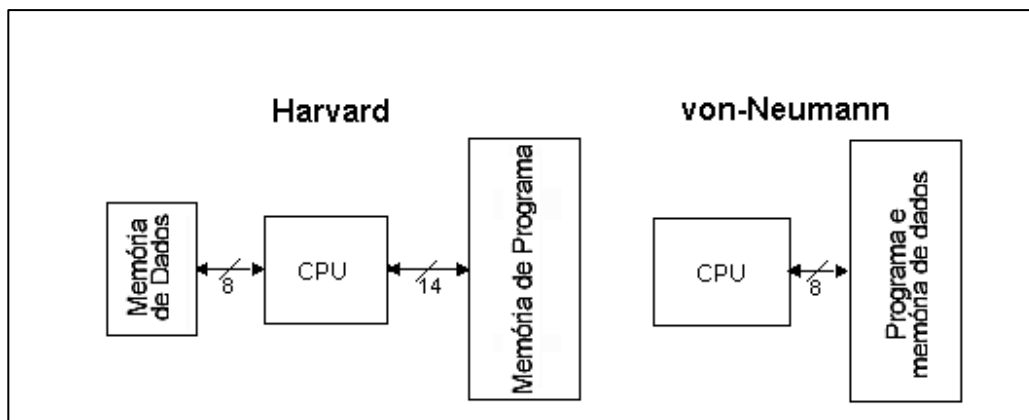
1.4.4. Arquitecturas

En el mundo de las computadoras y de los microcontroladores existen dos tipos de arquitectura, las cuales dependen del tipo de conexión de las memorias y el microprocesador.

Arquitectura von Neumann: utiliza únicamente un bus para comunicar al procesador con la memoria común que contiene tanto los programas como los datos. Esto hace imposible la lectura de una instrucción al mismo tiempo que se transmiten datos.

Arquitectura Harvard: a diferencia de la arquitectura von Neumann, esta arquitectura utiliza dos memorias separadas, cada una con su bus dedicado, para comunicarse con el procesador. Esto permite la comunicación simultánea del procesador con la memoria de programa y la memoria de datos. La arquitectura Harvard permite una mayor velocidad de funcionamiento.

Figura 4. **Arquitecturas Harvard y von Neumann**



Fuente: *Arquitectura de Harvard vs von Neumann*. <http://informaticamlcf.blogspot.com>.

Consulta: 4 de febrero de 2015.

1.5. Sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas y transformarlas en magnitudes eléctricas. Las magnitudes físicas o químicas pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, movimiento, pH, entre otros. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica, un voltaje, una corriente, entre otros.

1.5.1. Características de un sensor

Las variables que caracterizan a un sensor son las siguientes:

- Rango de medida: rango de la magnitud medida que el sensor es capaz de medir.
- Precisión: es la diferencia o error entre la medida y el valor real.
- *Offset* o desviación de cero: valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula.
- Sensibilidad: cambio en la variable de salida debido a un cambio en la variable de entrada.
- Resolución: mínima variación de la magnitud de entrada que puede detectarse a la salida.
- Rapidez de respuesta: se refiere al tiempo necesario para medir una magnitud y dar una variable de salida.
- Repetitividad: error esperado al repetir varias veces la misma medida.

1.5.2. Tipos de sensores

Los tipos de sensores más comunes se muestran en la siguiente lista:

- De posición lineal/angular
- De desplazamiento
- De velocidad lineal/angular
- De aceleración
- De fuerza
- De presión
- De caudal
- De temperatura
- De presencia
- Táctiles
- De proximidad
- Acústicos
- De luz
- De movimiento

1.6. Semiconductores

Los semiconductores son elementos químicos que se comportan como conductores o como aislantes dependiendo de varios factores físicos como el campo magnético, campo eléctrico, temperatura, entre otros.

Los elementos semiconductores son los siguientes: cadmio, aluminio, galio, boro, indio, silicio, carbono, germanio, fósforo, arsénico, antimonio, selenio, telurio y azufre. El semiconductor más utilizado es el silicio, seguido por el germanio.

1.6.1. Tipos de semiconductores

Un semiconductor puede clasificarse como intrínseco o extrínseco, dependiendo de su composición química.

Un semiconductor intrínseco es un semiconductor puro, en el que todos los átomos del material son del mismo elemento. Son elementos tetravalentes, que forman un enlace covalente entre sí.

Un semiconductor extrínseco, en cambio, es un semiconductor que ha sido dopado con alguna impureza, para mejorar su conducción eléctrica. Para obtener un semiconductor extrínseco, se añade una impureza por cada 10 millones de átomos. Las impurezas con la que se dopan los semiconductores son átomos de elementos tetravalentes o pentavalentes. Los semiconductores extrínsecos se clasifican en dos grupos:

- Semiconductores tipo N: son formados cuando se añaden impurezas pentavalentes al semiconductor intrínseco. Al agregar átomos pentavalentes a átomos tetravalentes, luego de formarse los enlaces covalentes, siempre queda un electrón libre, el cual necesita de muy poca energía para formar parte de una corriente eléctrica, ya que no tiene que liberarse de ningún enlace. Cuando se aplica un campo eléctrico a un semiconductor tipo N, se crea una corriente eléctrica formada mayormente por electrones. De esta manera, se dice que los portadores mayoritarios de un semiconductor tipo N son los electrones.
- Semiconductores tipo P: son formados cuando se añaden impurezas tetravalentes al semiconductor intrínseco. En este caso se forman únicamente tres enlaces covalentes en vez de cuatro, quedando un

hueco en el lugar donde debería estar un electrón. Este hueco actúa como una partícula con masa equivalente a la de un electrón, pero con carga positiva. Cuando se aplica un campo eléctrico a un semiconductor tipo P los portadores mayoritarios son los huecos.

1.6.2. Semiconductores de potencia

La electrónica de potencia se utiliza para transformar y controlar voltajes y corrientes grandes. Los semiconductores de potencia son semiconductores diseñados específicamente para manejar estos voltajes y corrientes.

Los semiconductores de potencia más comunes son los siguientes:

- Tiristor: es un semiconductor que utiliza realimentación interna para producir conmutación. Está formado por semiconductores extrínsecos de la forma PNP. Es básicamente un diodo de potencia con control mediante compuerta.
- Rectificador controlado de silicio: (SCR por sus siglas en inglés) es un tipo de tiristor formado por cuatro capas de material semiconductor con estructura PNP o bien NPN.
- DIAC: es un diodo para corriente alterna; es un dispositivo capaz de conducir corriente en ambos sentidos, siempre que se supere la tensión de disparo, la cual es normalmente de 30 V.
- TRIAC: de la misma manera que el DIAC, el TRIAC es capaz de conducir corriente en ambos sentidos al superar la tensión de disparo. Es utilizado para corriente alterna. La diferencia entre este semiconductor y el DIAC,

es que el TRIAC posee una compuerta que le permite controlar cuándo conducir y cuándo no. Es utilizado principalmente como interruptor estático, ya que posee ventajas sobre los interruptores mecánicos y los relés.

- Tiristor GTO: al igual que el tiristor común, este es un semiconductor controlado por compuerta. La principal diferencia es que se utiliza una corriente positiva para activar este tiristor, y una corriente negativa para desactivarlo. Está formado por cuatro capas de semiconductores de la forma PNPN.

2. ALUMBRADO PÚBLICO

El alumbrado público es el servicio que consiste en la iluminación de áreas comunes de toda la población en general. Con esto se entiende parques, vías públicas y otros espacios que no sean propiedad privada. Por lo general consiste en la instalación de nuevas luminarias, así como el mantenimiento y reparación de las luminarias instaladas actualmente. El servicio también se encarga de cubrir los gastos de energía eléctrica para toda su red.

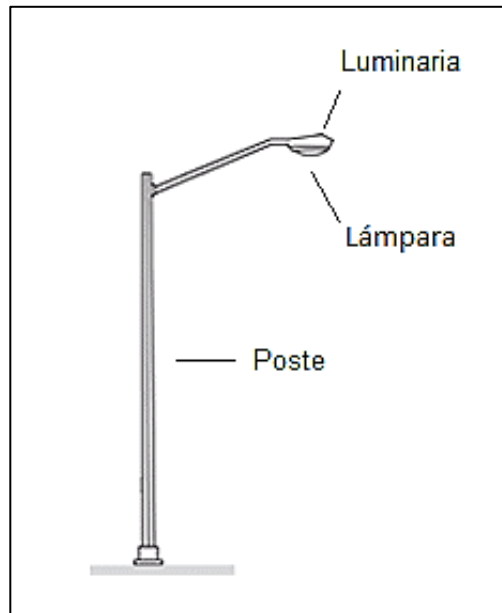
2.1. Elementos del alumbrado público

Aunque el concepto de alumbrado público se refiere a un servicio para la población, es de interés conocer los elementos físicos que componen al sistema capaz de brindar el servicio de alumbrado público.

Hablando del sistema físico del alumbrado público, los elementos que componen a dicho sistema son los siguientes:

- Lámparas
- Luminarias
- Postes de luz

Figura 5. **Elementos del alumbrado público**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator.

2.1.1. Lámpara

Es el elemento encargado de convertir la energía eléctrica en energía radiante. Existen distintos tipos de lámparas utilizadas en el alumbrado público, entre las cuales se encuentran: incandescentes, fluorescentes, de descarga de alta intensidad, de inducción y led, entre otras. Cada una de estas lámparas cuenta con ventajas y desventajas con respecto a las otras.

2.1.2. Luminaria

Es el elemento encargado de lograr una distribución de luz adecuada para las necesidades. Está constituido por un sistema eléctrico y un sistema óptico.

El sistema eléctrico transforma la energía eléctrica en radiación electromagnética. Puede consistir de balasto, condensadores, ignitor eléctrico y lámpara.

El sistema óptico toma la luz producida por el sistema eléctrico y la enfoca y dispersa de la mejor manera para la aplicación. Esto se logra a base de reflectores, difusores y otros elementos ópticos.

2.1.3. Poste

Es la estructura que sostiene la luminaria y a la lámpara. Las características del poste, como por ejemplo su altura, se deben adecuar al lugar en el que va a ser instalado. El poste es normalmente construido a base de concreto con hierro en su interior, aunque existen algunos hechos de madera o metal.

Al poste va sujeto el brazo. El brazo es el elemento encargado de sostener la luminaria sobre la superficie que se desea alumbrar. El brazo fija la luminaria al poste. El brazo debe resistir el peso de la luminaria, y debe tener la forma y el largo necesarios para la ubicación correcta de la luminaria. El brazo se construye de hierro o acero galvanizado para evitar la oxidación.

2.2. Altura de montaje de las luminarias

Se define como la distancia entre la luminaria y la superficie que se desea iluminar. El valor de la altura de montaje toma distintos valores dependiendo del uso de la luminaria. En la siguiente tabla se muestran los valores típicos de esta altura:

Tabla III. **Alturas de montaje de alumbrado público**

Aplicación	Altura (m)
Áreas verdes	1 – 5
Áreas peatonales	3 – 5
Pasajes	7 – 8
Calles principales	8 – 10
Carreteras	10 – 15

Fuente: elaboración propia.

2.3. **Mantenimiento del alumbrado público**

Anteriormente se mencionó que parte del servicio del alumbrado público consiste en el mantenimiento del mismo. Con el fin de que las luminarias se encuentren siempre en buen funcionamiento es necesario llevar a cabo diversas operaciones, entre las cuales se encuentran:

- Reemplazamiento de lámparas y equipos auxiliares.
- Revisión del cableado y conexiones de las lámparas.
- Limpieza de los sistemas ópticos.
- Verificación del estado de funcionamiento los componentes de la luminaria.
- Verificación de los horarios de funcionamiento.
- Manejo de elementos obstructores de luz.

2.4. **Parámetros comunes de una luminaria**

A continuación se presentan los parámetros comunes de una luminaria.

2.4.1. Vida nominal

Número de horas funcionales de la luminaria. Este valor está dado por el fabricante, y es garantizado bajo ciertas condiciones óptimas de operación. Debido a que raramente se cumple con todas estas condiciones, la vida nominal rara vez es la misma que la especificada por el fabricante.

2.4.2. Vida económica

Se refiere al tiempo de vida en el que una luminaria es utilizable. La capacidad lumínica de cualquier lámpara disminuye con el tiempo. Debido al gasto, los componentes internos de la luminaria, la eficiencia de esta disminuye, y es posible que después de muchos años una lámpara todavía funcione, pero que no sea capaz de proveer luz como debería. En los casos en que la eficiencia de una luminaria es lo suficientemente baja como para cumplir con su propósito, es más rentable sustituirla por una nueva.

2.4.3. Tiempo de encendido

Es el tiempo que tarda una lámpara en emitir el 90 % de su flujo luminoso total. La lámpara necesita un tiempo de estabilización y calentamiento antes de poder iluminar efectivamente.

2.4.4. Tiempo de reencendido

Es el tiempo que tarda una lámpara en emitir el 90 % de su flujo luminoso total luego de ser apagada durante cierto tiempo.

2.4.5. Índice de reproducción cromático

CRI (por sus siglas en inglés), este parámetro denota la capacidad de una lámpara para reproducir fielmente los colores. El índice de reproducción cromático es un índice de la calidad de la luz emitida por la lámpara. Debido a que es un índice, este un parámetro adimensional, el cual toma valores entre 0 y 100, donde un valor más cercano a 100 significa una mejor reproducción de los colores y mejor calidad de luz.

2.4.6. Temperatura de color

Es un parámetro que denota el color de la luz emitida por la lámpara dentro de la región de luz visible del espectro electromagnético. Se define comparando su color dentro del espectro luminoso con el de la luz que emitiría un cuerpo negro calentado a una temperatura determinada. A pesar de su nombre, y de que su unidad es el Kelvin, el parámetro no denota una temperatura, sino el color relacionado con una temperatura.

El comportamiento de este parámetro es opuesto al de otros fenómenos naturales, ya que las lámparas que producen luz fría tienden a los colores azules y tienen muchos Kelvin, mientras que las lámparas de luz cálida tienen a los amarillos y rojos y tienen pocos Kelvin.

2.4.7. Depreciación de lúmenes de lámpara (DLL)

Es un proceso natural de envejecimiento de las luminarias y sus componentes. Como se mencionó anteriormente, las lámparas pierden intensidad luminosa con el pasar del tiempo. La depreciación de lúmenes de

lámpara se define como el cociente entre los lúmenes al 70 % de la vida nominal y los lúmenes nominales.

2.4.8. Eficiencia lumínica

Se define como el cociente entre los lúmenes emitidos por la luminaria y la potencia que esta consume. Está dada en lúmenes por watt (lm/W). Es una medida del buen aprovechamiento de la energía eléctrica. La eficiencia lumínica varía a lo largo de la vida útil de la luminaria, debido al desgaste de los componentes.

2.4.9. Factor de daño

Todas las fuentes de luz, incluyendo las lámparas de alumbrado público, emiten diversas radiaciones. Muchas de estas radiaciones pueden llegar a ser dañinas para el organismo, y también para otros materiales en general. Las emisiones pueden ser desde radiación ultravioleta hasta radiación infrarroja. Una exposición larga y prolongada a este tipo de emisiones puede causar problemas de salud en los organismos, y daños a otros materiales.

2.5. Alumbrado público en Guatemala

Todas las actividades relacionadas con el alumbrado público en Guatemala, así como otras actividades como generación, transporte, distribución y comercialización de la energía eléctrica están reguladas y dirigidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CCNE).

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica fue creada por la Ley General de Electricidad contenida en el Decreto No. 93-96 del Congreso de la República de Guatemala, publicada en el Diario Oficial el 21 de noviembre de 1996 como órgano técnico del Ministerio de Energía y Minas, con independencia funcional para el ejercicio de sus funciones⁶.

La CNEE vela por el cumplimiento de la Ley General de Electricidad y su reglamento, buscando la eficiencia, estabilidad y sostenibilidad de las operaciones eléctricas en Guatemala.

En Guatemala existen dos distribuidoras de energía eléctrica: Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A. (Eegsa), Distribuidora de Electricidad de Oriente, S.A. (Deorsa) y Distribuidora de Electricidad de Occidente, S. A. (Deocsa). Las distribuidoras Deorsa y Deocsa forman parte de una distribuidora común llamada Energuate.

Energuate es la principal distribuidora de energía eléctrica en Guatemala. Distribuye energía a 20 de los 22 departamentos de la república.

Como se puede ver en la página web de Energuate:

La municipalidad de Guatemala es la responsable de introducir, ampliar y dar mantenimiento al alumbrado público. (Código Municipal, Decreto 12-2002 y sus Reformas: Artículos 68, 72, 73 y 74). El Código Municipal (Decreto 12-2002 y sus Reformas), en los artículos 68, 72, 73 y 74, define la responsabilidad de las Municipalidades en la operación de servicios públicos, entre ellos, el Servicio de Alumbrado Público (SAP)⁷.

⁶ Wikipedia. *Comisión Nacional de Energía Eléctrica*. <http://wikiguate.com.gt/wiki>. Consulta: 22 de febrero de 2015.

⁷ Wikipedia. *Alumbrado público*. <http://www.energuate.com/alumbrado-publico>. Consulta: 28 de enero de 2015

La Municipalidad de Guatemala es la responsable de:

- Ampliación e introducción de alumbrado en localidades o incremento en el número de lámparas instaladas.
- Mantenimiento del alumbrado existente, sustitución de focos, fotoceldas, traslado de lámparas, entre otros.
- Delimitación de las comunidades que integran su municipio para la aplicación del cargo de servicio de alumbrado público.

Energuate también es la entidad responsable de recaudar las cuotas establecidas a los usuarios para cubrir el costo del servicio.

La forma de Energuate para calcular el costo del consumo toma las siguientes variables:

- Cantidad de lámparas instaladas en el municipio.
- Potencia de las lámparas.
- Horas utilizadas (solo se cobran 12 horas de utilización aunque este encendida todo el día).
- Días del mes en que se utilizó el servicio (para evitar la variación de meses de 30, 31 o 28 días, se hace un cálculo estándar que divide los 365 días del año entre 12 meses; entonces, cada mes se toma como 30,41666 días).
- Tarifa vigente de alumbrado público, la cual es establecida y ajustada trimestralmente por la CNEE.

A continuación se presenta un ejemplo, el cual se puede encontrar en el apartado de “Alumbrado Público” en el sitio de Energuate.

Ejemplo:

1. Cantidad de lámparas = 450
2. Potencia de las lámparas = 0,175 kW
3. Horas utilizadas = 12 horas
4. Días del mes en que se utilizó el servicio = 365/12 días
5. Tarifa de alumbrado público = 2,21 Q/kWh (este precio cambia cada 3 meses según determinación de la CNEE)
6. $450 \times 0,175 \times 12 \times (365/12) \times 2,21 = Q63\ 523,69$
7. Facturación de Alumbrado Público = Q63 523,69
8. Expansión y Mantenimiento = 5 % (establecido por la Municipalidad)
9. Clientes del Municipio = 2 683
10. $Q63\ 523,69 \times 1,05 / (2\ 683) = \text{SAP } Q24,86$
11. Cada cliente aportará Q24,86 para cubrir el costo operativo del servicio de alumbrado público.

En Guatemala las lámparas mayormente utilizadas son las lámparas de vapor de sodio, las cuales son comúnmente de potencias mayores a los 150 W.

2.6. Problema del sistema de alumbrado público actual

Muchas vías de tránsito vehicular dentro del país, como lo son las carreteras departamentales, y las calles de la ciudad y pueblos, pasan la mayor parte de la noche desperdiciando energía eléctrica, debido a que muy pocos vehículos circulan a través de ellas durante estas horas.

Las lámparas de alumbrado público se encienden aproximadamente desde las 18:00 horas hasta las 6:00 horas del día siguiente, lo que se traduce

a doce horas de cada día de miles de lámparas consumiendo energía. Estas lámparas son del tipo haluro metálico, vapor de sodio o vapor de mercurio, las cuales son más comunes en Guatemala. La tecnología que utilizan estas lámparas es muy poco eficiente, convirtiendo mucha parte de la energía en calor, y poca en luz. La tecnología de alumbrado público actual en Guatemala es muy poco eficiente a comparación de tecnología nueva como lo es la iluminación led.

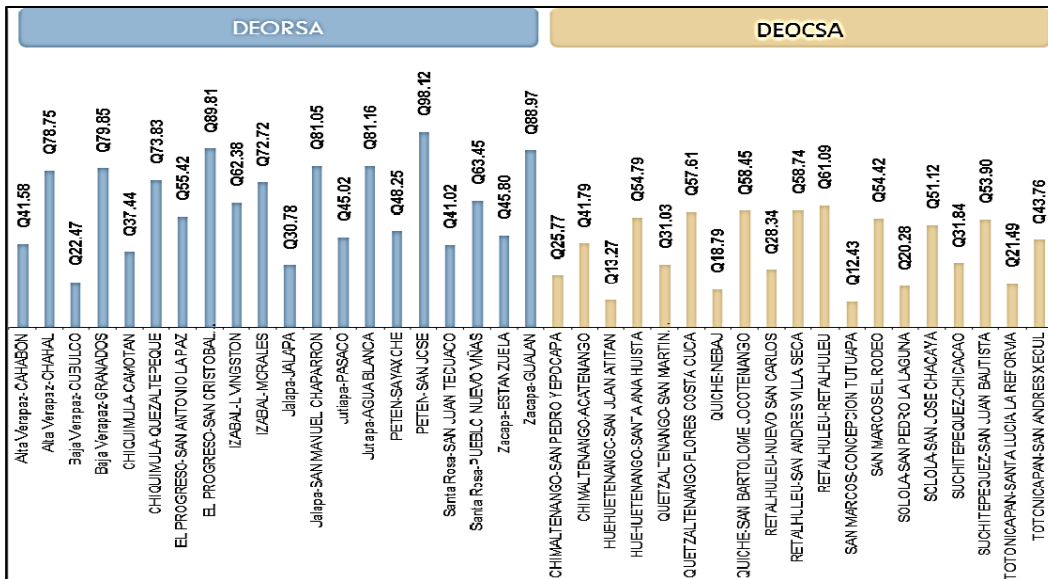
El problema con este sistema y con la forma en que una empresa como Energuate realiza el cobro, radica en la elevación innecesaria del valor de la facturación de energía eléctrica de cada cliente dentro del municipio.

El cobro del servicio de alumbrado público se incluye en la facturación del servicio de energía eléctrica de los usuarios. La inclusión y forma del mismo depende de la jurisdicción municipal en donde se ubica el usuario⁸.

En la siguiente figura se muestra el costo del servicio del alumbrado público de algunos de los municipios cuya energía eléctrica es proporcionada por Energuate.

⁸ Boletín de alumbrado público publicado por la CNEE: *Servicio de alumbrado público de Guatemala*. <http://www.cnee.gob.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Alumbrado%20Publico,%20Nov-2012.pdf>. Consulta: 23 de febrero de 2015.

Figura 6. Costo del alumbrado público de septiembre de 2012 para los clientes de Energuate



Fuente: Boletín de alumbrado público publicado por la CNEE: *Servicio de alumbrado público de Guatemala*. <http://www.cnee.gov.gt/xhtml/prensa/Boletin%20Alumbrado%20Publico,%20Nov-2012.pdf>. Consulta: 23 de febrero de 2015.

Existen muchas áreas dentro de cada municipio que no necesita tener iluminación constante durante toda la noche, debido a que son lugares no habitadas en las que solo se encuentran carreteras, las cuales son poco transitadas.

Una forma de ayudar a las municipalidades y a sus habitantes a reducir la cantidad de energía eléctrica consumida por el municipio, consiste en el control de las lámparas de alumbrado público de dichas áreas. Encendiendo y apagando las lámparas únicamente cuando es necesario, es decir, al paso de un vehículo.

3. DISEÑO Y ADAPTACIÓN

3.1. El sistema y sus partes

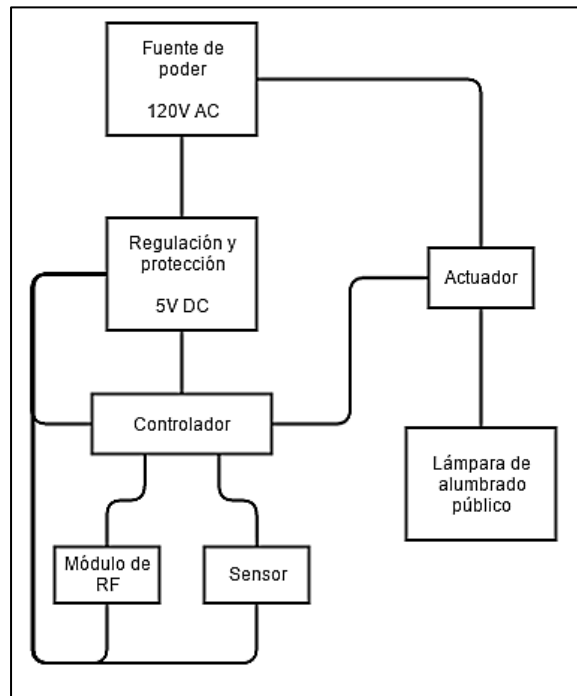
Se desea diseñar un sistema capaz de controlar las lámparas de alumbrado público en carreteras, para reducir el consumo energético. El sistema se instalará en cada una de las luminarias de la carretera, y será capaz de detectar movimiento de vehículos y de comunicarse con otros elementos del sistema para proveer un camino bien iluminado para el vehículo desde antes que este pase por debajo de la luminaria, de manera que el vehículo tenga una distancia adecuada iluminada delante de él. Posterior al paso del vehículo, el sistema apagará nuevamente las lámparas para reducir consumo.

Cada uno de los elementos del sistema instalados en las luminarias contará con los siguientes componentes:

- Sensor: encargado de detectar la presencia o el paso de un vehículo debajo de la lámpara. El tipo de sensor se determinará de acuerdo las características necesarias para un funcionamiento ideal.
- Módulo de radiofrecuencia: encargado de crear y de recibir físicamente las señales de radiofrecuencia a través del aire.
- Controlador: encargado de la lógica de funcionamiento, del procesamiento de las señales de entrada y salida.
- Regulador y protector: encargado de convertir la corriente alterna presente en el alumbrado público a corriente directa, necesaria para el funcionamiento del controlador y demás partes.
- Actuador: es el actuador encargado de apagar y encender las bombillas.

La forma en que estarán conectados los componentes se muestra en el siguiente diagrama de bloques.

Figura 7. **Diagrama de bloques del sistema**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

La única fuente de energía eléctrica disponible para el sistema es la red eléctrica. Esta fuente brinda 120 V de corriente alterna. El sistema de control se diseñará para funcionar con 5 V de corriente directa, por lo que es necesario un regulador de voltaje que convierta 120 V AC a 5 V DC. Además de la regulación del voltaje, el circuito regulador será capaz de proteger al resto del sistema de picos de voltaje o corriente o cualquier otra anomalía que pueda suceder en la red eléctrica.

Al circuito de regulación y protección estarán conectados el controlador, el sensor, y el módulo de radio frecuencia, ya que estos tres elementos serán elegidos para funcionar con 5 V, teniendo siempre la eficiencia y el consumo de energía en mente.

El sensor es el encargado de detectar confiablemente el movimiento o el paso de un vehículo, e informar al controlador para que actúe acorde a eso. Para esta aplicación es necesario un sensor que pueda funcionar en la oscuridad.

La función del módulo de radiofrecuencia es crear un canal confiable de comunicación entre los controladores de las lámparas. Recibe y envía información a criterio del controlador para asegurar la comunicación entre luminarias y un óptimo funcionamiento del sistema.

El controlador recibirá y procesará las señales del sensor PIR y del módulo RF, así como de activar el módulo RF para enviar información a lámparas vecinas. También es responsable de activar el actuador cuando es necesario. El controlador debe llevar toda la lógica de funcionamiento, y determinar las acciones adecuadas tomando en cuenta todos los estímulos.

Las lámparas de alumbrado público están hechas para funcionar con corriente alterna, por lo que debe haber un elemento actuador que conecte a la lámpara con el suministro de energía de la red eléctrica cuando el controlador así lo indique. A este elemento se le conoce como actuador. El actuador deberá responder a un pulso de 5 V dado por el controlador.

3.2. Selección de los componentes

A continuación se presenta la selección de los componentes.

3.2.1. Sensor

Esta parte del sistema es la encargada de informar al controlador cuando detecte cualquier movimiento debajo de la luminaria. Las características con las que debe cumplir dicho sensor son las siguientes:

- Confiable
- Tiempo de respuesta corto
- Capaz de detectar movimiento a distancias mayores a los 8 m
- Ángulo de detección mayor a 45°
- Bajo consumo energético
- Comunicación simple con el controlador

La tecnología mayormente utilizada para detección de movimiento son los sensores infrarrojos pasivos o PIR (por sus siglas en inglés). Estos sensores aprovechan la radiación infrarroja emitida por los cuerpos en su campo de visión. Cualquier cuerpo con una temperatura mayor al cero absoluto (cero grados Kelvin) emite radiación infrarroja, lo que le permite a este tipo de sensor detectar movimientos de cualquier objeto, ya sea en el día o en la noche.

Se dice que este tipo de sensores es pasivo en el sentido de que no es necesaria una fuente de luz infrarroja o de cualquier otro tipo. El sensor funciona únicamente con la luz infrarroja que recibe de los cuerpos a su alrededor, ya sea emitida o reflejada.

Debido a su gran versatilidad, y compatibilidad con las características necesarias para este proyecto, se decidió utilizar un sensor PIR como detector de movimiento.

Se utilizará el sensor AMN14111, el cual es manufacturado por Panasonic, y posee características aceptables para esta aplicación.

Figura 8. **Sensor AMN14111**



Fuente: *Pir Sensor 10m Long Range - Black*. <http://www.rapidonline.com/electronic-components/pir-sensor-10m-long-range-black-61-1512>. Consulta: 24 de febrero de 2015.

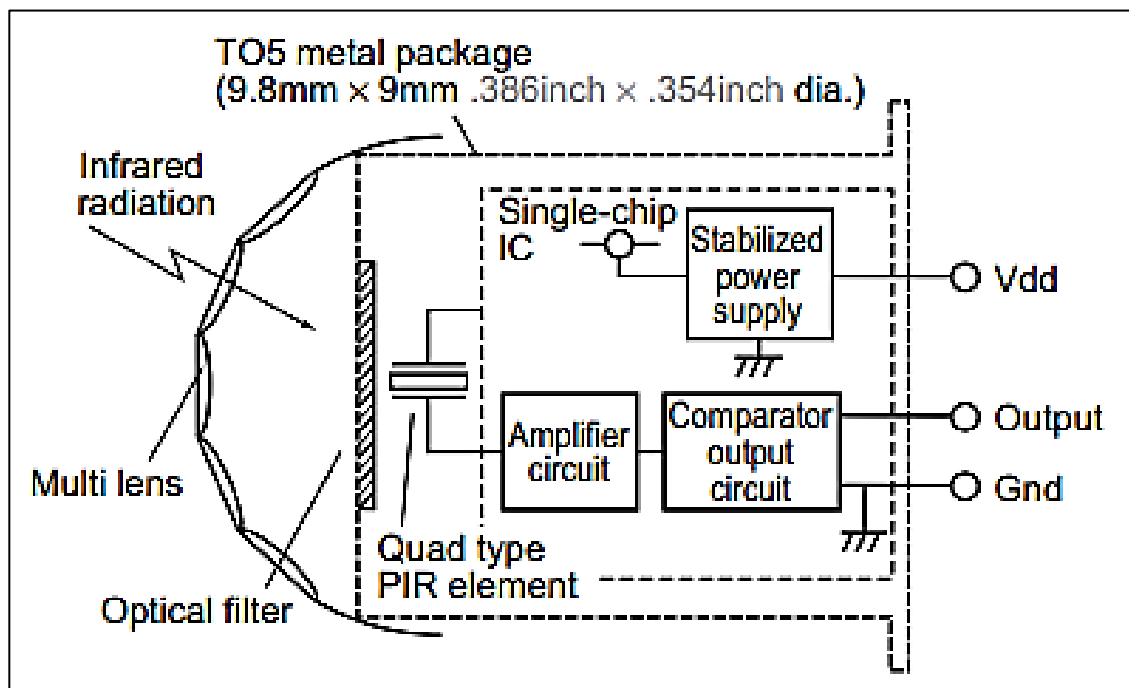
Este módulo utiliza tres pines para su funcionamiento:

- VDD
- GND
- Salida

Este es el sensor PIR más pequeño del mundo con amplificador integrado. Es una décima parte del volumen de otros sensores PIR, y una quinta parte del área de superficie del sensor convencional, lo que permite la instalación versátil.

El sensor cuenta con un circuito amplificador y un circuito comparador, por lo que la salida únicamente tiene estados digitales alto y bajo. Esto permite su conexión directa a un microcontrolador.

Figura 9. Diagrama de bloques del sensor AMN14111



Fuente: Hoja de datos del fabricante. <http://www.rapidonline.com/pdf/61-1500e.pdf>. Consulta: 24 de febrero de 2015.

El sensor AMN14111 está contenido en un empaquetado de metal TO5, lo que le permite tener una gran inmunidad hacia el ruido introducido por teléfonos celulares y otros dispositivos.

A continuación se presentan las características de dicho módulo:

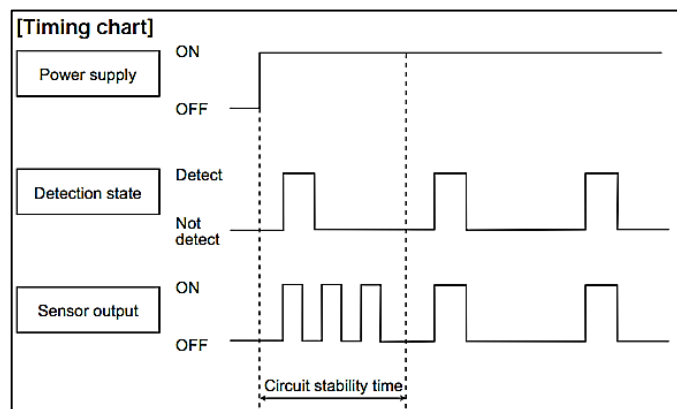
Tabla IV. **Características del sensor AMN14111**

Parámetro	Valor
Voltaje de alimentación	3 V – 6 V
Corriente de operación	170 μ A típica, 300 μ A máxima
Voltaje de salida	Alto: VDD / Bajo: 0 V
Corriente de salida	100 μ A
Ángulo de detección	110° máximo
Temperatura de operación	-20 °C – 60 °C
Rango de detección	10 m

Fuente: *Hoja de datos del fabricante*. <http://www.rapidonline.com/pdf/61-1500e.pdf>. Consulta: 24 de febrero de 2015.

Como se puede ver en la siguiente figura, la salida del sensor es alta instantáneamente cuando se detecta movimiento, y permanece en este estado mientras se siga detectando movimiento. Existe un tiempo máximo de treinta segundos luego de encender el sensor, cuando la salida de este no es estable, y presenta un comportamiento similar al de un interruptor físico con rebotes.

Figura 10. **Diagrama de tiempos del sensor AMN14111**



Fuente: *Hoja de datos del fabricante*. <http://www.rapidonline.com/pdf/61-1500e.pdf>. Consulta: 24 de febrero de 2015.

3.2.2. Módulo de radiofrecuencia

Es el encargado de comunicar a los microcontroladores entre sí. Cuando una luminaria necesite avisar a otra luminaria vecina que un vehículo se dirige hacia ella, es tarea del módulo de radiofrecuencia el crear un canal de comunicación confiable, por medio del cual se pueda transmitir la información necesaria.

La innovación del sistema se basa en la comunicación entre luminarias para mantener en todo momento bien iluminado el camino por el cual el vehículo conducirá, por lo que es de suma importancia el buen funcionamiento de los módulos de comunicación por radiofrecuencia.

Debido a que el sistema se utilizará en carreteras, es poco probable que existan muchos obstáculos entre los postes de luz. Los postes no se encontrarán a una distancia mayor de doscientos metros entre sí. Esto permite tomar ventaja de la transmisión más confiable y de mayor calidad, la cual es modulación en frecuencia. Ya que se trabajará con electrónica digital, la mejor opción es utilizar transmisores y receptores FKS.

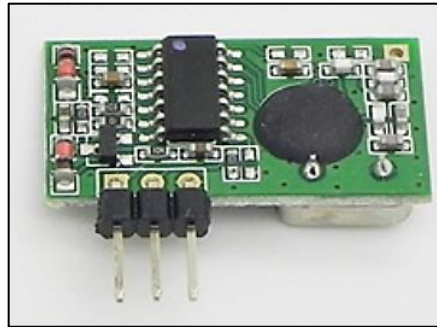
Los componentes elegidos son los módulos de transmisión y recepción FSK series HM-T y HM-R, respectivamente. Estos módulos son fabricados por Hope Microelectronics, y se caracterizan por tener una gran distancia de trabajo y ser de bajo consumo energético.

El módulo transmisor FSK HM-T es un compacto circuito integrado, que utiliza tres pines para su funcionamiento:

- VDD

- DATA
- GND

Figura 11. **Módulo de transmisión FSK HM-T**



Fuente: *ABC Electrónica*. <http://www.abcelectronica.net>. Consulta: 19 de febrero de 2015.

Las características de la serie de módulos de transmisión FSK HM-T se presentan a continuación:

Tabla V. **Características de la serie de módulos de transmisión FSK HM-T**

Parámetro	Valor
Voltaje de alimentación	2,5 V – 5 V
Corriente de operación	30 mA – 31 mA
Tasa de transferencia de datos	600 bps – 9 600 bps
Temperatura de operación	-35 °C – 80 °C

Fuente: *Hoja de datos del fabricante*. http://www.sos.sk/a_info/resource/Hope/HM-T_v3.2.pdf.

Consulta: 18 de febrero de 2015.

Existen tres variantes del módulo de transmisión FSK HM-T, las cuales difieren en su frecuencia de funcionamiento:

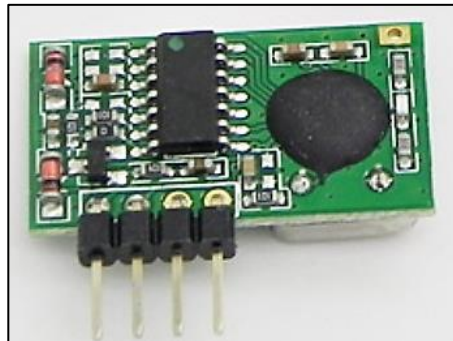
- HM-T433: frecuencia de 434 Hz, potencia de salida de 6 dBm
- HM-T868: frecuencia de 869 Hz, potencia de salida de 4 dBm
- HM-T915: frecuencia de 915 Hz, potencia de salida de 4 dBm

Se utilizará el transmisor HM-T433, debido a su mayor potencia de salida, lo que asegurará una mayor distancia de transmisión.

El módulo receptor FSK HM-r es un compacto circuito integrado, que utiliza cuatro pines para su funcionamiento:

- VDD
- DATA
- GND
- ENABLE

Figura 12. **Módulo receptor FSK HM-R**



Fuente: *ABC Electrónica*. <http://www.abcelectronica.net>. Consulta: 19 de febrero de 2015.

Las características de la serie de módulos de transmisión FSK HM-T se presentan a continuación:

Tabla VI. **Características de la serie de módulos de recepción FSK HM-R**

Parámetro	Valor
Voltaje de alimentación	2,5 V – 5 V
Corriente de operación	30 mA – 31 mA
Tasa de transferencia de datos	600 bps – 9 600 bps
Temperatura de operación	-35 °C – 80 °C

Fuente: *Hoja de datos del fabricante*. <http://www.kosmodrom.com.ua/pdf/HM-R868.pdf>.

Consulta: 18 de febrero de 2015.

De igual manera que en la serie de módulos transmisores, existen tres variantes del módulo de recepción FSK HM-R, las cuales difieren en su frecuencia de funcionamiento:

- HM-R433: frecuencia de 434 Hz
- HM-R868: frecuencia de 869 Hz
- HM-R915: frecuencia de 915 Hz

Se utilizará el receptor HM-R433, debido a que el módulo de transmisión elegido fue el HM-T433. De esta manera ambos estarán funcionando a la misma frecuencia.

Los módulos de comunicación HM-T y HM-R ambos cuentan con un pin llamado DATA. Este pin trabaja con un protocolo de comunicación serial. Para transmitir datos usando un módulo de transmisión HM-T basta con enviar dichos datos en forma serial hacia el pin DATA. Mientras que en el módulo de recepción HM-R, los datos que recibe los entregará al controlador de forma serial.

3.2.3. Microcontrolador

Es el cerebro de todo el sistema y de sus actividades; encargado de llevar la lógica de funcionamiento, de leer señales del sensor, de enviar y recibir información a través de los módulos de comunicación FSK y de hacer trabajar a todos los demás componentes colectivamente. También es el encargado de controlar tiempos de encendido y apagado de las lámparas, por medio del actuador.

El microcontrolador que se elija debe contar con características muy básicas. Se necesitan pocos pines para controlar y leer todas las señales que hacen funcionar al sistema. A continuación se enlistan las características que debe tener dicho microcontrolador:

- Comunicación serial: los módulos de transmisión y recepción FSK elegidos utilizan comunicación serial, por lo que es necesario que el microcontrolador también cuente con esta comunicación. Los pines de comunicación de los microcontroladores normalmente están denotados por Rx y Tx para la recepción y transmisión respectivamente.
- Un pin de entrada digital capaz de crear una interrupción: el sensor PIR envía un pulso al momento de detectar movimiento. El microcontrolador debe ser capaz de detectar inmediatamente este pulso, y actuar acorde a él.
- Un pin de salida para controlar al actuador.
- Un temporizador para controlar el tiempo de encendido de las lámparas.

Debido a que se necesita que el microcontrolador cuente con comunicación serial, se eligió el microcontrolador PIC16F688, el cual cumple con todas las características manteniendo el número de pines al mínimo.

Las características más importantes del microcontrolador PIC16F688 son las siguientes:

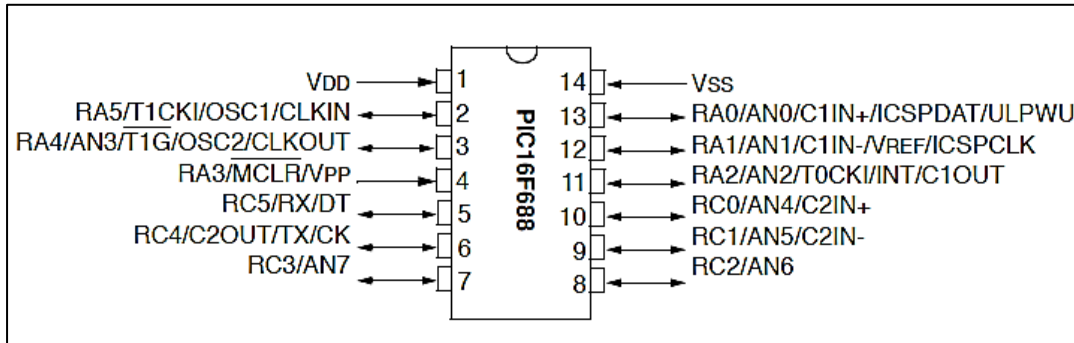
- Capacidad de interrupciones
- Oscilador interno de precisión
- Modo de reposo de bajo consumo
- Celda *flash*/EEPROM de alta duración
 - 100 000 escrituras en *flash*
 - 1 000 000 escrituras en EEPROM
 - Retención de datos en *flash* y EEPROM mayor a 40 años
- 12 pines de propósito general (I/O)
- 2 comparadores análogos
- Conversor análogo-digital (ADC) con resolución de 8 bits
- Temporizador de 8 bits
- Temporizador de 16 bits
- Módulo USART (comunicación serial)

La lista completa de las características del microcontrolador PIC16F688, así como sus especificaciones eléctricas se encuentra en su hoja de datos.

Este microcontrolador es capaz de funcionar a 5 V, y consume una potencia máxima de 800 mW.

Se utilizará el microcontrolador 16f688 en su presentación QFN, el cual es un circuito integrado de superficie y de muy pequeño tamaño.

Figura 13. Integrado DIL del PIC16F688



Fuente: Hoja de datos del fabricante.

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41203D.pdf>. Consulta: 8 de marzo de 2015.

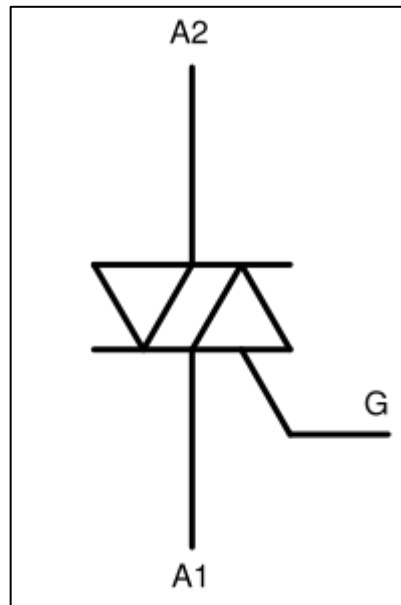
3.2.4. Actuador

Es el elemento encargado de encender la lámpara de la luminaria, al comando del controlador.

El actuador debe ser un componente electrónico de potencia capaz de responder a un pulso de parte del controlador y permitir el paso de los 120 V AC a la lámpara cuando sea necesario.

Debido a su versatilidad como interruptor estático, el componente elegido para funcionar como actuador será un Triac. El Triac es un semiconductor de potencia que posee tres electrodos: A1, A2 y puerta. El disparo del Triac se realiza aplicando una corriente al electrodo puerta.

Figura 14. **Símbolo de un Triac**



Fuente: *ABC Electrónica*. <http://www.abcelectronica.net>. Consulta: 19 de febrero de 2015.

Las lámparas que se utilizan en el alumbrado público consumen potencias que van desde los 100 hasta los 250 W. Ya que la red eléctrica que provee de energía a estas lámparas es de 120 V, se tiene que cada lámpara puede consumir una corriente que va desde los 909 mA, hasta los 2,27 A. Se debe seleccionar un Triac capaz de manejar estas potencias y corrientes.

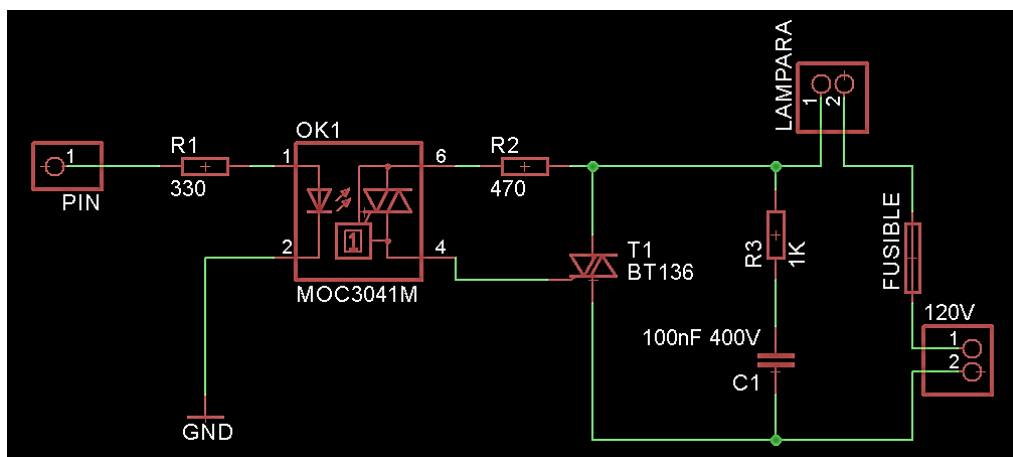
El Triac elegido es el modelo BT136-500E, el cual funciona con corrientes de hasta 4 A, y tensiones de hasta 500 V. Por ende, el Triac puede funcionar hasta con 2 kW de potencia, lo que lo hace excelente para esta aplicación.

A diferencia de los otros componentes como los módulos RF y el sensor, el Triac no se puede conectar directamente al microcontrolador. En cambio, se necesita de un circuito de adaptación para su conexión. Este circuito cumple

con dos propósitos. El primero es el de proveer a la compuerta del Triac con una corriente lo suficientemente alta para que este sea activado. El segundo propósito es el de aislar eléctricamente el semiconductor de potencia con el resto del circuito controlador, de manera que los altos voltajes de la corriente alterna no dañen el resto del circuito en el caso de alguna falla.

El circuito de adaptación para el Triac se muestra en la siguiente figura.

Figura 15. **Circuito de control de Triac**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en este circuito se utiliza un optoacoplador MOC3041 para aislar eléctricamente la parte del circuito AC con la parte del circuito DC. Un optoacoplador es un dispositivo electrónico en forma de circuito integrado que funciona como interruptor activado mediante la luz emitida por un led. La luz del led activa un fototransistor o un fototriac dentro del mismo circuito integrado.

El Triac BT136-500 actúa como interruptor en serie con la carga, que en este caso es la lámpara de alumbrado público. La resistencia R1 limita la corriente del led del optoacoplador para protegerlo. De igual manera la resistencia R2 limita la corriente que circula por el fototriac hasta un valor seguro. La resistencia R3 y el condensador C1 forman un circuito denominado Snubber. La función de este circuito es suprimir los transitorios de voltaje introducidos por la carga o por la red de 120 V AC, los cuales pueden disparar inadvertidamente el Triac.

Los transitorios son cambios en la forma de onda, de por lo menos dos veces el valor RMS de la tensión. Aunque los transitorios tienen una duración de milisegundos o hasta nanosegundos, es importante incluir protección ya que estos pueden causar destrucción de componentes electrónicos, daños a circuitos impresos y mal funcionamiento de los sistemas entre otros.

Se incluye un fusible en el diseño para proteger al circuito de corrientes excesivas.

Cabe notar que el Triac BT136-500 tendrá una corriente considerable circulando a través de él, por lo que se tendrá que utilizar un disipador para regular su temperatura.

3.2.5. Sistema rectificador y regulador

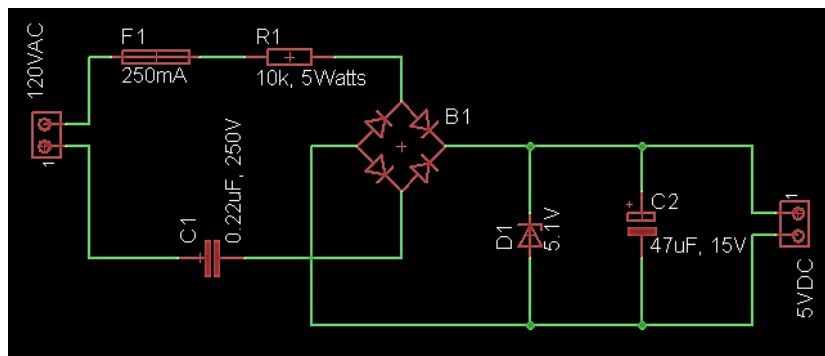
El circuito rectificador y regulador será el encargado de suministrar energía al resto del sistema, por lo que debe ser capaz de suministrar la corriente necesaria por todas las demás partes, sin afectar el voltaje suministrado.

El circuito debe transformar los 120 V AC a 5 V DC para el funcionamiento de los componentes que requieren este voltaje. Anteriormente se utilizaba un transformador para este propósito, pero en este diseño se optará por usar componentes más prácticos de menor peso y menor volumen.

El sistema se realizará utilizando 4 diodos en forma de un puente de diodos que rectificaran la corriente, y un diodo zener que regulará el voltaje.

A continuación se muestra el diagrama esquemático del circuito que se utilizará.

Figura 16. **Circuito rectificador y regulador**



Fuente: elaboración propia.

Este circuito provee 5 V DC utilizando la menor cantidad de componentes posibles. R1 limita la corriente, mientras que el puente de diodos B1 rectifica el voltaje AC. El diodo zener D1 regula la salida del rectificadora de B1 para obtener 5 V estables. El capacitor C2 funciona como filtro. El fusible F1 protegerá de sobretensiones y transitorios.

El puente de diodos se realizará mediante cuatro diodos 1N4004. El diodo zener utilizado será el diodo 1N4733A.

4. INTEGRACIÓN DE LOS COMPONENTES Y SOLUCIÓN FINAL

4.1. Conexión de los componentes

Ya que se han determinado las características y parámetros necesarios para el buen funcionamiento del sistema, y ya que se han elegido los componentes que serán utilizados para la elaboración del mismo, resta integrar los componentes.

La forma en la que los componentes del sistema estarán conectados entre sí se muestra en el diagrama de bloques de la figura 7. El siguiente paso en la integración de los componentes consiste en realizar un diagrama completo del circuito electrónico que comprende el sistema. Para este fin existen diversos programas de computadora mediante los cuales el diseñador puede crear circuitos, importar componentes, realizar conexiones y hasta realizar simulaciones en tiempo real del comportamiento del circuito. Estos programas ofrecen al diseñador una interfaz gráfica fácil de comprender, además de muchas herramientas para automatizar y facilitar algunas tareas.

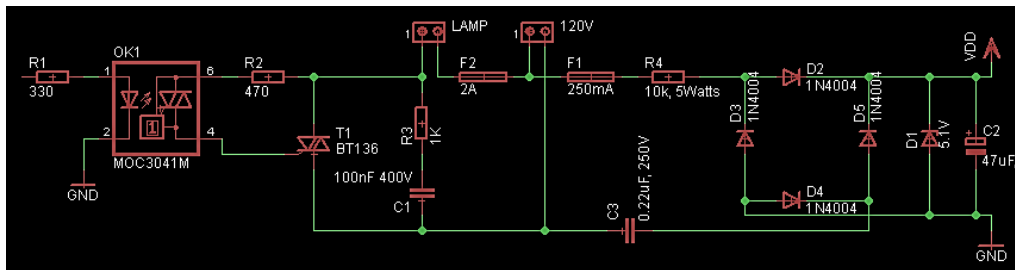
El programa utilizado para diseñar circuitos electrónicos en este trabajo es Eagle 6.4.0, el cual es un software bajo licencia de la compañía Cadsoft. Todos los circuitos presentados en el presente trabajo son diagramas esquemáticos realizados mediante este software.

El sistema se puede dividir en dos grandes circuitos: el circuito que funciona con corriente alterna, y el circuito que funciona con corriente directa.

4.1.1. Circuito AC

Esta parte del circuito consiste en el circuito de control de Triac, y el circuito rectificador y regulador, los cuales ambos han sido presentados en el capítulo anterior. La resistencia R1 se conecta al pin del microcontrolador encargado de activar y desactivar el optoacoplador.

Figura 17. Diagrama esquemático de circuito AC

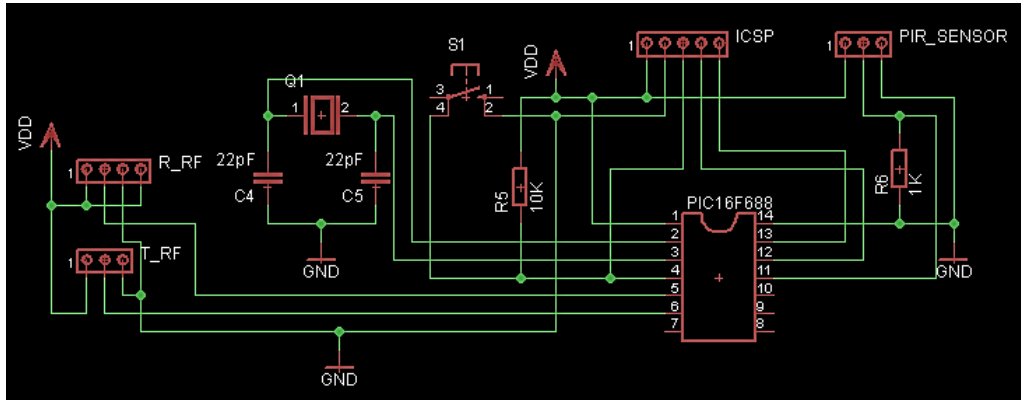


Fuente: elaboración propia, empleando Gnuplot.

4.1.2. Circuito DC

Comprende del microcontrolador, junto con las conexiones necesarias para la programación ICSP, la comunicación con los módulos de transmisión y recepción de radiofrecuencia, la conexión con el sensor de movimiento PIR y la conexión del cristal de cuarzo.

Figura 18. Diagrama esquemático de circuito DC



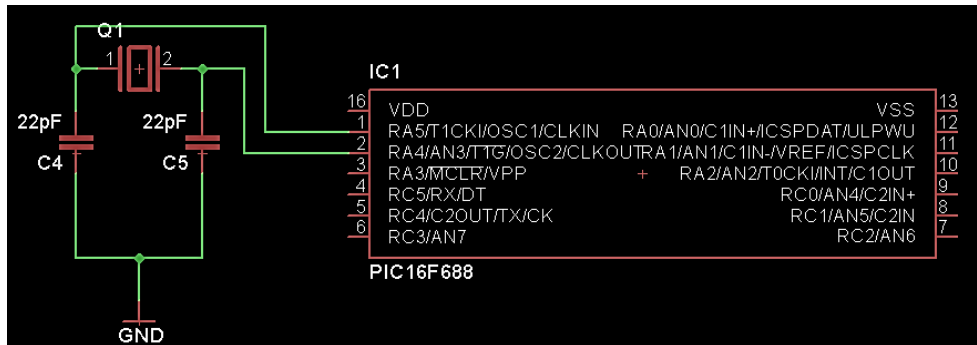
Fuente: elaboración propia, empleando Gnuplot.

Se utiliza el pin RC3 para controlar el Triac como actuador. A continuación se mostrará más detalladamente la conexión de los componentes del circuito DC.

4.1.2.1. Oscilador

Para el buen funcionamiento del microcontrolador, este debe contar con una fuente confiable de señal de reloj. Por este motivo en vez de utilizar el oscilador interno del microcontrolador, se colocará un oscilador de cuarzo externo. Este oscilador se conecta en los pines OSC1 y OSC2 del PIC. En el caso del PIC 16F688 estos pines son los pines 1 y 2. Al oscilador de cuarzo se conectan también dos capacitores cerámicos de 22 pF para estabilizar la forma de onda del mismo.

Figura 19. Diagrama esquemático de conexión del oscilador de cuarzo



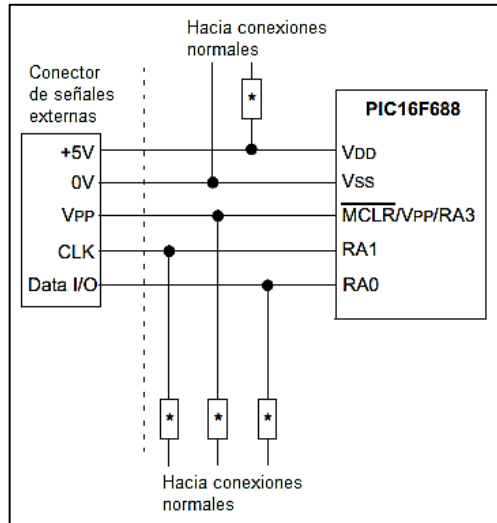
Fuente: elaboración propia, empleando Gnuplot.

4.1.2.2. Programación serial dentro de circuito (ICSP)

La programación serial dentro de circuito (ICSP por sus siglas en inglés) se utiliza para poder programar la memoria del microcontrolador una vez que este ya está ubicado e instalado en la placa de circuito. En ocasiones es posible programar la memoria del microcontrolador antes de instalarlo, pero en otros casos es necesaria la utilización de ICSP. En este caso, ya que se seleccionó el empaquetado QFN del PIC16F688, es necesaria la utilización de ICSP es imprescindible, ya que no existe un porta-integrados para este tipo de integrados.

La capacidad de poder programar mediante ICSP se logra conectando ciertos componentes al microcontrolador, y un conector serial para la conexión con la programadora, como se muestra en la siguiente figura.

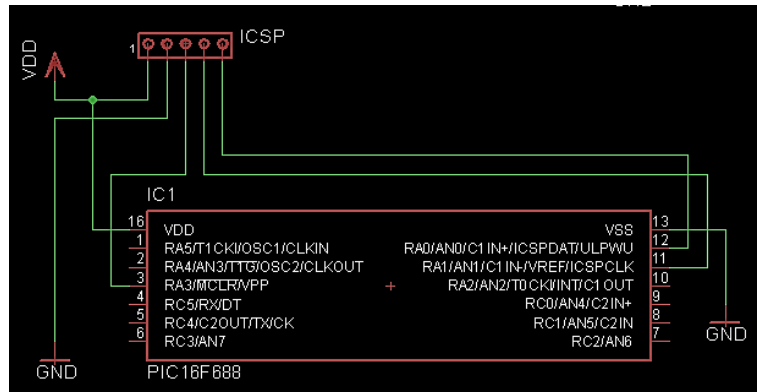
Figura 20. **Conexión para ISCP**



Fuente: *Hoja de datos del fabricante.*

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41203D.pdf>. Consulta: 8 de marzo de 2015.

Figura 21. **Diagrama esquemático de conexión para ISCP**



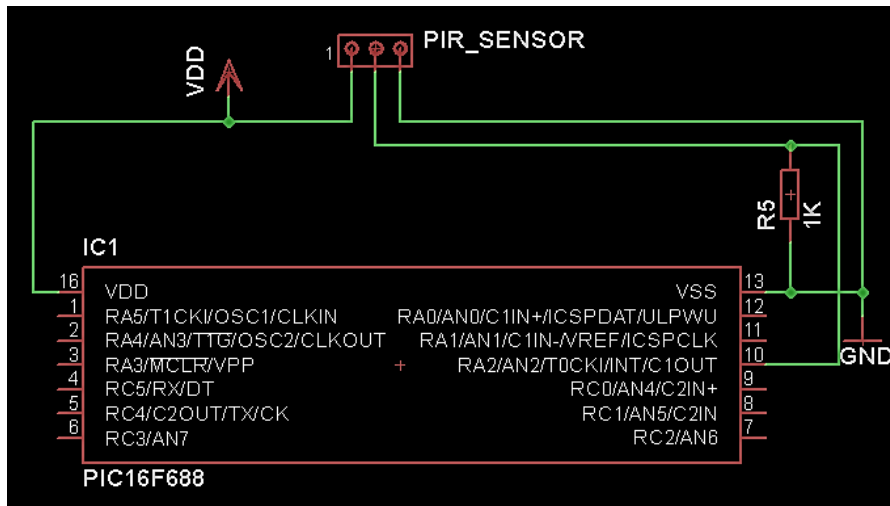
Fuente: elaboración propia, empleando Gnuplot.

4.1.2.3. Conexión del sensor de movimiento PIR

El sensor debe conectarse a un pin del microcontrolador capaz de activar una interrupción interna cuando se presente un cambio de estado en dicho pin. Se eligió el pin RA2, el cual cumple con esta condición.

La conexión del sensor de movimiento PIR es muy simple, ya que solo cuenta con dos pines de alimentación, y un pin de salida. Su conexión al microcontrolador se muestra en la siguiente figura. Se conecta una resistencia *pull-down* para prevenir estados inciertos a la salida del sensor PIR. Las resistencias *pull-down* son resistencias que se conectan a tierra, y mantienen un estado bajo, a menos que la salida del sensor sea alta. Estas resistencias tienen un valor pequeño, de alrededor de 1 kΩ.

Figura 22. Diagrama esquemático de conexión del sensor PIR



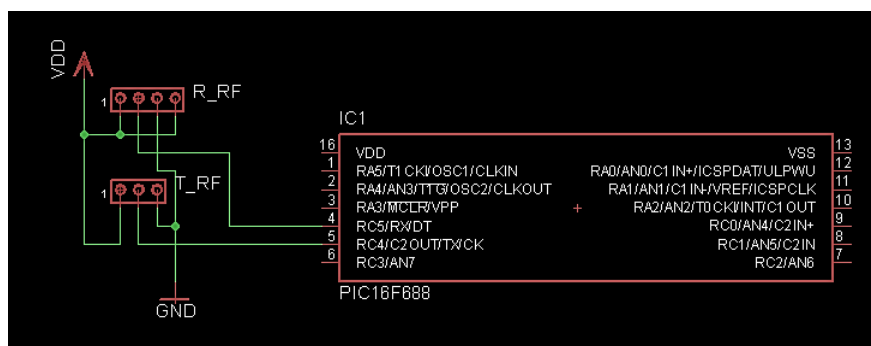
Fuente: elaboración propia, empleando Gnuplot.

4.1.2.4. Conexión de los módulos de radiofrecuencia

La conexión de los módulos de radiofrecuencia también es simple. Ambos módulos cuentan con dos pines de alimentación, y un pin de comunicación serial. El pin de comunicación serial del módulo receptor se conecta con el pin RX (recepción serial) del microcontrolador, mientras que el pin de comunicación serial del módulo emisor se conecta con el pin TX (transmisión serial) del microcontrolador.

El módulo de recepción RF también cuenta con un pin Enable, que permite habilitar o deshabilitar la recepción de datos. Este pin está conectado a VDD para que siempre esté habilitado para recibir información. Dentro de la programación de la memoria del microcontrolador se podrá elegir cuando o cuándo no leer la información de este módulo.

Figura 23. Diagrama esquemático de conexión módulos RF

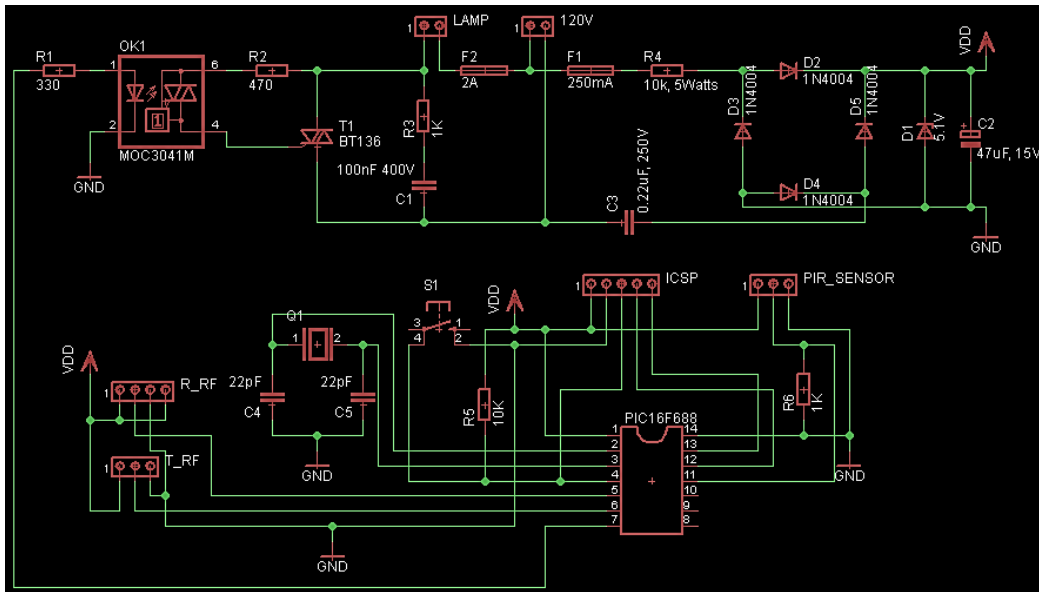


Fuente: elaboración propia, empleando Gnuplot.

4.1.3. Circuito final

Uniendo el circuito DC con el circuito AC, se obtiene el circuito completo capaz de controlar las luminarias. Este es el circuito final que se instalará dentro de cada luminaria luego de su respectiva programación.

Figura 24. Diagrama esquemático de solución final



Fuente: elaboración propia, empleando Gnuplot.

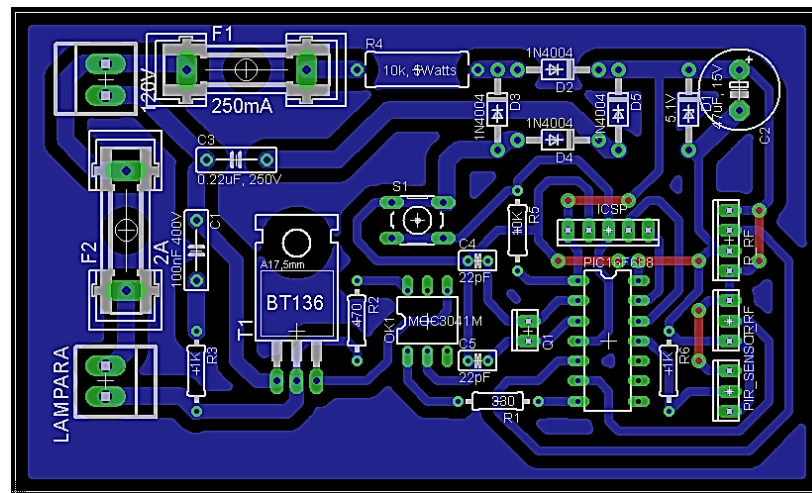
4.2. Elaboración de placas impresas

La elaboración de sistemas y circuitos electrónicos se lleva a cabo mediante las placas de circuito impreso. Estas placas o tarjetas son de un material aislante, cuyas superficies son laminadas con algún material conductor, comúnmente cobre. Se utilizará placas de fibra de vidrio laminadas con cobre, ya que son de mayor calidad que otras opciones como la baquelita.

Se utilizará también Eagle para realizar el diseño de la placa de circuito impreso. El diseño de la placa marca los caminos que deben ser elaborados en dicha placa de circuito impreso. Este proceso se puede realizar por medio de distintos métodos. Para prototipos es común utilizar impresiones en papel *couche* (también llamado papel recubierto o papel esmaltado) las cuales luego se transfieren a la lámina de cobre mediante la aplicación de calor, para posteriormente sumergir la placa en un ácido que corroe el cobre que no está cubierto por tinta, dando lugar a la formación de los caminos necesarios. Para la producción en masa de placas impresas se utilizan otros métodos como serigrafía o CNC.

A continuación se presenta el diseño de la placa de circuito impreso.

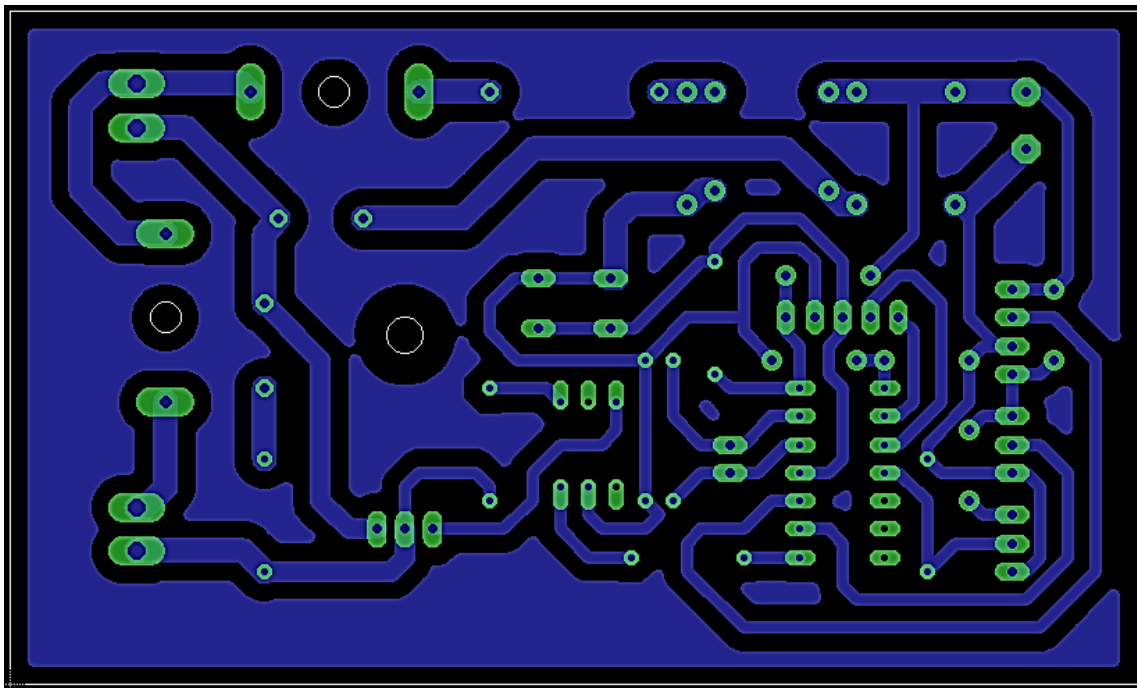
Figura 25. **Diseño de circuito impreso con componentes I**



Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura se puede observar el mismo diseño, sin los componentes electrónicos. Esta es la imagen que debe ser transferida a la placa de circuito impreso.

Figura 26. **Diseño de circuito impreso sin componentes II**



Fuente: elaboración propia.

En la sección de anexos se incluye la versión en tamaño real del diseño de la placa, lista para ser impresa.

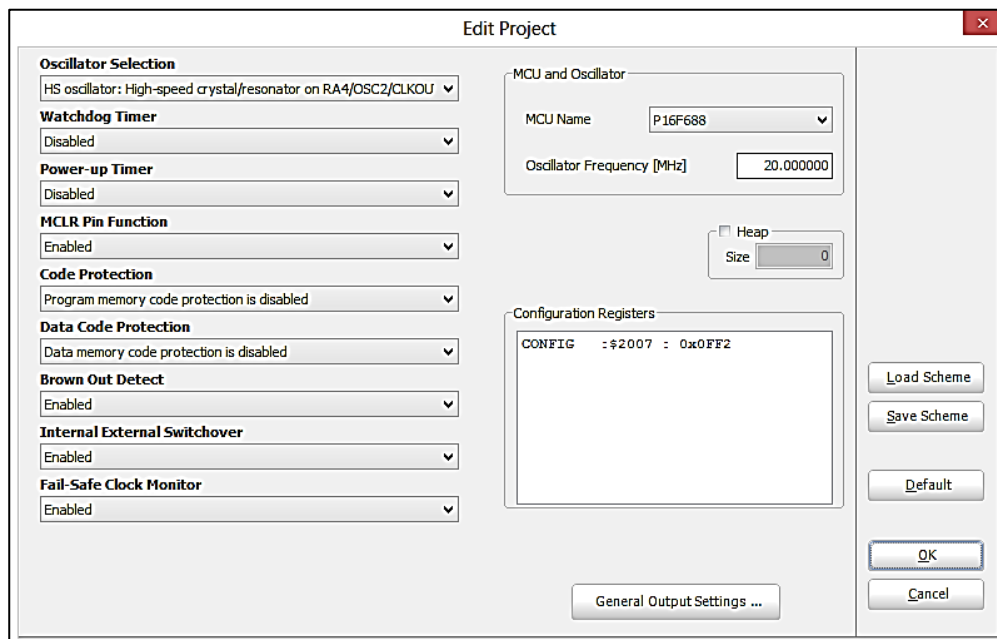
4.3. Programación del microcontrolador

Las memorias de los microcontroladores se programan mediante computadoras y programadoras especializadas para este fin. Para este proyecto se utilizará el programa MikroC, el cual es un software basado en el

lenguaje de programación C. Cuenta con una versión gratuita con ciertas limitaciones, como el tamaño del programa a diseñar. MikroC es un programa muy versátil que facilita los procesos mediante el uso de librerías, y presenta al usuario una interfaz amigable y fácil de interpretar. C es un lenguaje de programación muy poderoso, ideal para describir el proceso de funcionamiento de este proyecto.

En la siguiente figura se muestra la configuración utilizada para la programación.

Figura 27. **Diseño de circuito impreso sin componentes III**



Fuente: elaboración propia, empleando Office Project.

El código de programación para la memoria del microcontrolador se encuentra en la sección de anexos.

4.3.1. Enumeración e identificación de las luminarias

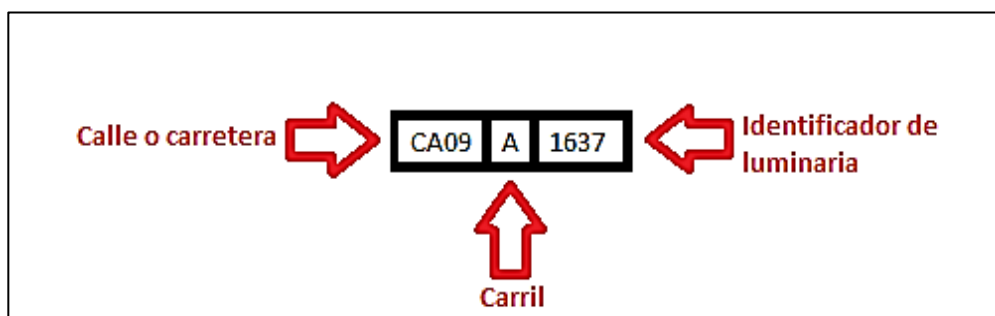
La comunicación de las luminarias se realizará por medio de radiofrecuencia. Las ondas de radio emitidas por las luminarias serán capaces de llegar a muchas otras luminarias a su alrededor. En otras palabras, una luminaria no será capaz de comunicarse únicamente con las luminarias que estén a sus lados. Es por este motivo que se debe crear un sistema de enumeración de las luminarias.

Dentro de cada mensaje transmitido por una luminaria debe incluirse el código de identificación de la luminaria destino. De esta manera se asegura que la orden dentro del mensaje sea ejecutada únicamente por la luminaria correcta.

Idealmente una luminaria se comunicará con las dos luminarias a sus lados.

El sistema de enumeración e identificación de las luminarias se muestra en la siguiente figura.

Figura 28. Enumeración e identificación de luminaria



Fuente: elaboración propia.

La primera casilla denota la carretera o la calle a la que pertenece la luminaria. Esto permitirá agrupar las luminarias por trayectos. La segunda casilla denota el carril en el que se encuentra la luminaria. Las carreteras que cuenten con una sola fila de lámparas para alumbrar ambos carriles utilizarán la letra A, mientras que en las carreteras que cuenten con dos filas de lámparas, las que se encuentren en un carril serán denotadas con la letra A, mientras que las del otro carril serán denotadas con la letra B. Por último, el identificador será un número de 4 dígitos que identifica inequívocamente a cada luminaria dentro de esa carretera.

4.4. Solución final

Se propuso diseñar un sistema que reduzca considerablemente los costos del alumbrado público en Guatemala. El sistema se instalaría en cada uno de los postes de luz de una carretera o vía vehicular poco transitada que no requiera que todas las lámparas de los postes se encuentren encendidas todo el tiempo. El sistema es capaz de detectar el recorrido de vehículos y podrá alertar a las lámparas vecinas para que se enciendan anticipadamente al paso del vehículo, y se apaguen posteriormente.

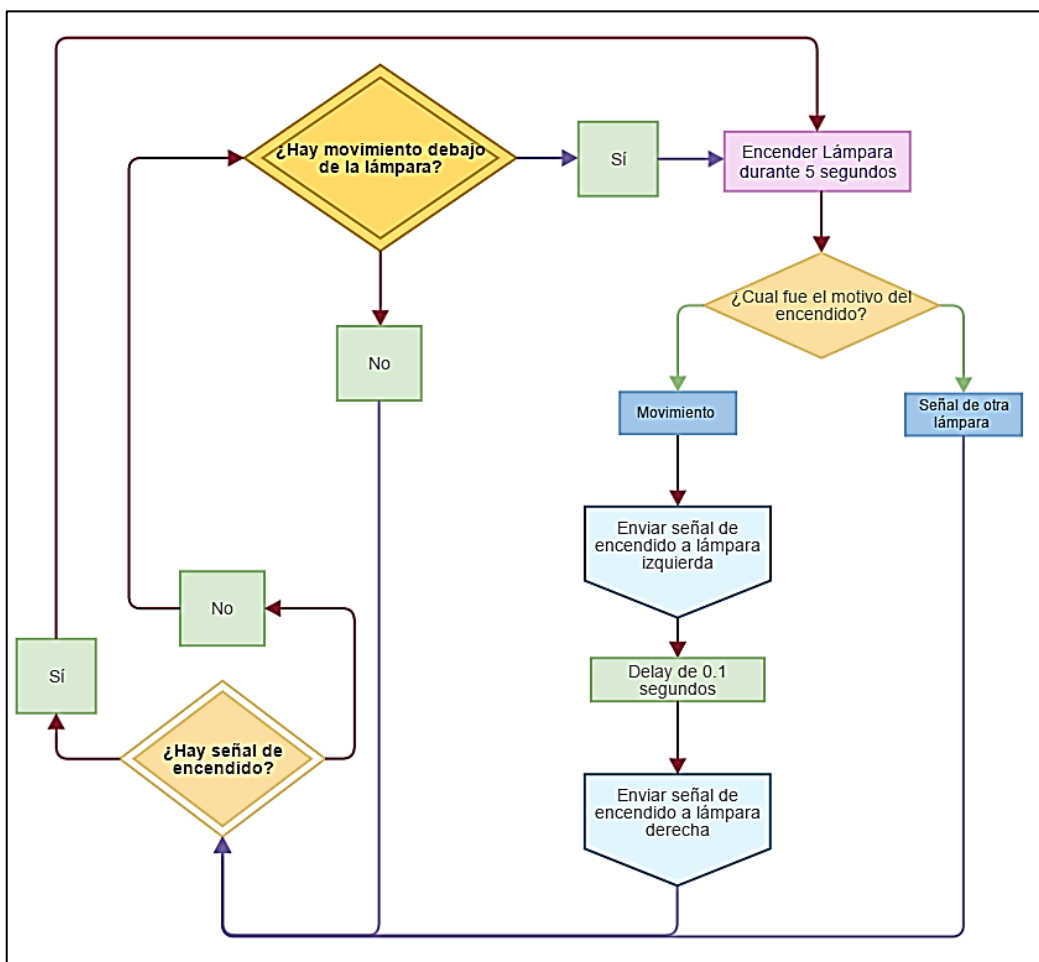
El sistema es lo suficientemente pequeño y compacto como para ser ubicado dentro de la carcasa de las lámparas de alumbrado público, protegiéndolo así de la intemperie, y permitiendo una instalación limpia y rápida. El sensor deberá ser colocado fuera de la carcasa de la luminaria para que la detección funcione. De ser necesario, se hará una adaptación para que la antena del módulo RF también salga de la carcasa y esté libre de interferencias.

De ser implementado, el sistema creará una solución autónoma y confiable que evitará el desperdicio de energía eléctrica y, con este, los gastos innecesarios.

4.5. Diagrama de flujo del funcionamiento

A continuación se presenta la figura de lógica de funcionamiento.

Figura 29. Lógica de funcionamiento



Fuente: elaboración propia.

A continuación se explica el diagrama de flujo de la lógica de funcionamiento de cada controlador dentro de la lámpara:

Existen dos posibles causas para que una luminaria se encienda:

- Movimiento debajo de la luminaria (paso de vehículo)
- Señal de encendido de luminaria vecina

Lo primero que el microcontrolador revisa es si existe un comando de encendido proveniente de alguna luminaria vecina. De existir dicho comando, el controlador encenderá la lámpara e, inmediatamente después, enviará un comando de encendido a cada una de sus luminarias vecinas. De no existir comando de encendido, el microcontrolador revisa si hay movimiento debajo de la luminaria, es decir si hay alguna señal del sensor PIR. De existir esta señal de movimiento, igualmente se encenderá la lámpara y se enviará comando de encendido a las luminarias vecinas.

Cualquiera que sea el motivo por el cual una lámpara se encendió, esta permanecerá encendida durante cinco segundos antes de apagarse, a menos que durante el transcurso de estos cinco segundos se genere otra causa de encendido, es decir señal del sensor o comando. En este caso, el temporizador del microcontrolador se resetea a cero, y el conteo de cinco segundos inicia nuevamente.

El proceso anterior se visualiza en la figura anterior, y consiste en un ciclo infinito, que está constantemente verificando si se cumple cualquiera de las dos causas de encendido de la luminaria. Este proceso y su lógica de funcionamiento se encuentran controlados por el microcontrolador. El código del

programa quemado en la memoria del microcontrolador se encuentra en la sección de anexos.

4.6. Análisis de consumo de energía

El propósito de este sistema es reducir considerablemente el consumo de energía eléctrica por parte del sistema del alumbrado público. A continuación se realiza un pequeño análisis que permite verificar si dicho objetivo se cumple.

En el siguiente ejemplo se analizará un conjunto de mil luminarias que alumbran una carretera que cumple con la característica principal, para el buen aprovechamiento de este sistema, es decir: es una carretera con poca circulación vehicular durante las horas de alumbrado. Las luminarias de esta carretera utilizan sistemas de balastos y focos que consumen 175 W de potencia.

1. Como primer caso, se analiza la situación en la que las luminarias funcionan sin ningún tipo de control ni automatización. En este esquema las luminarias funcionan durante doce horas cada día, de 6 pm a 6 am. Se consideran los siguientes factores:
 - a. Cantidad de lámparas = 1 000
 - b. Potencia de lámparas = 175 W
 - c. Horas utilizadas = 12 h
 - d. Días del mes en que se utilizó el servicio = 365/12 días
 - e. Tarifa de alumbrado público = 1,51 Q/kWh

Entonces, realizando el cálculo del costo de la energía eléctrica de un mes:

Costo mensual:

$$(1\ 000)(0,175\ \text{kW})(12\ \text{h})(365/12\ \text{días})(1,51\ \text{Q/kWh})$$

$$\text{Costo mensual} = \underline{\text{Q } 96\ 451,25}$$

2. Como segundo caso, se analiza la situación en el que las mil luminarias tienen instalado el sistema de control de alumbrado público con detección de movimiento y comunicación por radiofrecuencia diseñado en este trabajo. El sistema de control consume una potencia dentro del rango de 3 a 5 W. Como situación extrema, se analizará la situación con 5 W. En este caso, son los sistemas de control dentro de las luminarias los que estarán encendidos durante 12 horas diarias. Para los sistemas de control se consideran los siguientes factores:

- a. Cantidad de sistemas = 1 000
- b. Potencia de los sistemas = 5 W
- c. Horas utilizadas = 12 h
- d. Días del mes en que se utilizó el servicio = 365/12 días
- e. Tarifa de alumbrado público = 1,51 Q/kWh

Entonces, realizando el cálculo del costo de la energía eléctrica de un mes debido a los sistemas:

Costo mensual:

$$(1\ 000)(0,005\ \text{kW})(12\ \text{h})(365/12\ \text{días})(1,51\ \text{Q/kWh})$$

$$\text{Costo mensual} = \underline{\text{Q } 7\ 755,75}$$

Para los balastos y focos de las lámparas se considera lo siguiente: ya que es una carretera poco transitada, se tomará un promedio de vehículos por minuto para realizar el cálculo. Para los balastos y focos se consideran los siguientes factores:

- f. Cantidad de lámparas = 1 000
- g. Potencia de las lámparas = 175 W
- h. Vehículos por minuto = 3
- i. Horas utilizadas (3 vehículos/minuto = 180 vehículos/h = 2 160 vehículos cada 12 horas) =
(2 160 vehículos)(5 s/vehículo)(1 h / 3 600 s) = 3 horas
- j. Días del mes en que se utilizó el servicio = 365/12 días
- k. Tarifa de alumbrado público = 1,51 Q/kWh

Entonces, realizando el cálculo del costo de la energía eléctrica de un mes debido a los sistemas:

Costo mensual:

$$(1\ 000)(0,175\ \text{kW})(3\ \text{h})(365/12\ \text{días})(1,51\ \text{Q/kWh})$$

$$\text{Costo mensual} = \underline{\text{Q } 24\ 112,81}$$

Al sumar los costos mensuales de los sistemas de control y de las lámparas en el segundo caso, se obtiene el costo total mensual.

$$\text{Costo mensual total} = \text{Q } 7\ 755,75 + \text{Q } 24\ 112,81$$

$$\text{Costo mensual total} = \underline{\text{Q } 31\ 868,56}$$

Los resultados de ambos casos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla VII. **Comparación de costo mensual de energía eléctrica con y sin sistema de control**

Costo mensual sin sistema de control	Q 96 451,25
Costo mensual con sistema de control	Q 31 868,56
Ahorro anual por mil luminarias	Q 64 582,69

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, existe una diferencia significativa en el costo de la energía eléctrica al implementar un sistema de control de las luminarias de una carretera poco transitada durante la noche.

CONCLUSIONES

1. Con la implementación del sistema de control de alumbrado público diseñado en este trabajo se puede reducir el costo de la iluminación en carreteras poco transitadas en más del 50 %.
2. Mediante el uso de la electrónica se puede hacer más eficiente muchos sistemas y procesos de la actualidad, de manera que representen menor costo, cuando no es factible un salto a nuevos sistemas y tecnologías que requieren de una muy grande inversión.
3. Las municipalidades de Guatemala gastan grandes cantidades de dinero en energía eléctrica. Gran parte de este gasto se debe al alumbrado público. En Guatemala todavía se usa tecnología de alumbrado público de consumo excesivo. En el país todavía no se ha adoptado un hacia tecnología de mejor iluminación y menor consumo eléctrico, como la tecnología led.

RECOMENDACIONES

1. Implementar un sistema como el descrito en este trabajo para el control del alumbrado público en carreteras de poca afluencia vehicular durante la noche.
2. Para reducir más la facturación de energía eléctrica, se debe cambiar la tecnología usada actualmente como las lámparas de vapor de mercurio y lámparas halógenas, por tecnología de menor potencia y mejor iluminación como lo es la tecnología led.
3. Realizar un estudio y un análisis de los costos de la producción en masa del sistema de control de alumbrado público, con detección de movimiento y comunicación por radiofrecuencia diseñado en este trabajo, para conocer cuál sería el costo de su implementación, y para analizar en cuánto tiempo se recuperaría la inversión.
4. La CNEE cobra el consumo de la energía eléctrica basándose en la potencia de las lámparas, y asumiendo que estas se mantienen encendidas doce horas al día siempre. Es necesario incentivar a la CNEE para crear una nueva forma de cobro por la energía eléctrica consumida por el alumbrado público, ya que con la implementación de un sistema como este, las luminarias no estarían encendidas doce horas al día.

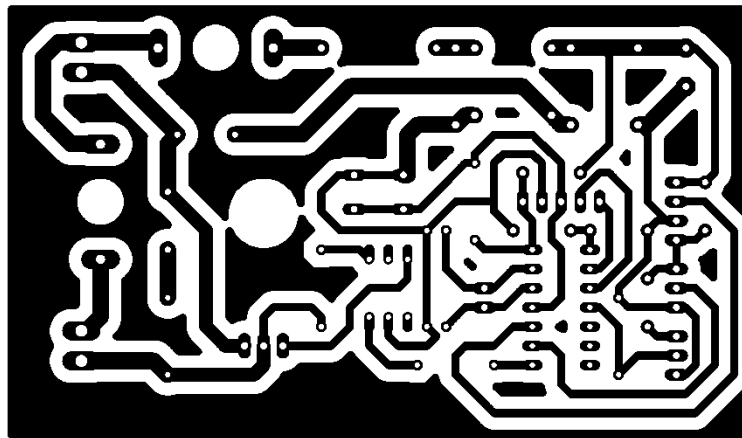
BIBLIOGRAFÍA

1. ESCALANTE, Marco Vinicio. *Revolución digital en la radio*. Quito: CIESPAL, 2005. 140 p.
2. GARCÍA GAGO, Santiago. *Manual para radialistas analfatécnicos*. [en línea] <<http://www.analfatecnicos.net/pregunta.php?id=1>>. [Consulta: 28 de enero de 2015].
3. GONZALEZ LÓPEZ, Francisco Javier. *Iluminación, alumbrado general de interiores*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Eléctrica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 116 p.
4. GUTIERREZ, Pedro. *¿Cómo funciona la computación actual?: funcionamiento de la arquitectura de von Neumann*. [en línea] <<http://www.genbetadev.com/actualidad/como-funciona-la-computacion-actual-funcionamiento-de-la-arquitectura-de-von-neumann>>. [Consulta: 4 de febrero de 2015].
5. LÓPEZ VIGIL, José Ignacio. *Manual urgente para radialistas apasionados y apasionadas*. Quito: CIESPAL, 2004. 160 p.
6. SANTIZO GUERRA, Mario Francisco. *Consideración técnico-económica del estudio de eficiencia energética para el alumbrado público con la utilización de balastos electrónicos*. Trabajo de

graduación de Ing. Mecánica Eléctrica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 172 p.

ANEXOS

Diseño de placa de circuito impreso



Código de programación para el microcontrolador PIC16F688

/*

Nombre del proyecto:

DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL DE ALUMBRADO PÚBLICO
CON DETECCIÓN DE MOVIMIENTO Y COMUNICACIÓN POR RADIO
FRECUENCIA

Autor:

Rodrigo Arana García

Descripción:

Este código describe el funcionamiento de microcontroladores que automatizan el encendido y apagado de luminarias de alumbrado público.

Este trabajo fue realizado como trabajo de graduación por Rodrigo Arana García, asesorado por el Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar, al conferírsele el título de Ingeniero Electrónico en la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Configuración:

Microcontrolador: PIC16F688

Oscilador: 20MHz

*/

```
unsigned long id = 1254369861;    // ID de la luminaria. Luminaria en
carretera de un solo carril. Luminarias vecinas 1254369860 y
1254369862
```

```
unsigned long contador = 0;      // para contar el tiempo de encendido de
la lampara
```

```
char output;                    // lectura de UART
```

```
int output2;                    //lectura de UART en int
```

```
bit bandera_ON;
```

```
void encender();
```

```
void main() {
```

```
    ANSEL = 0;                  // todos los pines configurados como digitales
```

```
    PORTA = 0;                  // inicializacion del puerto A
```

```
    PORTC = 0;                  // inicializacion del puerto C
```

```

TRISA.RA2 = 1;      // pin RA2 configurado como entrada (sensor
PIR)
TRISC.RC3 = 0;     // pin RC3 configurado como salida (actuador)
TRISC.RC4 = 0;     // pin RC4 configurado como salida (TX, serial
out)
TRISC.RC5 = 1;     // pin RC5 configurado como entrada (RX, serial
in)

OPTION_REG = 0b11000111; // resistencias pull-up de puerto A
desabilitadas
// interrupcion INT en flanco ascendente.
// configuracion de Timer0 como timer (incrementa con
senal de reloj)
// incremento en flanco ascendente
// prescaler asignado a timer0
// prescaler de 256
INTCON = 0b01110000; // interrupciones globales deshabilitadas
// interrupciones enmascaradas habilitadas
// interrupcion de timer0 habilitada
// habilita interrupcion por cambio de estado del pin RA2
// bandera de interrupcion por desborde de timer0 baja
// bandera de interrupcion por cambio de estado baja

UART1_init(9600); // inicializacion de comunicacion serial

delay_ms(200);    // tiempo de espera para estabilizar sistema

INTCON.GIE = 1;   // interrupciones globales habilitadas

```

```

bandera_ON = 0;

do{                               // ciclo infinito
    if (UART1_Data_Ready() == 1) { // revisar si hay datos listos para
leer
        UART1_Read_Text(output, "ON", 5); // leer datos
    }
    output2 = (int) output;        // conversion de la entrada a entero para
comparar
    if (output2 == 1637) {        // determinar si el mensaje es para esta
lampara
        encender();             // ir a rutina encender
    }
    else {
        output = 0;             // limpiar variables
        output2 = 0;
    }
    if (bandera_ON == 1) {       // revisa si hay bandera para encender
        encender();             // ir a rutina encender
    }
} while (1);
}

void encender() {
    if (PORTC.RC3 == 1){        // revisa si la lampara ya esta encendida
        T1CON.TMR1ON = 0;      // detiene timer
        TMR0 = 0;              // reinicia timer
        contador = 0;          // resetea contador
        T1CON.TMR1ON = 1;      // inicia timer
    }
}

```

```

    }
    PORTC.RC3 = 1;           // encender lampara
    T1CON.TMR1ON = 1;       // inicia timer
    UART1_Write_Text("1638ON"); // mensaje para encender lampara
vecina 1
    delay_ms(100);
    UART1_Write_Text("1636ON"); // mensaje para encender lampara
vecina 2
}

void interrupt() {
    if (INTCON.INTF == 1){ // si la interrupcion se activo por el
sensor
        INTCON.INTF = 0; // bajar bandera
        bandera_ON = 1; // activa bandera de encendido
    }
    else if (INTCON.T0IF == 1){ // si la interrupcion se activo por timer
        contador++; // incrementar variable contador
        if (contador == 390625){ // contador llega a 390625 luego de 5
segundos
            PORTC.RC3 = 0; // apagar lampara
            contador = 0; // resetear contador
            T1CON.TMR1ON = 0; // detener timer
        }
    }
}
}

```

Fuente: CNEE, Servicio de alumbrado eléctrico.

