



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“Diseño de un control de iluminación a base de LED’s  
vía Internet para una casa-habitación”

Tesis

Que para obtener el título de:  
Ingeniero Eléctrico-Electrónico

Presenta

René Rodríguez Mosqueda

Director de Tesis: Ing. Juan José López Márquez

México, D.F., 2008



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**A mi Padre:**

Ing. René Rodríguez Navarro,  
por su apoyo en todos los sentidos y paciencia.

**A mi Madre:**

Sra. Esperanza Mosqueda Mendoza,  
por su apoyo y entusiasmo.

Mi agradecimiento a mi director de tesis,  
Ing. Juan José López Márquez,  
mi padre Ing. René Rodríguez Navarro  
y a Rafael Rodríguez Mosqueda.

# ÍNDICE.

LISTA DE ILUSTRACIONES . . . . .	ii
LISTA DE TABLAS . . . . .	iv
INTRODUCCIÓN . . . . .	v
<b>CAPÍTULO 1. LED'S Y VARIABLES ELÉCTRICAS . . . . .</b>	<b>1-1</b>
1.1 <i>¿QUÉ ES UN LED?</i> . . . . .	1-1
1.1.1 <i>TIPOS Y CLASIFICACIÓN DE LED'S</i> . . . . .	1-3
1.2 <i>FUNCIONAMIENTO</i> . . . . .	1-6
1.3 <i>APLICACIONES CON LED'S</i> . . . . .	1-10
1.3.1 <i>LOS LED'S EN LA ILUMINACIÓN</i> . . . . .	1-16
1.4 <i>ADQUISICIÓN Y MEDICIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS.</i> . . . .	1-18
1.5 <i>TIPOS DE CONTROL DE ILUMINACIÓN</i> . . . . .	1-22
<b>CAPÍTULO 2. CÁLCULO DE ILUMINACIÓN PARA UNA CASA-HABITACIÓN . . . . .</b>	<b>2-29</b>
2.1 <i>TIPOS DE ILUMINACIÓN</i> . . . . .	2-29
2.2 <i>PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN EL CÁLCULO DE ILUMINACIÓN</i> . . . . .	2-49
2.2.1 <i>INTERIORES Y EXTERIORES</i> . . . . .	2-53
2.3 <i>LÁMPARAS DE LED'S EXISTENTES EN EL MERCADO</i> . . . . .	2-55
2.4 <i>COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES DISPOSITIVOS PARA ILUMINACIÓN</i> . . . . .	2-58
<b>CAPÍTULO 3. LABVIEW Y CONTROL POR INTERNET . . . . .</b>	<b>3-63</b>
3.1 <i>LABVIEW</i> . . . . .	3-63
3.2 <i>DISEÑO DEL CONTROL DE ILUMINACIÓN</i> . . . . .	3-69
3.2.1 <i>DESARROLLO DE LA INTERFAZ USUARIO-COMPUTADORA EN LABVIEW</i> . . . . .	3-72
3.2.2 <i>ACOPLAMIENTO COMPUTADORA-LÁMPARAS.</i> . . . .	3-77
3.2.3 <i>GENERACIÓN DE LA SEÑAL PWM</i> . . . . .	3-86
3.2.4 <i>ACCESO AL CONTROL A TRAVÉS DE INTERNET.</i> . . . .	3-97
<b>CAPÍTULO 4. IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL DE ILUMINACIÓN . . . . .</b>	<b>4-101</b>
4.1 <i>IMPLEMENTACIÓN</i> . . . . .	4-101
4.2 <i>RESULTADOS OBTENIDOS</i> . . . . .	4-104
4.3 <i>COSTO DEL USO DE LED'S Y EL CONTROLADOR</i> . . . . .	4-106
<b>CONCLUSIONES . . . . .</b>	<b>108</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA . . . . .</b>	<b>110</b>

## LISTA DE ILUSTRACIONES.

ILUSTRACIÓN 1: DISPOSITIVOS DE ESTADO SOLIDO .....	1—1
ILUSTRACIÓN 2: PUBLICACIONES SOBRE LED'S.....	1—2
ILUSTRACIÓN 3: LED'S DE BAJA POTENCIA .....	1—3
ILUSTRACIÓN 4: LED'S DE ALTA POTENCIA .....	1—4
ILUSTRACIÓN 5: EJEMPLOS DE USO DE LED'S .....	1—5
ILUSTRACIÓN 6: DIODO.....	1—8
ILUSTRACIÓN 7: ENCAPSULADOS DE LED'S .....	1—10
ILUSTRACIÓN 8: INDICADORES.....	1—11
ILUSTRACIÓN 9: DISPLAYS .....	1—11
ILUSTRACIÓN 10: ILUMINACIÓN A BAJA ESCALA .....	1—12
ILUSTRACIÓN 11: LÁSER.....	1—13
ILUSTRACIÓN 12: LED INFRARROJO .....	1—13
ILUSTRACIÓN 13: LED ULTRAVIOLETA .....	1—14
ILUSTRACIÓN 14: SENSOR.....	1—15
ILUSTRACIÓN 15: PANTALLAS.....	1—16
ILUSTRACIÓN 16: ILUMINACIÓN CON LED'S.....	1—17
ILUSTRACIÓN 17: MEDICIÓN DIFERENCIAL .....	1—21
ILUSTRACIÓN 18: MEDICIÓN DE FIN ÚNICO.....	1—22
ILUSTRACIÓN 19: SEÑALES ELÉCTRICAS USANDO DIMMER.....	1—23
ILUSTRACIÓN 20: CIRCUITO DIMMER.....	1—24
ILUSTRACIÓN 21: MOSFET .....	1—26
ILUSTRACIÓN 22: ALIMENTACIÓN ALTERNA.....	1—28
ILUSTRACIÓN 23: ESPECTRO VISIBLE, SENSIBILIDAD RELATIVA DEL OJO HUMANO .....	2—30
ILUSTRACIÓN 24: TÉRMINOS FOTOMÉTRICOS .....	2—32
ILUSTRACIÓN 25: CORRELACIÓN COLOR-TEMPERATURA.....	2—33
ILUSTRACIÓN 26: ÁRBOL DE LA LUZ.....	2—34
ILUSTRACIÓN 27: ESPECTROS: INCANDESCENCIA Y LUMINISCENCIA.....	2—35
ILUSTRACIÓN 28: LÁMPARAS INCANDESCENTES .....	2—38
ILUSTRACIÓN 29: TUBOS FLUORESCENTES .....	2—39
ILUSTRACIÓN 30: LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS Y MINIATURIZADAS.....	2—40
ILUSTRACIÓN 31: LÁMPARA DE VAPOR DE MERCURIO A ALTA PRESIÓN.....	2—41
ILUSTRACIÓN 32: LÁMPARA LUZ MEZCLA .....	2—42
ILUSTRACIÓN 33: LÁMPARA DE HALOGENUROS METÁLICOS .....	2—43
ILUSTRACIÓN 34: LÁMPARA DE VAPOR DE SODIO A BAJA PRESIÓN .....	2—44
ILUSTRACIÓN 35: LÁMPARA DE VAPOR DE SODIO A ALTA PRESIÓN.....	2—45
ILUSTRACIÓN 36: LÁMPARA DE XENÓN .....	2—45
ILUSTRACIÓN 37: LÁMPARA DE NEÓN.....	2—46
ILUSTRACIÓN 38: VARIACIÓN DE FLUJO LUMINOSO A LA TEMPERATURA DE JUNTURA.....	2—47
ILUSTRACIÓN 39: ELEMENTOS QUE CONFORMAN UN LED DE POTENCIA .....	2—48

<i>ILUSTRACIÓN 40: LÁMPARAS DE LED'S MR16</i> .....	2—56
<i>ILUSTRACIÓN 41: LÁMPARAS DE LED'S (SUSTITUTOS DIRECTOS)</i> .....	2—57
<i>ILUSTRACIÓN 42: LUMINARIAS PARA LED'S</i> .....	2—57
<i>ILUSTRACIÓN 43: ASPECTO DE ILUMINACIÓN CON LED'S</i> .....	2—57
<i>ILUSTRACIÓN 44: FLUJO LUMINOSO DE DIFERENTES FUENTES</i> .....	2—59
<i>ILUSTRACIÓN 45: EMISIÓN DE LUZ DE DIFERENTES FUENTES</i> .....	2—61
<i>ILUSTRACIÓN 46: LABVIEW</i> .....	3—64
<i>ILUSTRACIÓN 47: SEÑAL ELÉCTRICA DE PWM CON 555</i> .....	3—70
<i>ILUSTRACIÓN 48: PRIMER NIVEL DE ABSTRACCIÓN</i> .....	3—71
<i>ILUSTRACIÓN 49: SEGUNDO NIVEL DE ABSTRACCIÓN</i> .....	3—71
<i>ILUSTRACIÓN 50: USB-6501</i> .....	3—73
<i>ILUSTRACIÓN 51: DIAGRAMA DE ESTADOS PARA EL CONTROL DE ILUMINACIÓN</i> .....	3—75
<i>ILUSTRACIÓN 52: PANEL FRONTAL DEL PROGRAMA DE CONTROL DE ILUMINACIÓN</i> .....	3—76
<i>ILUSTRACIÓN 53: TERCER NIVEL DE ABSTRACCIÓN PARA EL CIRCUITO SELECCIÓN DE LÁMPARA</i> .....	3—78
<i>ILUSTRACIÓN 54: 6N137</i> .....	3—78
<i>ILUSTRACIÓN 55: SALIDA OPEN-DRAIN</i> .....	3—79
<i>ILUSTRACIÓN 56: CONEXIÓN USB-OPTOACOPLADOR</i> .....	3—80
<i>ILUSTRACIÓN 57: CD4514</i> .....	3—81
<i>ILUSTRACIÓN 58: NE555 Y SU PROGRAMA DE CÁLCULO</i> .....	3—82
<i>ILUSTRACIÓN 59: FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE 5 VOLTS</i> .....	3—82
<i>ILUSTRACIÓN 60: DIAGRAMA DEL CIRCUITO DE SELECCIÓN PWM</i> .....	3—83
<i>ILUSTRACIÓN 61: DIAGRAMA DEL CIRCUITO DE AMPLIFICACIÓN</i> .....	3—85
<i>ILUSTRACIÓN 62: TERCER NIVEL DE ABSTRACCIÓN PARA CIRCUITO PWM</i> .....	3—87
<i>ILUSTRACIÓN 63: DIAGRAMA DE SELECCIÓN DE NIVEL DE TENSIÓN DIRECTA</i> .....	3—88
<i>ILUSTRACIÓN 64: DIAGRAMA DE NIVELES DE TENSIÓN DIRECTA Y OPTOACOPADORES</i> .....	3—89
<i>ILUSTRACIÓN 65: DIAGRAMA DEL DIVISOR DE TENSION DIRECTA</i> .....	3—91
<i>ILUSTRACIÓN 66: FUENTE DE ALIMENTACIÓN SIMÉTRICA DE 5 VOLTS</i> .....	3—92
<i>ILUSTRACIÓN 67: CIRCUITO GENERADOR DE SEÑAL TRIANGULAR</i> .....	3—93
<i>ILUSTRACIÓN 68: CIRCUITO COMPARADOR</i> .....	3—94
<i>ILUSTRACIÓN 69: RELEVADORES 1 POLO 2 TIROS</i> .....	3—95
<i>ILUSTRACIÓN 70: CIRCUITO MOSFET Y RELEVADOR</i> .....	3—96
<i>ILUSTRACIÓN 71: MENÚ DE PUBLICACIÓN WEB</i> .....	3—97
<i>ILUSTRACIÓN 72: TIPO DE PUBLICACIÓN</i> .....	3—98
<i>ILUSTRACIÓN 73: TÍTULO E INDICACIONES</i> .....	3—98
<i>ILUSTRACIÓN 74: NOMBRE DE LA PÁGINA WEB</i> .....	3—99
<i>ILUSTRACIÓN 75: PÁGINA WEB DEL CONTROL</i> .....	3—99
<i>ILUSTRACIÓN 76: FUENTE DE ALIMENTACIÓN PARA ILUMINACIÓN</i> .....	4—101
<i>ILUSTRACIÓN 77: LÁMPARA DE LED'S UTILIZADA</i> .....	4—102
<i>ILUSTRACIÓN 78: DISPOSITIVO USB-6501 SIN SU TERMINAL DERECHA</i> .....	4—102
<i>ILUSTRACIÓN 79: CIRCUITO SELECCIÓN DE LÁMPARA Y SU INTERIOR</i> .....	4—103
<i>ILUSTRACIÓN 80: CIRCUITO PWM Y SU INTERIOR</i> .....	4—103

<i>ILUSTRACIÓN 81: DIAGRAMA DE CONEXIONES .....</i>	<i>4—104</i>
---	--------------

## **LISTA DE TABLAS.**

<i>TABLA 1: CLASIFICACIÓN CRI.....</i>	<i>2—33</i>
<i>TABLA 2: CLASIFICACIÓN DE LÁMPARAS .....</i>	<i>2—37</i>
<i>TABLA 3: NIVELES DE ILUMINACIÓN RECOMENDADOS PARA UNA RESIDENCIA.....</i>	<i>2—51</i>
<i>TABLA 4: EFICACIAS LUMINOSAS DE CADA TIPO DE ILUMINACIÓN HASTA OCTUBRE DE 2007 .....</i>	<i>2—58</i>
<i>TABLA 5: CRI PARA LÁMPARAS DE LED'S SEGÚN LA TEMPERATURA DE COLOR.....</i>	<i>2—60</i>
<i>TABLA 6: COMPARACIÓN DE ILUMINACIÓN MEDIANTE CAVIDADES .....</i>	<i>2—61</i>
<i>TABLA 7: COSTO DE ILUMINACIÓN DE 3 DIFERENTES TIPOS DE LÁMPARAS .....</i>	<i>4—107</i>



## **INTRODUCCIÓN.**

La iluminación es un aspecto fundamental en la vida diaria del ser humano que ha ido evolucionando con el paso del tiempo. Actualmente predominan las fuentes de iluminación por medio de incandescencia y fluorescencia resultando con la mejor eficacia la última. La principal demanda de energía eléctrica es para iluminación por lo que el mejoramiento, avance tecnológico, y reducción del consumo representan grandes ventajas en el ahorro de energía.

Además de las comunes fuentes de iluminación, existen otros tipos que son usados en menor medida para otro tipo de aplicaciones, una de estas es la iluminación por semiconductores. Esta tecnología ampliamente usada en electrónica, concretamente llamados LED's, tenía su principal uso como indicadores luminosos y que gracias a los avances tecnológicos han aumentado su emisión de luz para ser considerados para iluminación con mejor eficiencia que las comunes fuentes de iluminación.

El uso de LED's para iluminación representa un gran ahorro de energía y disminución del costo de la energía consumida y para obtener el máximo ahorro de energía el uso de controles de iluminación colabora para este propósito.

Esta tesis tiene como objetivo diseñar un control de iluminación que permita encender, apagar y modificar la intensidad luminosa de lámparas de LED's remotamente usando herramientas computacionales y por consecuencia tener ahorro de energía y otras ventajas para los usuarios.

El desarrollo de este tema se da por dos cuestiones, la gran variedad de ventajas que acarrea así como el gusto personal por nuevas tecnologías de iluminación. Las ventajas que tiene el uso de un control de iluminación y LED's es a diferentes niveles. Por una parte se reduce el consumo de recursos para generación de energía eléctrica, a los usuarios por la disminución de las cuotas a pagar por la energía eléctrica consumida y

las ventajas que ofrecen los LED's en comparación a otros tipos de iluminación, entre otras razones.

Primeramente esta tesis aborda una descripción detallada de los LED's, su historia, usos, aplicaciones y evolución, formas de controlar la iluminación y conceptos eléctricos involucrados para el desarrollo del tema.

Como siguiente paso se tratan los tipos de iluminación existentes, términos fotométricos y luminotécnicos propios de Iluminación, las bases y factores que intervienen en la iluminación de una residencia y por su puesto la comparación del uso de LED's frente a los comunes tipos de iluminación.

A continuación se trata la parte central de la tesis que es el diseño del control de iluminación, iniciando con una descripción de la herramienta de cómputo usada para la creación del control y que es operado directamente por el usuario, el desarrollo seccionado del diseño del control y por último se aborda el procedimiento para accesar al control remotamente a través de Internet.

Hecho el diseño, se hace la implementación del mismo obteniendo resultados de pruebas con el material disponible actualmente en lo que respecta a lámparas de LED's y finalmente se trata el costo del uso de LED's.

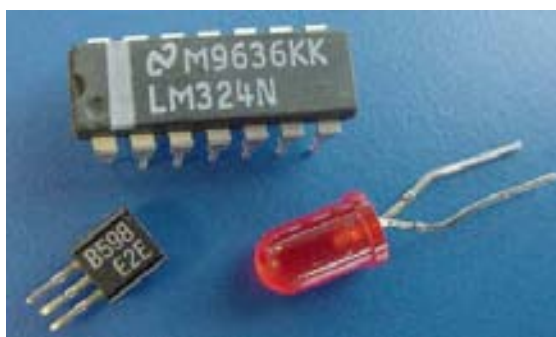
# Capítulo 1

## LED's Y VARIABLES ELÉCTRICAS.

### 1.1 ¿Qué es un LED?

Es la sigla de las palabras en inglés de Light Emitting Diode (diodo emisor de luz) y son pequeños elementos de iluminación y transmisión comúnmente usados en equipos electrónicos como computadoras, equipos de sonido, electrodomésticos, señalizaciones, relojes digitales, controles remotos, pantallas gigantes, lectores de CD y DVD. Los LED's son diferentes de los ordinarios focos incandescentes o lámparas fluorescentes, por que no tienen un filamento o gas, generan muy poco calor, son ideales para usarse en aparatos que usan baterías como teléfonos, juguetes, computadoras portátiles, controles de TV, y ahora en iluminación. Hace unos años solo existían LED's de tonalidad roja, amarilla y verde, hoy en día existen más colores como azul, blanco, turquesa y variaciones de todos estos colores.

Un LED es un dispositivo de estado sólido, se les denomina de esta manera a todos los elementos construidos con materiales semiconductores, algunos ejemplos de estos son los transistores y diodos. Estos dispositivos los encontramos en todas partes, como en teléfonos celulares, controles remoto, reproductores MP3, cámaras digitales, computadoras, fuentes de alimentación eléctrica, electrodomésticos, radios, etc.



*Ilustración 1*

*Dispositivos de Estado Sólido: Circuito Integrado (LM324N), Transistor (B598), LED rojo.  
Fuente: howstuffworks.com*

El primer reporte conocido sobre diodos emisores de luz fue hecho en 1907 por un científico inglés llamado Henry Joseph Round. Este científico es más conocido por sus logros en la radio y por ser asistente de Guglielmo Marconi. Específicamente se le atribuye la primera noción de un LED tal como lo describe en uno de sus reportes – “...durante una investigación del paso asimétrico de corriente a través de carborundum<sup>1</sup> y otras sustancias se vio un curioso fenómeno. Cuando se aplicaban 10 volts entre dos puntos de un cristal de carborundum, el cristal daba una luz amarillenta. ...En algunos cristales los bordes daban el tono verde amarillento y otros daban azul y naranja. En todos los casos probados el destello parecía venir del polo negativo, y una chispa azul-verde aparecía en el polo positivo. ...” **A Note on Carborundum, H. J. Round, Electrical World, Nueva York, N.Y.**

Posteriormente, un científico ruso llamado Oleg Vladimir Losev publicó “*Luminous carborundum detector and detection and oscillations with crystals*”, en este documento publicado en 1920 Losev observó que los diodos rectificadores usados en receptores de radio emitían luz al paso de corriente eléctrica. Este documento y los siguientes publicados de la época constituyen lo que conocemos actualmente como un LED debido a que con las investigaciones de Losev se tienen las bases y características del funcionamiento de los LED's, desde el umbral de corriente necesario para encender un LED, estudios relacionados con la temperatura, la característica corriente-voltaje del LED y su importancia en las telecomunicaciones.



**Ilustración 2**

Artículo escrito por Round en Nueva York, característica corriente voltaje obtenida por Losev.  
Fuente: *The Life and times of the LED – a 100 year history*.

<sup>1</sup> Carborundum. Nombre comercial para el carburo de silicio, compuesto cristalino de tonalidad negra usado como abrasivo.

El primer LED práctico se inventó en 1962 por Nick Holonyak en la compañía General Electric, se empezaron a comercializar en los últimos años de la década de los sesentas en tonalidad roja. Primeramente fueron usados para reemplazar indicadores incandescentes y en displays de siete segmentos en equipos de laboratorio y equipo electrónico de prueba, después en televisores, teléfonos y calculadoras.

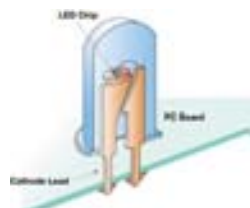
Estos LED's rojos eran muy buenos como indicadores, no para iluminación. Al paso de los años se logró fabricar LED's con otros colores y conforme la tecnología LED ha ido creciendo, también la intensidad de la luz emitida y así ser considerados para iluminación.

### 1.1.1 Tipos y clasificación de LED's.

Hay varios tipos de LED's que pueden ser clasificados de diferente manera según sus características, propósito, potencia, etc. Aquí se clasifican en dos categorías y en ramas según su función.

Los LED's se dividen en dos categorías:

- LED's de baja potencia.  
Comúnmente su tamaño es de  $5[mm]$ , sin embargo también los hay en  $3[mm]$  y  $8[mm]$ . Típicamente consumen  $0.1[W]$  de potencia, operan aproximadamente con  $20[mA]$  y hasta  $3.2[V]$  de corriente directa, producen muy poca luz entre  $2[lm]$  y  $4[lm]$ .



**Ilustración 3**  
LED's de baja potencia.  
Fuente: explicame.org

- LED's de alta potencia.

Consumen entre  $1[W]$  y  $5[W]$  y se esta incrementando. Funcionan en un intervalo de corriente de  $0.35[A]$  a  $1[A]$ , pueden producir entre  $40[lm/W]$  y  $80[lm/W]$ .



*Ilustración 4*  
LED's de alta potencia.  
Fuente: Philips, GE.

A su vez, estas categorías pueden ser divididas según el propósito del LED. Para la categoría de baja potencia se clasifican en:

- ✓ *Indicadores.*

El propósito más común de un LED, simplemente dan información al usuario sobre el estado de algún elemento, ejemplos de esto son el encendido o apagado de algún aparato, funciones activas en aparatos, apuntadores. También son usados en conjunto para desplegar información visual como marquesinas, anuncios, pantallas de diferentes tamaños, señalizaciones.

- ✓ *Iluminación.*

Aunque son pequeños y de baja potencia en conjunto pueden ser usados para iluminación, conforme ha ido evolucionando la tecnología LED es posible esto ya que proporcionan una buena intensidad de luz, un pequeño conjunto de 4 o incluso un solo LED puede ser usado como linterna o lámpara de mano.

- ✓ *Transmisión.*

Es otra rama donde se ha desarrollado el uso de LED's, en específico LED's ultravioleta e infrarrojos, desde la transmisión de señales en los controles

remotos de electrodomésticos, y otros. Lectura de CD's, DVD's. Displays, relojes, en fibra óptica para telecomunicaciones y en sensores.

✓ Cromoterapia.

Existen reportes médicos que afirman que ciertas longitudes de onda emitidas por LED's ayuda a pacientes con depresión, relajación de músculos, fototerapia con LED's azules y rojos reducen significativamente el acné en un periodo de 3 meses.

En la actualidad existen todos los colores del espectro visible en LED's, algunos difíciles de encontrar por no ser tan comunes, así como LED's infrarrojos y ultravioleta. También se están desarrollando pantallas con OLED's (LED's orgánicos) la siguiente generación de pantallas que remplazará al plasma y LCD.

Los LED's de alta potencia son tecnología reciente que esta creciendo para usarlos en iluminación, señalización y decoración. Ejemplos de estos son las lámparas de LED's existentes en el mercado, la sustitución de las luces en los automóviles, iluminación de carteles, edificios, monumentos, etc.



**Ilustración 5**

*Ejemplos de uso de LED's: LED's con tonalidades de todo el espectro visible, display de un radio-reloj, control remoto de TV.*

*Fuente: howstuffworks.com*

## 1.2 Funcionamiento.

La forma en que un LED produce luz es muy diferente de los focos incandescentes, lámparas fluorescentes o lámparas de halógeno. Cuando circula corriente eléctrica a través de una lámpara incandescente la luz se produce por el calentamiento de un filamento de tungsteno al vacío para evitar que se quemara o se destruyera durante el funcionamiento. En lámparas fluorescentes, al aplicar una tensión eléctrica excita átomos de mercurio los cuales emiten radiación ultravioleta, ésta a su vez excita una capa fluorescente que hay dentro del tubo y produce la luz (fotones). Un diodo emisor de luz sigue esta misma idea pero de otra forma.

Un diodo es el dispositivo más simple hecho de semiconductores (dispositivo de estado sólido). Un semiconductor es un compuesto formado por un elemento aislante convertido en un conductor pobre por añadir impurezas (átomos de otro elemento). En electrónica el material aislante es el silicio, este elemento posee una estructura electrónica similar al carbono y germanio por estar en el mismo grupo de la tabla periódica de los elementos, tienen en común 4 electrones en su último orbital lo que les permite compartir estos electrones con otros elementos del mismo grupo y formar una cuadrícula o estructura cristalina, de esta forma no hay electrones libres que puedan moverse. Cuando se añaden átomos de otros elementos de otros grupos a estos materiales es posible tener electrones libres o espacios para recibir electrones, dicho en otras palabras, se tienen impurezas, a este proceso de añadir impurezas es conocido como dopaje. En materiales dopados, la cantidad de electrones y espacios es pobre y es por esta razón que a estos materiales se les conoce como semiconductores.

Un material semiconductor con electrones extra se le denomina material tipo N ya que tiene más cargas negativas que positivas, generalmente se hace añadiendo fósforo (P) o arsénico (As) por tener cinco electrones en su última orbita, uno extra en la formación de la estructura cristalina. Un material semiconductor con espacios extra se logra añadiendo boro (B) o galio (Ga) por tener tres electrones en su última orbita lo que significa dejar un espacio para formar la estructura cristalina, se le denomina material



tipo P ya que tiene más espacios para recibir electrones extra. Cuando estos dos materiales se unen los electrones libres del material N tienden a ir hacia los espacios del material P, o dicho de otra forma los espacios van hacia donde están los electrones libres. Hay que hacer notar que cuando se construyen estos materiales existen portadores mayoritarios correspondientes a los descritos anteriormente libres para fluir, y los portadores minoritarios que son electrones o espacios en mucho menor cantidad pero que están ahí también libres de moverse debido a impurezas anteriores al proceso de fabricación que no pudieron eliminarse para tener silicio puro o de alguna excitación por el simple hecho de exposición a una fuente luminosa o de calor. En un material tipo N los portadores minoritarios son cargas positivas (espacios) y en el tipo P son cargas negativas (electrones).

Un diodo es la unión de los materiales P y N con electrodos en los extremos, al electrodo del material P se le llama ánodo (A) y al del material N se le denomina cátodo (K). Debido a que esta unión solo permite el sentido de conducción en una sola dirección, un diodo solo conduce corriente del ánodo al cátodo.

Cuando están unidos los materiales P y N los electrones libres más cercanos a los espacios más cercanos se combinan formando una región de agotamiento creando un equilibrio en la juntura dejando electrones libres y espacios en los respectivos materiales libres para fluir.

Cuando se aplica una tensión eléctrica al diodo existen dos posibles comportamientos, el primero es cuando la parte positiva de la tensión es conectada al ánodo y la parte negativa al cátodo (polarización directa) aquí los espacios considerados cargas positivas son repelidos por la fuente de tensión sin tener otra opción de ir hacia la región de agotamiento y a su vez los electrones del material N son repelidos hacia la región de agotamiento, hasta que la tensión eléctrica sea suficiente para superar la región de agotamiento se establecerá una conducción eléctrica es decir los espacios fluyen hacia el material N y los electrones hacia el material P. Esta conducción de corriente es exponencial, la tensión necesaria para superar la región de agotamiento se conoce

como voltaje del diodo ( $V_D$ ) y éste varía según los materiales usados para construir el diodo, entre mayor sea el voltaje del diodo, mayor será la frecuencia de la radiación que emite el diodo, es decir, el voltaje del diodo denota la tonalidad de la luz que éste emite.

Para el caso del ánodo conectado al terminal negativo y cátodo al terminal positivo los espacios del material P son atraídos por los electrones de la fuente de tensión mientras que los electrones del material N son atraídos por las cargas positivas de la fuente de tensión, en el diodo se incrementa la región de agotamiento y no existe la conducción. Debido a la existencia de portadores minoritarios hay una corriente de baja magnitud conocida como corriente de saturación inversa que es de algunos microamperes. Si se aumenta la tensión, el diodo puede llegar a la región Zener, en esta región el diodo aumenta el flujo de corriente de saturación inversa instantáneamente hasta que se destruya, los fabricantes proporcionan el límite de tensión antes de la región Zener como PIV (Peak Inverse Voltage).



**Ilustración 6**

*Diodo: comportamiento en polarización directa e inversa.  
Fuente: howstuffworks.com*

La luz generada en un LED es liberada de átomos, esta luz es compuesta de pequeños paquetes de energía sin masa llamados fotones que son la unidad básica de luz. En un átomo los electrones se mueven en orbitales alrededor del núcleo, estos electrones tienen diferente cantidad de energía dependiendo del orbital en el que se encuentren, entre más alejado del núcleo mayor es la cantidad de energía. Estos electrones pueden cambiar de orbital, si un electrón salta de un orbital menor a uno mayor necesita una excitación (energía externa), en cambio si un electrón va de un orbital mayor a uno menor libera energía en forma de fotón.

Como ya se mencionó anteriormente, los electrones libres pueden caer en espacios del material P, cuando esto sucede los electrones caen a un orbital menor por lo tanto liberan energía, liberan fotones. Esto sucede en cualquier diodo, pero solo se puede ver la luz cuando el diodo esta compuesto de ciertos materiales. Los diodos de silicio están contruidos de tal manera que los electrones liberan poca cantidad de energía y generan fotones de baja frecuencia correspondientes a los rayos infrarrojos, invisibles para el ojo humano. Los LED's que emiten luz visible al ojo humano están hechos con otros materiales. Por ejemplo, los primeros LED's que se fabricaron fueron de color rojo, el material usado es arseniuro de galio-aluminio (AlGaAs). LED's azules están hechos con nitruro de galio-indio (InGaNi) y LED's verdes hechos con fosfuro de galio-aluminio (AlGaP). Los LED's de tonalidad blanca se crean al combinar luz roja verde y azul (RGB) o también poniendo una capa fluorescente amarillenta a LED's azules.

La dirección en que los fotones son liberados es aleatoria, además de que el propio material absorbe algunos de estos fotones, por esta razón es necesario concentrar los fotones para poder iluminar y esto se logra encapsulando el diodo en un material plástico transparente especialmente contruido para dirigir los fotones en una determinada dirección. Hay diferentes tipos de encapsulado que cubren al LED con el propósito de manipular la luz que emiten, existe el encapsulado transparente utilizado en LED's de alta potencia con el fin de que esta cubierta no absorba la luz generada por el LED. El encapsulado coloreado es similar al anterior pero con tonalidad, se usa en LED's indicadores o donde sea necesario identificar el color del LED aunque esté apagado. Los LED's de encapsulado difuso son también de tonalidad y tienen la característica de esparcir la luz del LED, lo que implica una menor iluminación pero más expandida. Los LED's milky son difusos sin tonalidad, es decir blancos, especialmente diseñado para LED's multicolores.



**Ilustración 7**

*Encapsulados de LED's: Concentración de los haces de luz, transparente, coloreado verde, difuso rojo, milky bicolor.  
Fuente: howstuffworks.com, STEREN.*

### 1.3 Aplicaciones con LED's.

Existe una infinidad de aplicaciones con LED's algunas ya citadas anteriormente como ejemplos y propósitos de un LED, aquí se abunda más en donde se puede encontrar un LED y cual es su propósito.

#### A. Indicadores.

Esta es la primer aplicación desde la creación de los LED's de tonalidad roja y tal como su nombre lo dice, indicaban la situación en que se encontraba algún aparato o función, indicar si estaba encendido o apagado, ejecutándose, o alguna alarma. Estos LED's se pueden encontrar en dispositivos muy simples como reguladores de voltaje con o sin respaldo de energía, en computadoras, indicadores de las teclas Bloq Mayus, Bloq Num, Bloq despl, encendido del CPU, uso del procesador, status de la batería para

computadoras portátiles, memorias USB, electrodomésticos recientes, en la industria, todo tipo de aparatos. Indicadores VU de equipos de sonido. Indicadores en todo tipo de transportes, automóviles, aviones, barcos, ferrocarriles.



**Ilustración 8**

*Indicadores: Teclado de computadora, automóvil.*

*Fuente: Internet.*

### B. Displays.

Otra forma de indicar pero dando información precisa. Un display es un conjunto de LED's organizados de tal forma que puedan formar un número, letra o carácter. Se pueden encontrar en relojes digitales, elevadores, en aparatos industriales de todo tipo desplegando todo tipo de información como tipo de operación de algún sistema (manual/automático), magnitudes como temperatura, velocidad, posición, voltaje, corriente. Algunos electrodomésticos como radios, televisores.



**Ilustración 9**

*Displays: De 7 segmentos, en una calculadora.*

*Fuente: Internet.*

### C. Iluminación a baja escala.

La luz generada por un LED es suficiente para iluminar un área pequeña y cercana al LED. Se pueden encontrar en relojes de mano, calculadoras, dispositivos portátiles como teléfonos celulares, reproductores de música, traductores, agendas electrónicas,

todo dispositivo que tenga pantalla para desplegar información y tenga la posibilidad de iluminarse, es seguramente mediante un LED.



**Ilustración 10**

*Iluminación: Luz azul en un reloj, teclas y pantalla en un teléfono.*

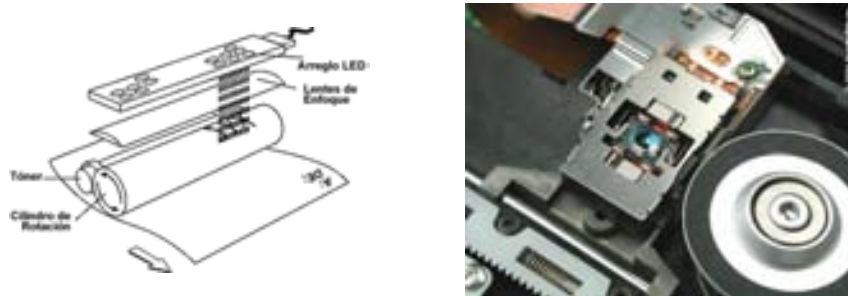
*Fuente: Internet.*

#### D. Láser.

Es un dispositivo capaz de emitir un haz de luz coherente (fotones que se propagan en fase y a una misma frecuencia) de cualquier frecuencia, desde infrarrojo hasta rayos X. Existen distintos tipos de láser, uno de estos es el láser semiconductor donde están involucrados los LED's.

Algunas impresoras láser usan LED's como una fuente de luz dentro de ésta, esto en sustitución de un solo láser que incluye partes móviles. El cabezal de impresión incluye una barra de LED's lo que permite una mayor resolución, es rígido y no tiene partes móviles, abarca todo el ancho de la página y crea la imagen en el tambor de impresión.

Otros dispositivos que utilizan láser semiconductor son los lectores de CD, DVD y Blu-Ray. La función del LED es la de emitir el haz de luz hacia la superficie del CD DVD o disco blu-ray, la superficie tiene perforaciones previamente hechas correspondiente a la información en éste. El haz de luz será reflejado según las perforaciones que haya, el reflejo es detectado y convertido en una señal digital, después esta señal digital es decodificada o convertida a señal analógica según el tipo de dato que sea (audio, imágenes, texto, etc).



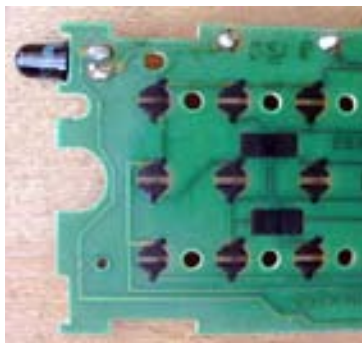
**Ilustración 11**

*Láser: Arreglo de LED's en una impresora láser, lente del láser de un reproductor de CD's.*

*Fuente: Okidata, howstuffworks.com*

### E. LED Infrarrojo.

Usados principalmente para transmisión inalámbrica. En controles remoto de televisiones, videograbadoras, ventiladores, aire acondicionado están este tipo de LED's. Cuando se presiona un botón del control se hace una conexión interna, un chip codifica la conexión en una señal digital que es amplificada y enviada a través del LED al receptor del aparato, luego la decodifica y hace la función correspondiente. La luz emitida por este tipo de LED no es perceptible al ojo humano, esta debajo del rango visible, debajo de la luz roja.



**Ilustración 12**

*LED Infrarrojo: Controlés remotos.*

*Fuente: Internet.*

## F. LED Ultravioleta.

La radiación ultravioleta es invisible al ojo humano, pero usando materiales fosforescentes se puede convertir en luz visible. Existen lámparas ultravioleta (UV) que se están sustituyendo por UV LED's por las ventajas que tiene el uso de LED's. Las aplicaciones de estos son en la identificación de fugas en maquinaria, por ejemplo si un aire acondicionado tiene fuga, se le puede añadir una sustancia fosforescente al refrigerante e iluminar con luz UV la maquinaria hasta que se encuentre el área iluminada, es decir, la fuga. En la identificación de documentos falsos como credenciales, dinero, entre otros documentos que cuenten con una tira o sello solamente visible a la exposición de luz ultravioleta. En la identificación de huellas, y algunas sustancias producidas por seres vivos ya sea añadiendo sustancias fosforescentes o por la misma naturaleza fosforescente de lo que se esté buscando. También se usa para potabilizar agua y eliminación de bacterias ya que la radiación ultravioleta es capaz de destruir microbios.



*Ilustración 13*

*LED UV: Autenticidad, sangre en escena de crimen.*

*Fuente: Internet.*

## G. Sensores.

Muchos ratones ópticos usan LED's que iluminan la superficie en que se encuentra el ratón y es detectada por un sensor. Este sensor envía las imágenes iluminadas a un procesador digital de señales (DSP) para análisis. El DSP detecta patrones en las imágenes enviadas y determina si han cambiado de posición y que distancia, luego envía las coordenadas correspondientes a la computadora y ésta mueve el cursor a las



coordenadas recibidas, esto sucede cientos de veces por segundo por eso el movimiento del cursor es continuo.



**Ilustración 14**  
*Sensor: Dentro del ratón, LED rojo.*  
*Fuente: Internet.*

#### H. Pantallas.

Las pantallas gigantes de 10 a 30 metros que se encuentran en estadios, conciertos, plazas comerciales, edificios y famosas áreas públicas están hechas con LED's. Un punto de la pantalla consiste en un arreglo de LED's de color rojo azul y verde que pueden diferir en la cantidad por punto, es decir, puede haber más de tres LED's por punto, un sistema de cómputo se encarga de ver la imagen a mostrar, determina que LED's encender y a que intensidad para obtener en cada punto el tono correspondiente a la imagen.

Se están desarrollando pantallas domesticas a base de tecnología LED, esta variante llamada OLED's permite tener imágenes de alta definición, pantallas de mayores dimensiones, muy delgadas y menor consumo de energía. Un OLED significa LED orgánico y son dispositivos de estado sólido con un grosor de 100 a 500 nanómetros compuestos de una película delgada de moléculas orgánicas o polímeros que generan luz cuando se les hace pasar una corriente eléctrica. Actualmente teléfonos celulares y cámaras digitales usan pantallas con OLED's.



**Ilustración 15**

*Pantallas: Frente de un edificio, pantalla OLED Sony.*

*Fuente: Internet.*

### 1.3.1 Los LED's en la iluminación.

Desde que la tecnología LED avanzó, se consideró que podrían ser usados con propósitos de iluminación y con muy buenas ventajas sobre las tradicionales fuentes de luz. En iluminación se le denomina al uso de LED's como SSL (Solid State Lighting). Por una parte los LED's no tienen filamento que se queme para producir luz, por lo tanto su duración es mayor, el material que los cubre es un plástico duro que los hace más resistentes a golpes. La principal ventaja es su eficiencia, en lámparas incandescentes la producción de luz involucra la generación de calor que no es una ventaja en la iluminación, esa energía se pierde y debido a que una gran porción de la energía producida en centros de generación es para iluminación estas pérdidas son considerables, en cambio los LED's no generan calor, gran parte de la energía empleada para encender un LED es precisamente para iluminar.

Un LED produce más luz por watt que las lámparas incandescentes, esto resulta muy útil en dispositivos que funcionan con baterías, como linternas o dispositivos que necesitan iluminación. Pueden emitir todos los colores del espectro visible y las

regiones extremas del espectro electromagnético (radiaciones infrarrojas y ultravioleta). En aplicaciones donde se controle la intensidad de la luz los LED's no cambian su tonalidad como en las lámparas incandescentes donde la tonalidad varía entre amarillo y naranja. Los LED's son ideales para aplicaciones de encendido y apagado donde las lámparas fluorescentes con el tiempo se queman y aparece una tonalidad negra en sus extremos. Se degradan mucho menos que las lámparas tradicionales, se ha calculado que un LED puede funcionar entre 50,000 y 100,000 horas, lámparas fluorescentes hasta 30,000 horas y focos incandescentes entre 1,000 y 2,000 horas. El encendido de un LED es instantáneo en comparación con las lámparas fluorescentes, ni contienen mercurio. No emiten radiación infrarroja o ultravioleta.

Como todas las cosas no todo tiene solo ventajas, también hay desventajas. Debido a que la iluminación con LED's está desarrollándose y no es común, su costo inicial es alto comparado a las lámparas convencionales, sin embargo esta desventaja a largo plazo es insignificante por la durabilidad y bajo consumo de energía de un LED. El ángulo de esparcimiento de luz (ángulo de radiación) de un LED es bajo comparado a lámparas convencionales, debido a que el encapsulado del LED concentra la luz para poder iluminar, se necesitan varios LED's para sustituir la luz proporcionada por una lámpara incandescente o fluorescente. Se necesitan elementos adicionales para encender un LED, no se pueden conectar directamente a la red eléctrica aunque ya existen lámparas de LED's que incluyen estos elementos adicionales en su interior. Son sensibles a temperaturas extremas lo que puede dañarlos y disminuir su durabilidad.



**Ilustración 16**  
*Iluminación: Ornamental, semáforo.*  
*Fuente: Internet.*

La tecnología LED para iluminación ya existe en el mercado y esta expandiéndose, se pueden encontrar en linternas, lámparas de escritorio, vitrinas, aparadores, lugares exteriores para indicar límites como en estacionamientos y caminos; en cámaras fotográficas en sustitución del flash, señalizaciones de tráfico, iluminación ornamental.

Algunos de estos productos tienen un buen desempeño pero la calidad de luz y eficiencia varía en estos productos por las siguientes razones.

La SSL está en desarrollo, significa que cada 4 o 6 meses se pueden encontrar nuevos productos. Los LED's son sensibles a condiciones extremas de temperatura y eléctricas por lo que los fabricantes están en constante cambio de diseños de lámparas e integrando los LED's en estos diseños. Hay grandes diferencias entre SSL y la iluminación convencional que ha creado la necesidad de hacer nuevos estándares y procedimientos de prueba que surgirán en el futuro. Muchos de estos productos están hechos con pequeños LED's de  $3[mm]$  y  $5[mm]$  de baja potencia que en conjunto pueden iluminar, los LED's de alta potencia están hechos con empaques más complejos por que necesitan disipar el calor, esto aumenta su costo además de producir mayor cantidad de luz.

#### **1.4 Adquisición y medición de variables eléctricas.**

La adquisición de una variable física es importante por el hecho de conocer su comportamiento, analizarlo, medirlo, y obtener beneficios en un fin determinado manipulando la variable. Las variables físicas de nuestro interés son las eléctricas como son la corriente, tensión, resistencia y potencia.

La corriente eléctrica es el flujo de portadores de carga eléctrica (por convención la dirección que siguen las cargas positivas) en un material que permita el movimiento de

estos. Se mide en amperes (A) y su magnitud depende de la tensión eléctrica y de la resistencia del material por donde circula la corriente. Solo es posible que exista corriente eléctrica cuando un circuito está cerrado, es decir, hay una excitación que ocasiona el movimiento de los portadores de carga eléctrica a través del circuito. En nuestra vida diaria podemos encontrar dispositivos que funcionan con electricidad, estos presentan una corriente directa o corriente alterna. La corriente directa es aquella donde el flujo de corriente es en una sola dirección, mientras que la alterna cambia de dirección.

La resistencia eléctrica, es la oposición que presenta un material al flujo de la corriente eléctrica, esta resistencia depende de la longitud del material, su área transversal por donde circula la corriente y su resistividad, única para cada material. Se mide en Ohms ( $\Omega$ ).

La tensión eléctrica o diferencia de potencial se define como el trabajo por unidad de carga por un campo eléctrico sobre un portador de carga eléctrica necesario para moverlo de un punto a otro. En otras palabras, es la excitación que ocasiona que los portadores de carga se muevan. Al igual que la corriente eléctrica puede ser una tensión directa o una tensión alterna. Su unidad es volt (V).

La potencia eléctrica es la razón con la que se transfiere energía. Esta potencia puede tener un fin determinado, o ser disipado en forma de calor como sucede en las resistencias. Se mide en watts (W).

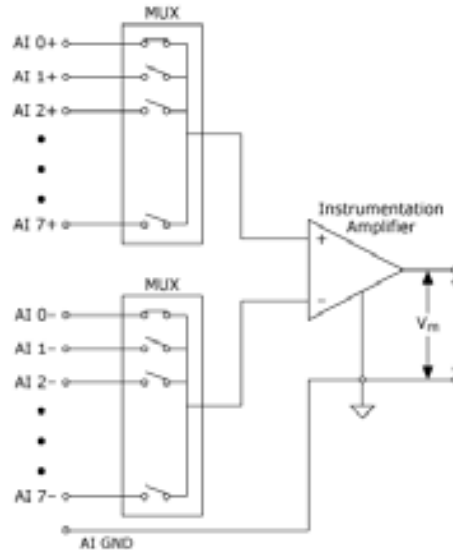
Hay que mencionar que las variables eléctricas generan señales analógicas, esto es señales capaces de dar infinidad de información conforme transcurre el tiempo, resulta imposible tener un control de toda esta información por lo que su adquisición se hace de manera digital, es decir, tomando muestras cada determinado tiempo, de esta forma se convierte una señal analógica a una digital. La adquisición de estas variables consiste en convertir estos fenómenos físicos en datos que el usuario o algún instrumento puedan interpretar y usar, esta conversión se hace por medio de un transductor,

generalmente se convierte la variable en una señal eléctrica, después se acondiciona la señal, esto quiere decir que la señal se ajusta a niveles que puedan ser manejados por un instrumento. Acondicionar una señal implica hacerle cambios sin modificar sus características; un caso común es la amplificación, las señales eléctricas amplificadas mejoran la exactitud en la señal digital resultante y reducen los efectos del ruido. Las señales deber ser amplificadas lo más cerca de la fuente que genera la señal, de esta manera cualquier ruido contenido en la señal se elimina. Otro factor importante en la adquisición es la linealización, en ocasiones los elementos transductores tiene una respuesta no lineal ante un fenómeno que es lineal, por lo tanto hay que linealizar la respuesta del transductor, esto generalmente se presenta en elementos que miden temperatura. Para proteger los dispositivos acondicionadores de señal se utiliza el aislamiento, esto es que no exista una conexión directa entre la variable que se esta adquiriendo y el acondicionador.

Las mediciones son esenciales cuando se adquieren señales, ya sea para saber la magnitud de una señal, cumplir con un valor de magnitud establecido para el funcionamiento de un sistema, etc. Para realizar una medición eléctrica hay que considerar que los dispositivos electrónicos de medición tienen circuitos independientes de los circuitos donde se desea medir las señales. Se debe tener en cuenta que la referencia de los circuitos es diferente por ser estos independientes. Para esto existen diferentes formas de medir variables eléctricas.

Se tienen los sistemas de medición diferenciales, en este caso ninguna de las entradas de un sistema de medición diferencial esta unida a una referencia fija, tal como la tierra del dispositivo de medición o la tierra del lugar donde se efectúe la medición. Equipos de mano, instrumentos alimentados por baterías son ejemplos de sistemas diferenciales de medición.

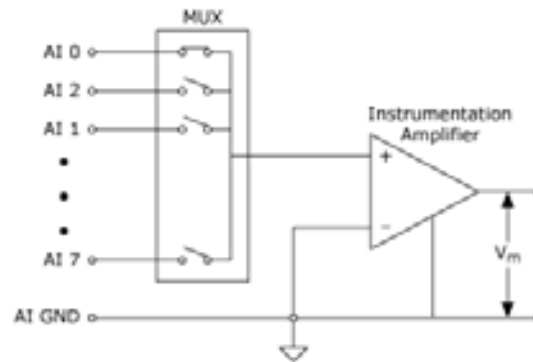
En la siguiente ilustración se observa que la referencia del sistema de medición (AI GND), no esta conectada a la referencia de las señales de entrada (AI 0-, AL 1-,....).



*Ilustración 17*  
*Medición Diferencial*  
*Fuente: National Instruments.*

Los sistemas de medición de fin único referenciado son similares a las fuentes aterrizadas en cuanto se toma la medición con respecto a una tierra. Un sistema de medición de fin único referenciado mide tensiones con respecto a la tierra GND, la cual es conectada directamente a la tierra del sistema de medición.

El criterio que se sigue para la elección de la medición es considerando la diferencia de potencial que existe entre las referencias (tierras) de los circuitos que se van a conectar, si la diferencia es pequeña o nula una conexión de fin único es la optima, mientras que para una diferencia considerable en las referencias es preferible una medición diferencial.



**Ilustración 18**  
*Medición de Fin Único.*  
*Fuente: National Instruments.*

Nótese que tiene una referencia común las señales de entrada como el sistema de medición (AI GND).

## 1.5 Tipos de control de iluminación.

Un control de iluminación es aquel que permite variar la intensidad de la luz de una lámpara, comúnmente se les conoce como dimmer. Consiste en ajustar la tensión de alimentación de una lámpara para que pueda dar diferentes intensidades de luz.

Los primeros dimmers constaban de un simple elemento, una resistencia variable. Esta resistencia variable era conectada en serie al circuito de la lámpara, se tenía un buen control de la intensidad de luz pero la pérdida de energía por calor en la resistencia era considerable, además de que eran elementos pesados, grandes y alcanzaban temperaturas intolerables para el ser humano al contacto.

La forma actual de controlar la intensidad de luz en una lámpara es abriendo y cerrando la alimentación del circuito para reducir la pérdida de energía en resistencias. En lugar



de conectar una resistencia variable en serie con la lámpara, se conectan otros dispositivos como resistencias, inductores, capacitores y semiconductores que actúan como un interruptor que se abre y se cierra varias veces por segundo.

La alimentación de energía eléctrica en los hogares es una tensión alterna senoidal con una frecuencia de 60 Hertz (60 ciclos por segundo) y una magnitud de 127 volts eficaces. Cuando se aplica esta tensión a un circuito con dimmer, la lámpara en lugar de recibir una onda senoidal reducida en magnitud como era el caso del resistor variable, recibe la magnitud máxima de tensión (127 volts) pero con una duración menor. El dimmer corta la onda senoidal desde que la señal cambia de polaridad hasta que el usuario defina la intensidad de luz a través de la posición del dimmer, esto ocurre 120 veces por segundo. El usuario controla la posición por medio de un elemento giratorio o un deslizador. Entre mayor la intensidad de la luz, menor es el corte hecho por el dimmer, caso contrario para una intensidad menor de luz ya que el corte de la alimentación es mas prolongado.



**Ilustración 19**

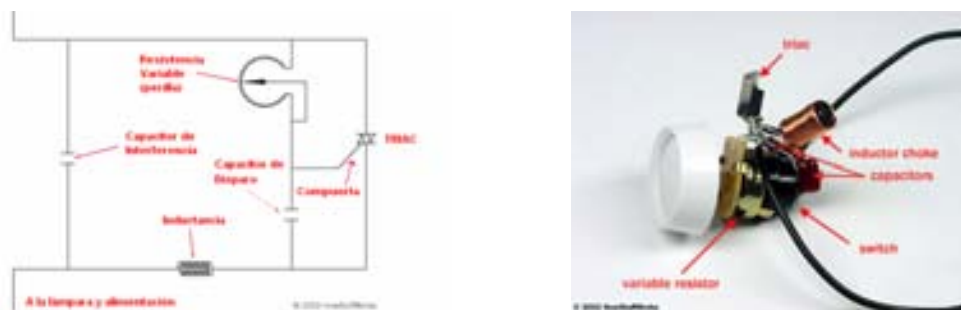
*Dimmer: Señal de alimentación, cortes hechos por el dimmer.*

*Fuente: Internet.*

Esta forma de controlar la intensidad luminosa permite tener varias ventajas sobre el primer tipo de control. La primera es el cambio de un resistor pesado y grande por un conjunto de elementos pequeños. Ahorro de potencia por que la disipación de calor es menor por el hecho de cortar la alimentación del circuito cuando no se necesita. Estas ventajas se deben al uso de dispositivos semiconductores, estos elementos hechos con los mismos materiales P y N de los LED's permiten que un dimmer funcione como interruptor, a estos dispositivos se les conoce como tiristores.

Un tiristor es un arreglo de varias capas P y N con distribución específica para cada tipo de tiristor, tienen 3 terminales una de ellas es la compuerta, la principal característica de estos elementos es que permiten el flujo de corriente a través de estos cuando reciben una corriente y tensión de excitación por su compuerta con polarización directa y regresan a su estado de no conducción cuando se polarizan en inversa. Existen variedad de tiristores con diferentes características para diferentes propósitos, algunos de estos son los SCR, LASCR, TRIAC, GTO, IGBT, MOSFET, MCT, etc.

Es muy común usar un TRIAC en dimmers ya que por sus características permite controlar los dos lóbulos de la señal alterna senoidal. El TRIAC es un interruptor activado por corriente, la corriente en la compuerta del TRIAC es la acción que cierra el interruptor, y una resistencia variable junto con un capacitor definen el momento en que la corriente es aplicada a la compuerta.



**Ilustración 20**

*Dimmer: Circuito básico.*

*Fuente: howstuffworks.com*

Cuando hay tensión entre las terminales del TRIAC y un pequeño voltaje en la compuerta, no hay suficiente corriente de excitación y el circuito permanece abierto. Para que el TRIAC actúe como un interruptor cerrado o conmute se necesita superar la corriente en la compuerta definida por el fabricante. La tensión necesaria para alcanzar el nivel indicado de corriente en la compuerta es el mismo siempre pero se puede ajustar su duración, para esto se usa el capacitor. La corriente circula por la rama formada por el resistor variable y el capacitor, el tiempo que tarda en cargarse el capacitor depende del valor de la resistencia, cuando el capacitor alcanza un nivel de tensión también definido por el fabricante (tensión de disparo) es que empieza a

conducir corriente por la compuerta permitiendo que el TRIAC conduzca hasta que cambie de polaridad la tensión de alimentación y se inicie los pasos otra vez.

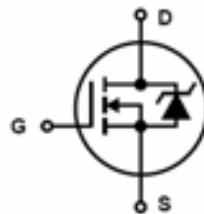
El filamento de un foco incandescente tiene la forma de un resorte, es decir, es alambre ondulado. El dimmer provoca grandes variaciones de tensión alterna, estas variaciones a su vez provocan que se genere un campo magnético dentro del foco y hace que vibre el filamento, lo que se traduce en un zumbido. El zumbido es mayor cuando se le aplica la mitad de potencia al foco ya que la variación de tensión es máxima (de 0 a 180 volts en un instante), el campo magnético es más intenso, además este campo magnético genera débiles señales de radiofrecuencia que pueden interferir radios y televisiones cercanas. Para eliminar este zumbido e interferencia se le añaden al circuito un alambre enrollado en un núcleo ferromagnético llamado inductancia y un capacitor de interferencia, ambos elementos pueden retener energía temporalmente lo que ayuda a que no se generen campos magnéticos intensos que provoquen el zumbido ni la interferencia.

Este control de iluminación es solo para lámparas incandescentes, el funcionamiento de una lámpara fluorescente no permite usar o es muy deficiente la variación de intensidad de luz por medio de un dimmer. En una lámpara fluorescente si se reduce la potencia no será capaz de excitar los átomos de mercurio y no encender la lámpara, el efecto de encendido y apagado continuo degrada las lámparas fluorescentes.

Una lámpara fluorescente necesita de un elemento externo llamado balastro para encender, la función del balastro es simplemente de proporcionar una alta tensión y una corriente de baja magnitud. Si se desea variar la intensidad de esta lámpara es necesario pre-calentarla, mantenerla así para poder variar la intensidad. Este precalentamiento se puede hacer manteniendo la tensión en la lámpara y para poder hacer la variación de intensidad de luz hay que variar la corriente que circula por ésta. No es muy común encontrar estos controles ya que son complejos, ni son tan eficientes como un dimmer.

Otra forma de controlar la intensidad luminosa de lámparas es usando componentes electrónicos o microprocesadores que generen pulsos que van a la compuerta de los tiristores, este método presenta una mayor eficiencia por la reducción de la pérdida de potencia. Dentro de este tipo de control se puede encontrar el PWM (Pulse Width Modulation), significa modulación por ancho de pulso y consiste en tener control de la tensión aplicada a una carga precisamente por el ancho del pulso aplicado a la compuerta.

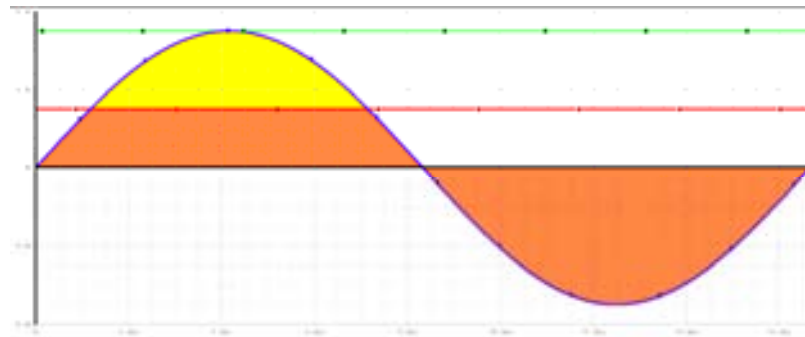
Para poder aprovechar las ventajas del PWM es necesario trabajar con otro tipo de semiconductores, recordemos que el TRIAC solo puede conmutar cuando cambia de polaridad o tenga una conmutación forzada, en otras palabras, no puede cambiar su estado de no conducción una vez que esta permitiendo el paso de corriente hasta que haya un cambio de polaridad o se fuerce su conmutación lo cual implica hacer circuitos muy complejos. El otro tipo de semiconductores usados para aprovechar el PWM son los MOSFET. Estos elementos usados también en otras de aplicaciones de alta potencia tienen la característica de activarse con bajas magnitudes de tensión y corriente controlando altas tensiones y corrientes, actúan como interruptor cerrado solo si existe una tensión de excitación entre su compuerta (G) y la terminal fuente (S), a diferencia del TRIAC, un MOSFET deja de ser un interruptor cerrado cuando ha cesado la excitación.



*Ilustración 21*  
*MOSFET: Símbolo.*  
*Fuente: datasheet.com*

En los LED's el control de la intensidad de luz puede hacerse por medio de estos semiconductores, para el caso del uso de MOSFET resulta conveniente que la alimentación de los LED's sea una tensión directa, además de que es mejor una alimentación de tensión directa que una alterna para controlar la intensidad luminosa. EL LED es un dispositivo semiconductor, solo permite el paso de la corriente en un solo sentido, si se le alimenta con una tensión alterna implica que solo conduce la mitad del ciclo de la señal senoidal y esto significa que la intensidad luminosa es menor, también hay que reducir la tensión alterna de 127 volts porque un LED no está diseñado para funcionar con esta tensión, superaría el PIV lo que daña o destruye el LED. Si se desea variar su intensidad usando tensión alterna hay que considerar que se tiene una magnitud pico de unos cuantos volts y la tensión del diodo, estos dos términos forman un intervalo muy pequeño funcional para poder variar la intensidad luminosa, es decir, se tendría muy poca variación en la intensidad luminosa.

Supongamos que tenemos un LED de luz blanca con un  $V_D = 3[V]$ ,  $PIV = 7[V]$ . En la siguiente gráfica se tiene en eje horizontal la escala del tiempo en milisegundos, la amplitud en volts en el eje vertical, una señal senoidal en color morado de 7 volts pico que representa la señal de alimentación de 127 V reducida, un nivel de tensión directa de 7 V en verde, un nivel de tensión de directa rojo de 3 V correspondiente al  $V_D$ . Para el primer lóbulo de la señal senoidal el diodo está polarizado en directa por lo que existe una corriente eléctrica circulando por éste, el diodo enciende hasta que se supera la línea roja ( $V_D$ ), la zona amarilla representa el intervalo en el que el diodo está encendido, para el siguiente lóbulo el diodo no conduce por que está polarizado en inversa y está en el límite de su PIV (bajo esta operación el LED se daña y deja de funcionar), aquí se puede ver que solamente la zona amarilla es aprovechada para mantener encendido el LED. En cambio, si se usa como alimentación una tensión de directa, es posible aprovechar el intervalo entre la línea verde y la línea roja para mantener encendido el LED además de que se puede incrementar el nivel de alimentación (línea verde) y así tener un mayor intervalo de variación de la intensidad.



*Ilustración 22*  
*Alimentación Alterna.*

EL PWM aplicado en combinación con una tensión directa permite tener una variación de intensidad luminosa muy amplia, desde tener la lámpara apagada (circuito abierto) hasta tener la máxima intensidad de luz (totalidad de la tensión aplicada al LED), o en su caso aplicar pulsos de tensión y obtener un valor promedio de tensión equivalente a la máxima intensidad luminosa que pueda proporcionar el LED.

Por lo tanto el uso de una alimentación de tensión directa en combinación con un PWM para el control de intensidad de luz resulta ser la forma más eficaz de controlar la intensidad luminosa de una lámpara de LED's.

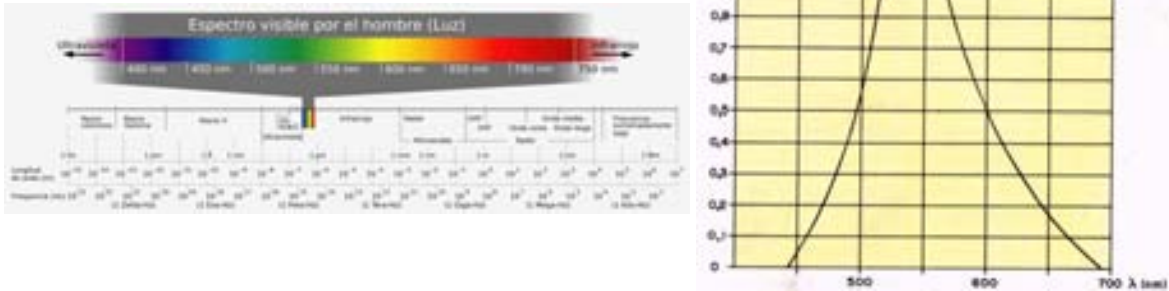
# Capítulo 2

## CÁLCULO DE ILUMINACIÓN PARA UNA CASA-HABITACIÓN.

### 2.1 Tipos de iluminación.

La luz es la energía radiante calculada respecto a su capacidad para estimular el sentido de la vista de un observador. De todos los componentes del ojo, el más importante es la retina. Es aquí donde se realiza la percepción de la imagen ya que es la última de diez capas internas en el ojo. Las nueve primeras están compuestas de neuronas, en su mayor parte, y son atravesadas por los fotones provenientes del exterior. La retina está constituida por una enorme cantidad de captadores fotosensibles, cada uno de los cuales da en cada momento información correspondiente de la intensidad y el color de la radiación incidente. Estos captadores fotosensibles son de dos tipos: conos y bastones; se los conoce con estos nombres debido a su forma. Los conos y bastones son las terminaciones de una gran cantidad de fibras nerviosas que forman el nervio óptico, el cual se encarga de transmitir todas las informaciones a las superficies estriadas del cerebro. Los conos poseen un enlace nervioso individual con el cerebro, mientras que los bastones van unidos a un mismo conducto nervioso por grupos que pueden llegar a ser miles de ellos. De aquí que los conos den mensajes sensoriales más precisos y que los bastones tengan una mayor sensibilidad, incluso con niveles de energía luminosa muy bajos.

El ojo humano solo percibe radiaciones con longitudes de onda entre 380 y 780 nanómetros con diferente sensibilidad dependiendo del grado de luminosidad. La respuesta visual es máxima en la zona verde-amarilla del espectro visible, correspondiendo a una longitud de onda de  $555[nm]$ , de esta forma la mayor eficiencia de las fuentes de luz se tiene cuando emiten radiaciones cercanas a esta longitud de onda.



**Ilustración 23**

*Espectro Visible, Sensibilidad Relativa del ojo en función de la longitud de onda*

*Fuente: Internet*

La Fotometría se encarga de la medida de la luz como el brillo percibido por el ojo humano y la radiometría mide la luz en términos de potencia absoluta. Mediante la fotometría se determinó la función de sensibilidad espectral (sensibilidad relativa del ojo humano)  $V_{\lambda}$ , esta función es diferente dependiendo de las condiciones de iluminación en que se encuentre el observador, en una buena iluminación (visión fotópica) la curva alcanza su pico en  $\lambda = 555[nm]$  y en mala iluminación (visión escotópica) es en  $\lambda = 507[nm]$ . Una magnitud fotométrica corresponde a la radiación del espectro electromagnético visible.

El flujo luminoso (F) se define como el flujo radiante dentro del espectro visible y descrito por la curva de sensibilidad relativa del ojo humano.

$$F = 683 \int F_{r\lambda} V_{\lambda} d\lambda$$

Se mide en lumen  $[lm]$  que se define como el flujo luminoso producido por el flujo radiante de  $\frac{1}{683}[W]$ , emitido en la longitud de onda de  $555[nm]$ .



La eficacia luminosa incluye dos términos, la eficacia luminosa de la radiación (K) es la relación entre el flujo luminoso y el flujo radiante. La eficacia luminosa (n) de la fuente de luz, es la relación entre el flujo luminoso y la potencia absorbida por la fuente.

$$K = \frac{F}{F_r} \left[ \frac{lm}{W} \right] \qquad n = \frac{F}{P} \left[ \frac{lm}{W} \right]$$

La intensidad luminosa (I) en una dirección determinada es el flujo luminoso emitido en un ángulo sólido que contiene dicha dirección. La unidad de medición para esta magnitud es la candela [cd] que es la unidad base del Sistema Internacional de Unidades (SI) por lo que las distintas unidades fotométricas se derivan de ésta. La más reciente definición para la candela es la luz producida por una fuente luminosa de 540[THz] con una potencia de  $\frac{1}{683}$ [W] sobre una esfera completa centrada en la fuente de luz. La frecuencia de 540[THz] corresponde a una longitud de onda de 555[nm].

$$I = \frac{F}{\Omega} [cd]$$

La iluminancia (E) es el flujo luminoso recibido por unidad de superficie, también se conoce como nivel de iluminación. Se mide en lux [lx] que es igual a lumen por metro cuadrado [ $lm/m^2$ ].

$$E = \frac{F}{S} [lx]$$

La luminancia es la relación entre la intensidad luminosa de una fuente de luz, en una dirección, y la superficie de la fuente proyectada según dicha dirección.

$$L = \frac{I}{S \cos \alpha} \left[ \frac{cd}{m^2} \right] \qquad \alpha \text{ es el ángulo de dirección}$$



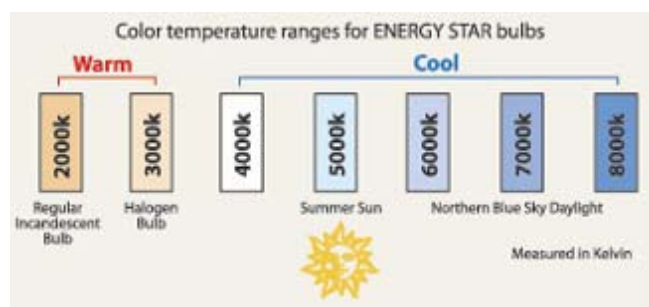
**Ilustración 24**  
 Términos fotométricos  
 Fuente: Internet

La vida o duración de una fuente de luz es el tiempo medido en horas de funcionamiento que transcurre hasta que se considera inútil según un determinado criterio. Se tiene la vida media, que es cuando la fuente deja de emitir luz. La vida útil es el tiempo que transcurre antes de que la fuente de luz deje de cumplir un determinado nivel de flujo luminoso. Los fabricantes suelen ofrecer productos con una vida útil hasta que el flujo luminoso se reduce en un 80% de su valor inicial.

La luz para iluminación resulta de la emisión de varias longitudes de onda, es decir, es la combinación de los colores del espectro visible en diferente intensidad, las lámparas incandescentes emiten mayor radiación para tonalidades cercanas al rojo y amarillo, lámparas de mercurio, halógenas y fluorescentes tienden a tener una mayor radiación para la tonalidad verde al igual que LED's para iluminación.

Existen dos parámetros que definen las propiedades de color de una fuente de luz: la apariencia de color de la fuente, que es el color que presenta la propia fuente de luz; y la reproducción cromática obtenida de dicha fuente de luz, es decir, cómo son reproducidos los colores de los objetos iluminados por la fuente de luz. La apariencia de color se obtiene a través de la correlación color temperatura (CCT) la cual describe la apariencia de color de una fuente de luz blanca en términos de temperatura en grados Kelvin. Este concepto se define como la apariencia de un cuerpo negro sometido a altas temperaturas, conforme se calienta el cuerpo negro cambia de tonalidad pasando por

rojo, naranja, amarillo, blanco y finalmente azul. El CCT de una fuente de luz es la temperatura en grados Kelvin a la cual el cuerpo negro tiene la misma tonalidad de la luz en cuestión. Con este término se puede definir el color de temperatura de una fuente de luz como cálida o fría mediante los rangos de temperatura mostrados en la ilustración.



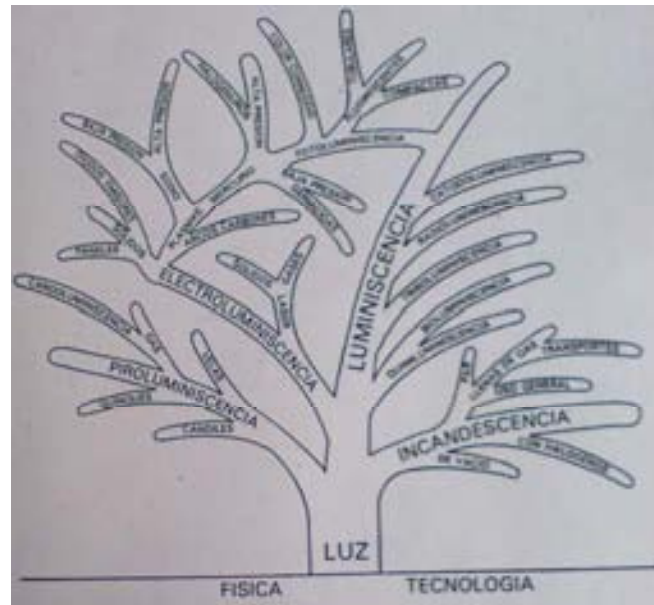
*Ilustración 25*  
*Correlación color temperatura*  
*Fuente: Internet.*

El índice de rendimiento de color (CRI) es el otro término relacionado al color de la fuente de luz, que determina la capacidad de la fuente de luz para mostrar los colores verdaderos de diferentes objetos al ser iluminados por esta fuente de luz. Mientras mayor sea el índice de rendimiento del color, más vibrante o más cercano al original aparecerán los colores de los objetos. Una fuente de luz con un índice de rendimiento del color de casi 100 tiene el mismo rendimiento que la luz de día. Por otro lado, una fuente de luz con un índice de rendimiento de color de 0 proporciona luz sin rendimiento de color, parecido a una televisión a blanco y negro. Acorde con la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) la calidad del color se integra en 3 grupos:

Grupo de rendimiento de color	Valores extremos del CRI
1 buen CRI	Mayor a 85
2 normal CRI	70 – 85
3 pobre CRI	Menor a 70

*Tabla 1*  
*Clasificación CRI*

Existen distintos procesos para la obtención de energía luminosa, algunos ya obsoletos como la combustión, otros sin aplicación por no ser aptos para la iluminación o difíciles de obtener y otros que han ido perdurando y evolucionando. En la siguiente ilustración se muestra un árbol con las diferentes ramas para obtener energía radiante visible teniendo como frutos lámparas o instrumentos creados por el hombre para la obtención de luz.



**Ilustración 26**

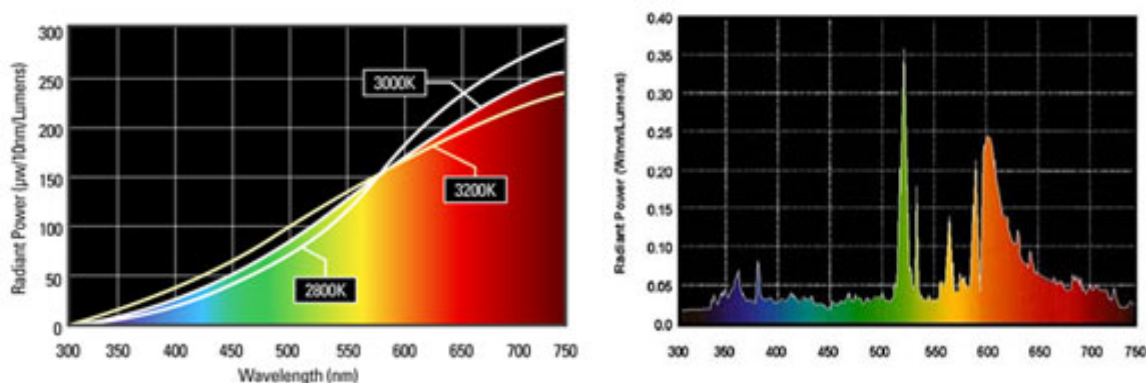
*Árbol de la Luz*

*Fuente: Iluminación y Color.*

La incandescencia es la emisión de energía luminosa por elevación de temperatura de un cuerpo conocida como termorradiación. Las interacciones entre los átomos del cuerpo emisor de luz se intensifican a medida que aumenta su temperatura, esto provoca una liberación de energía en forma de ondas electromagnéticas en el rango del espectro visible, esta luz emitida es de varias longitudes de onda. A medida que aumenta la temperatura del cuerpo emisor, la cantidad de energía radiada es mayor y la longitud de onda a la que se emite la máxima energía se hace mas corta.

La luminiscencia consiste en la emisión de luz por un rango menor de longitudes de onda (solo espectro visible) a diferencia de la incandescencia que es en varias longitudes de onda y además es mayor la intensidad de las ondas en luminiscencia que

en incandescencia. Esencialmente, la luminiscencia es la radiación luminosa emitida por un cuerpo, por efecto de un agente exterior que excita los átomos de dicho cuerpo, el número de niveles de energía posibles es reducido y la luz se emite en un número limitado de longitudes de onda, lo que origina un espectro discontinuo.



*Ilustración 27*

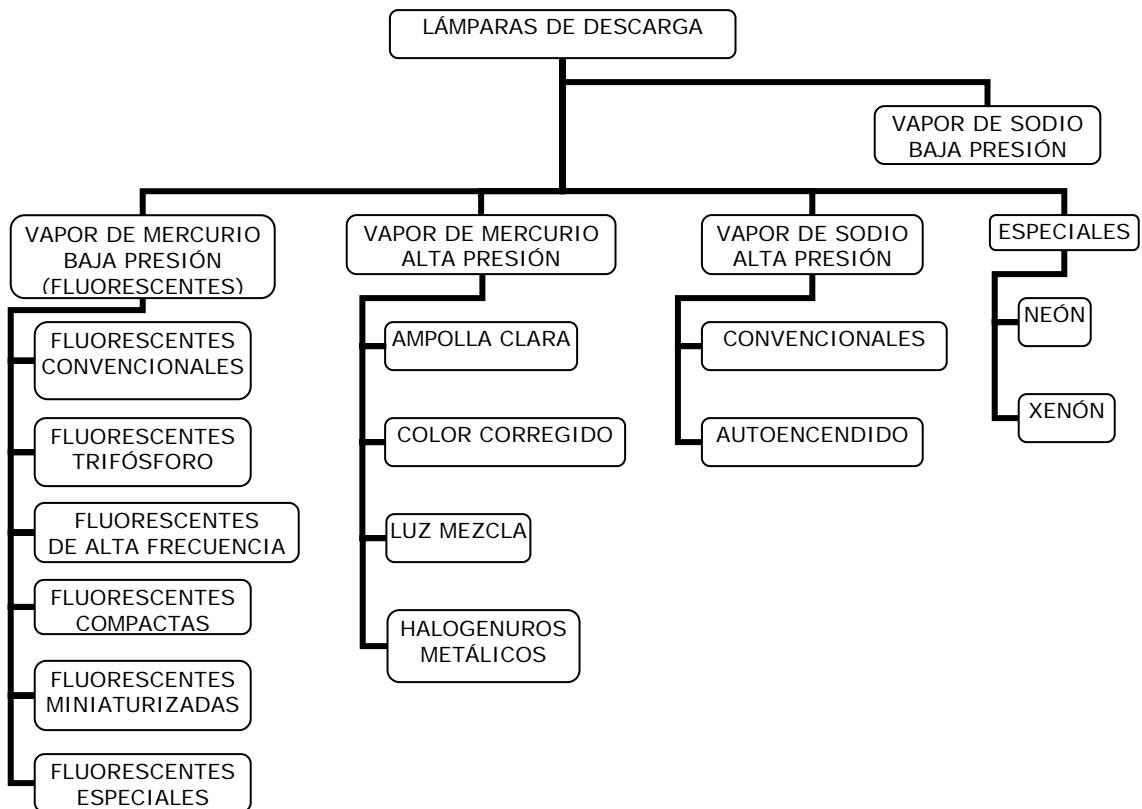
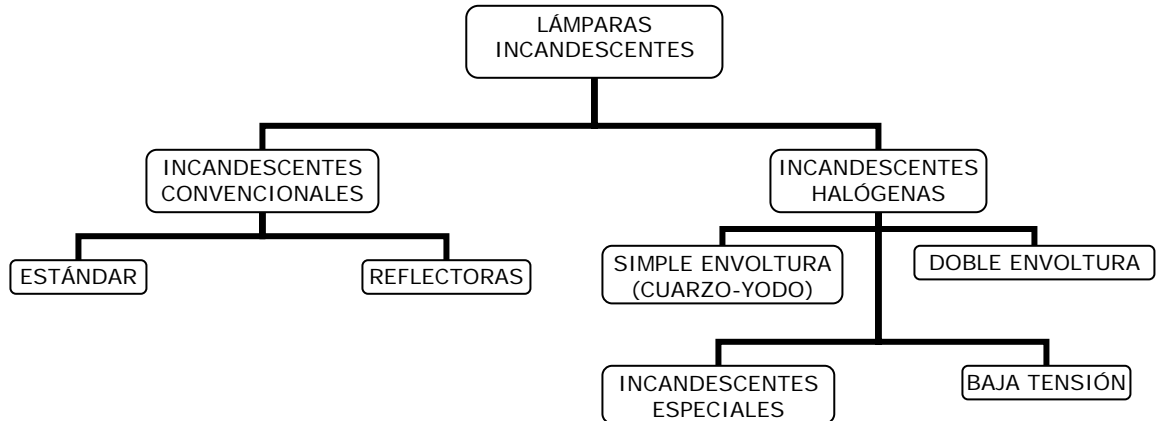
*Espectros: Incandescencia y Luminiscencia  
Fuente: Departamento de Energía de E.U.*

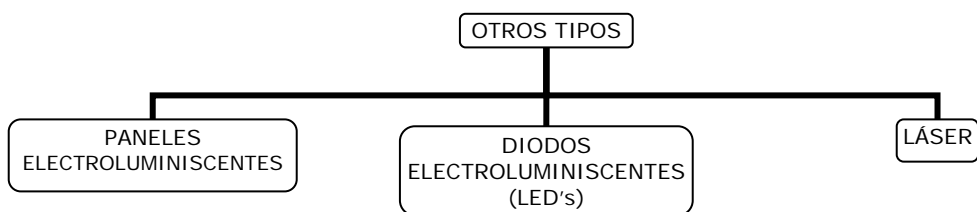
La luminiscencia se clasifica según el agente excitador en:

- ✓ Electroluminiscencia.  
Producida por la acción de un campo eléctrico en un gas o material sólido. Ejemplos de estos son lámparas de descarga, LED's.
- ✓ Fotoluminiscencia.  
Producida por la acción de otras radiaciones de distinta longitud de onda. Por ejemplo la conversión de radiación ultravioleta en visible (lámparas fluorescentes) y láseres.

Los tipos de iluminación actuales se basan en la incandescencia y luminiscencia. Las lámparas que funcionan por incandescencia, se conectan directamente a la red eléctrica, a diferencia de las lámparas de descarga que necesitan limitadores de corriente y de tensión para su encendido y funcionamiento.

Los tipos de lámparas existentes se pueden clasificar de la siguiente forma:





*Tabla 2*  
*Clasificación de lámparas*

Las lámparas incandescentes generan luz a partir del paso de una corriente eléctrica en un filamento de tungsteno contenido en una bombilla o ampolla y sellado por un casquillo. Una gran parte de energía eléctrica se convierte en calor y lo demás en energía luminosa dando como resultado una eficacia luminosa de 10 a 20  $[lm/W]$ . El espectro de emisión para lámparas incandescentes convencionales es continuo siendo la emisión de energía mayor para longitudes de onda cercanas al infrarrojo por lo que este tipo de lámparas dan una luz cálida del orden de 2700[K] y para lámparas incandescentes halógenas es un poco menos cálido del orden de los 3000 a 3200[K].

Este tipo de lámparas dan iluminación para cualquier tensión eléctrica, aunque son diseñadas para dar el mejor rendimiento y calidad a tensiones nominales. Generalmente su vida media es de 1000 a 2000 horas manteniendo un CRI cercano a 100.

Existe variedad de formas, tamaños y tensiones nominales de trabajo para estas lámparas. Para lámparas incandescentes convencionales las tensiones nominales son de 127[V] y 220[V], potencias que van desde los 25 hasta 2000[W] teniendo eficacia luminosa de 7 a 27  $[lm/W]$  y flujos luminosos desde 250 a 40000  $[lm]$ . En cuanto a lámparas incandescentes halógenas funcionan con tensiones nominales de 220[V], 127[V], 24[V], 12[V] y 6[V] dando flujos luminosos de 1000 a 44000  $[lm]$  y mismo rango de eficacia luminosa que las incandescentes convencionales.



**Ilustración 28**

*Lámparas Incandescentes: Convencionales, Reflectoras, Halógeno*  
*Fuente: proyectoyobra.com*

Las lámparas de descarga varían en cuanto a su funcionamiento y desempeño según el gas que contengan. Primeramente las lámparas de vapor de mercurio a baja presión (lámparas fluorescentes) emiten radiaciones ultravioleta cuando el gas está bajo una presión cercana a  $1[Pa]$ , el polvo fluorescente contenido en la lámpara convierte estas radiaciones en luz visible. De la composición de estas sustancias depende la cantidad y calidad de la luz y el índice de rendimiento de color.

En general este tipo de lámparas constan de un tubo de vidrio de tonalidad blanca por el polvo fluorescente (halofosfatos de calcio, fluorgermanato de magnesio, aluminatos de magnesio) de diferentes diámetros y longitudes, electrodos de tungsteno recubiertos por sustancias emisoras de electrones, un gas de llenado (gases nobles) para aumentar la probabilidad de colisión de los electrones con los átomos de mercurio para que emitan



radiación ultravioleta y sellados con casquillos denominados G (espigas) y R (un contacto).

El encendido y funcionamiento de lámparas fluorescentes se hace por medio de elementos externos, el cebador que permite el precalentamiento de los electrodos y un balastro para iniciar la descarga por medio de una sobretensión instantánea.

La luz emitida por estas lámparas es del tipo blanco cálido y luz de día ( $2700 - 6500[K]$ ), con índice de rendimiento de color de  $50 - 95$ . La vida útil de estas lámparas es de 7500 horas aproximadamente. Existen tubos fluorescentes de diferentes potencias y tamaños que en general presentan flujos luminosos de  $850 - 5400[lm]$  y eficacia luminosa de  $43 - 80[lm/W]$ .



*Ilustración 29*

*Tubos Fluorescentes con casquillos G*

*Fuente: BAW Iluminación*

Una variante de estas lámparas son las fluorescentes compactas y miniaturizadas, son de tubo estrecho de 10 a 15 milímetros, curvos con formas circulares, de “U”, de espiral o de bombilla, la sustancia fluorescente se denomina trifósforo. Incluyen el cebador y balastro dentro del empaque por lo que su conexión a la red es directa, su casquillo es en la mayoría de los caso igual al de las incandescentes y el resto es del tipo G. Tienen una vida media de 8000 horas dando luz cálida similar a las lámparas incandescentes, aunque existen versiones de  $3000 - 4000[K]$  con CRI de 85. Tienen flujos luminosos de  $250 - 1800[lm]$  y eficacia luminosa de  $50 - 81[lm/W]$ .



**Ilustración 30**  
*Lámparas Fluorescentes Compactas y Miniaturizadas*  
 Fuente: General Electric

Las lámparas de vapor de mercurio a alta presión se dividen en lámparas de mercurio, luz mezcla y halogenuros metálicos. A medida que aumenta la presión del vapor de mercurio en el interior del tubo de descarga, la radiación ultravioleta característica de la lámpara disminuye para emitir radiaciones del espectro visible desde la coloración violeta al amarillo, por lo que la luz emitida es azul-verde y se añade sustancias fluorescentes que aprovechan las radiaciones ultravioleta y las convierte en radiaciones de tonalidad roja. Los elementos de esta lámpara son el tubo de descarga generalmente de cuarzo para soportar la alta temperatura durante el funcionamiento de ésta ( $750[^\circ\text{C}]$ ), es de forma cilíndrica con los extremos semiesféricos. Electrodo principales de tungsteno similares a los de las lámparas fluorescentes, un electrodo auxiliar que es un hilo de tungsteno o molibdeno, un gas de llenado comúnmente argón o una combinación de argón con neón y la ampolla exterior (ovoide, globo o parabólica) de vidrio endurecido diseñado para soportar temperaturas del orden de  $350[^\circ\text{C}]$ , entre el tubo de descarga y ésta ampolla existe un gas de relleno (argón y nitrógeno) para proteger los componentes metálicos interiores. La sustancia fluorescente es vanadato de itrio activado con europio por su mejor resistencia a la alta temperatura que los antiguos compuestos de magnesio y porque ofrece una eficacia luminosa más elevada.

Para encenderlas se recurre a un electrodo auxiliar próximo a uno de los electrodos principales que ioniza el gas inerte contenido en el tubo y facilita el inicio de la descarga entre los electrodos principales. A continuación se inicia un periodo transitorio de aproximadamente cuatro minutos, caracterizado porque la luz pasa de un tono violeta a blanco azulado, en el que se produce la vaporización del mercurio y un incremento

progresivo de la presión del vapor y el flujo luminoso hasta alcanzar los valores normales. Si en estos momentos se apagara la lámpara no sería posible su reencendido hasta que se enfriara, puesto que la alta presión del mercurio haría necesaria una tensión de ruptura muy alta.

La vida útil esta determinada considerando un factor de mantenimiento de flujo del 80% del inicial y periodos de 3 horas por encendido, la vida útil alcanza 8000 horas. El máximo índice de rendimiento de color es de 60 dando una temperatura de color de  $3500 - 4500[K]$ . Permiten flujos luminosos de  $2000 - 125000[lm]$  con eficacia luminosa de  $40 - 63[lm/W]$ . Necesitan un balastro que absorbe el exceso de la tensión de red sobre la tensión de arco de la lámpara para alimentaciones de  $220[V]$  y elevar la tensión para alimentaciones inferiores.



**Ilustración 31**

*Lámpara de Vapor de Mercurio a alta presión*

*Fuente: Internet*

Las lámparas de luz mezcla son el resultado de la combinación de una lámpara incandescente con una de descarga. Estas lámparas ofrecen un índice de rendimiento de color de 60 y una temperatura de color de  $3600[K]$ . La duración está limitada por el tiempo de vida del filamento que es la principal causa de fallo. Respecto a la depreciación del flujo hay que considerar dos causas. Por un lado se tiene el depósito de partículas en la ampolla por el wolframio evaporado y por otro la pérdida de eficacia de los polvos fosforescentes. En general, la vida útil se sitúa en torno a las 6000 horas. Su eficacia luminosa es de  $20 - 60[lm/W]$ . Una particularidad de estas lámparas es que

no necesitan balastro ya que el propio filamento actúa como estabilizador de la corriente. Esto las hace adecuadas para sustituir las lámparas incandescentes sin necesidad de modificar las instalaciones.



**Ilustración 32**  
*Lámpara Luz Mezcla*  
*Fuente: Internet*

Al añadir en el tubo de descarga yoduros metálicos (sodio, talio, indio) se consigue mejorar considerablemente la capacidad de reproducir el color de la lámpara de vapor de mercurio (lámparas de halogenuros metálicos). Cada una de estas sustancias aporta nuevas líneas al espectro, por ejemplo amarillo el sodio, verde el talio y azul el indio. Los resultados de estas aportaciones son una temperatura de color de  $3000 - 6000 [K]$  dependiendo de los yoduros añadidos y un rendimiento del color de entre 65 y 85. La eficacia luminosa de estas lámparas es de  $60 - 96 [lm/W]$  y su vida media es de 10000 horas. Tienen un periodo de encendido de unos diez minutos, que es el tiempo necesario hasta que se estabiliza la descarga. Para su funcionamiento es necesario un dispositivo elevador de tensión debido a que las tensiones de arranque son muy elevadas ( $1500 - 5000 [V]$ ).



**Ilustración 33**  
*Lámpara de halogenuros metálicos*  
*Fuente: Internet*

La descarga en vapor de sodio a baja presión es muy similar a la del mercurio a baja presión, con la diferencia de que la temperatura en el tubo de descarga es más elevada ( $260[^\circ C]$ ) para asegurar la evaporación del sodio. Alrededor del 90% de la radiación emitida es de  $589-589.6[nm]$  y el resto a radiaciones infrarrojas. Debido a su cercanía al máximo de la sensibilidad relativa del ojo este tipo de lámparas presentan una elevada eficacia luminosa ( $160-180[lm/W]$ ). Una lámpara de vapor de sodio a baja presión tiene una vida media de 15000 horas y la depreciación de flujo luminoso que sufren a lo largo de su vida es muy baja por lo que su vida útil es de entre 6000 y 8000 horas. Esto junto a su alta eficiencia y las ventajas visuales que ofrece la hacen muy adecuada para usos de alumbrado público. En cuanto al final de su vida útil, este se produce por agotamiento de la sustancia emisora de electrones como ocurre en otras lámparas de descarga. Aunque también se puede producir por deterioro del tubo de descarga o de la ampolla exterior. En estas lámparas el tubo de descarga tiene forma de U para disminuir las pérdidas por calor y reducir el tamaño de la lámpara. Está elaborado de materiales muy resistentes ya que el sodio es muy corrosivo y se hacen unas pequeñas hendiduras para facilitar la concentración del sodio y que se evapore a la temperatura menor posible. El tubo está encerrado en una ampolla al vacío con objeto de aumentar el aislamiento térmico. De esta manera se ayuda a mantener la elevada temperatura de funcionamiento necesaria en la pared del tubo ( $270\text{ }^\circ C$ ).

El tiempo de arranque de una lámpara de este tipo es de aproximadamente diez minutos. Es el tiempo necesario desde que se inicia la descarga en el tubo en una mezcla de gases inertes (neón y argón) hasta que se vaporiza todo el sodio y comienza a emitir luz.



**Ilustración 34**

*Lámpara de Vapor de Sodio a baja presión*

*Fuente: nsp-co.com*

Las lámparas de vapor de sodio a alta presión tienen una distribución espectral que abarca casi todo el espectro visible proporcionando una luz blanca dorada mucho más agradable que la proporcionada por las lámparas de baja presión. Tiene una temperatura de color de  $2100[K]$  y capacidad para reproducir los colores mejor que las lámparas a baja presión con CRI de 65 a 80. Tienen una eficacia luminosa de  $130[lm/W]$ . La vida media de este tipo de lámparas es de 20000 horas y su vida útil oscila entre 8000 y 12000 horas. Entre las causas que limitan la duración de la lámpara, además de la depreciación del flujo, es por fugas en el tubo de descarga y del incremento progresivo de la tensión de encendido necesaria hasta niveles que impiden su correcto funcionamiento. Las condiciones de funcionamiento son muy exigentes debido a las altas temperaturas ( $1000[^\circ C]$ ), la presión y las agresiones químicas producidas por el sodio que debe soportar el tubo de descarga. En su interior hay una mezcla de sodio, vapor de mercurio que actúa como amortiguador de la descarga y xenón que sirve para facilitar el arranque y reducir las pérdidas térmicas. El tubo está rodeado por una ampolla al vacío. La tensión de encendido de estas lámparas es muy elevada y su tiempo de arranque es muy breve.



**Ilustración 35**

*Lámpara de Vapor de Sodio a alta presión*

*Fuente: Internet*

Las lámparas de xenón presentan un espectro continuo y completo dando una luz fría o de luz de día ( $5000-6000[K]$ ), con emisiones importantes de infrarrojo y ultravioleta, están rellenas únicamente de xenón que permite una eficacia luminosa elevada y buen CRI. Su encendido es instantáneo, emitiendo desde el primer momento flujo luminoso nominal, para lograr esto, se necesita una tensión de arranque extremadamente elevada del orden de  $10-40[kV]$ . La descarga se efectúa en el interior de un tubo de cuarzo, entre dos electrodos de tungsteno, siendo la distancia entre ellos el origen de los dos tipos de lámparas de xenón. Por una parte se tiene las lámparas de arco corto dando eficacias luminosas de  $15-40[lm/W]$ , y las lámparas de destellos usadas en fotografía (flash), faros, proyecciones cinematográficas con eficacia luminosa de  $20-30[lm/W]$ .



**Ilustración 36**

*Lámpara de Xenón*

*Fuente: Internet*

Las lámparas de neón, conocidos como tubos de neón por ser de gran longitud en relación con su diámetro necesitan de una alta tensión para encenderse, se usa neón y argón para producir una tonalidad roja y azul y sustancias fosforescentes para completar la gama de colores a elegir dependiendo del color que se desea. No existen dimensiones normalizadas, teniendo tensiones de trabajo de  $250 - 600[V]$  dependiendo del diámetro, el gas de relleno y la presión del mismo. La vida útil de estos tubos de neón es de 20000 horas y no se ve afectada por el número de encendidos ya que los electrodos carecen de sustancia emisora de electrones.



*Ilustración 37*  
*Lámpara de Neón*  
*Fuente: Internet*

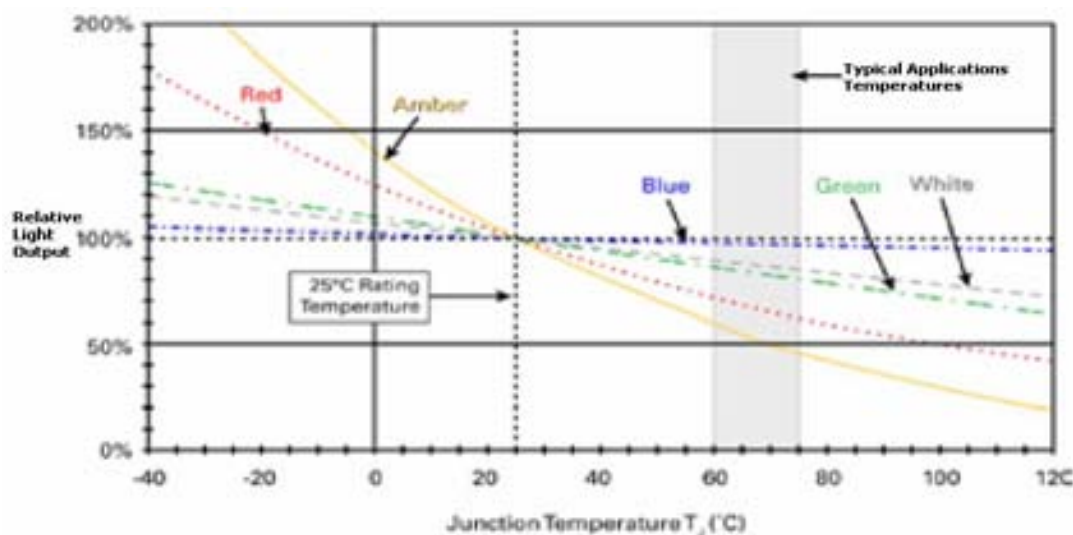
Los LED's solo emiten radiaciones del espectro visible, y la intensidad para las longitudes de onda se determina de acuerdo a la temperatura del color que emitirá el LED, las características lumínicas son cambiantes por ser una tecnología en desarrollo y se mencionarán más adelante acorde a las existentes en el mercado.

Lo que respecta a la vida útil de un LED, se ha establecido que cuando un LED emite el 70% o 50% del valor de flujo luminoso inicial ha cumplido con su vida útil, estos límites se abrevian como  $L_{70}$  para iluminación general y  $L_{50}$  para iluminación de decoración. Los periodos de vida útil de lámparas tradicionales se determinan por procedimientos de prueba establecidos en estándares. Por ejemplo, lámparas fluorescentes compactas son probadas acorde al estándar LM-65, publicado por la Sociedad Norteamericana de Ingeniería de Iluminación (IESNA), este proceso toma 15 meses en ser completado (10000 horas). Una prueba con este procedimiento para LED's no es práctico para el largo periodo de vida útil de estos, tomaría 5 o 6 años completar la prueba, además de



que los productos probados serían obsoletos por que es una tecnología en desarrollo. Para evaluar la vida útil de LED's el IESNA desarrolla un procedimiento de prueba consistente en poner en funcionamiento los LED's por 6000 horas. Después de las primeras 1000 horas se mide el flujo luminoso y normalizado a 100% debido a que muchos LED's tienden a incrementar su flujo luminoso durante este periodo, luego se toman lecturas del flujo luminoso hasta cumplir con las 5000 horas restantes. Las mediciones tomadas se comparan con el valor inicial, si no se alcanzaron los límites  $L_{70}$  y  $L_{50}$ , las mediciones obtenidas son extrapoladas para obtener los valores de estos límites.

La calidad de la luz y la vida útil están estrechamente relacionadas con la temperatura en lámparas de LED's las cuales deben incluir disipadores de calor en contacto directo con el LED. La primer causa en la depreciación del flujo luminoso es el calor generado en la *juntura*<sup>2</sup> del LED. Los LED's no emiten calor por radiación infrarroja por lo que se debe transmitir el calor por conducción, si el calor se queda en el LED, el flujo luminoso y la vida útil disminuyen y se altera el color de temperatura de la luz blanca del LED. La siguiente ilustración muestra la variación de los flujos luminosos para diferentes colores conforme varia la temperatura de la juntura del LED.

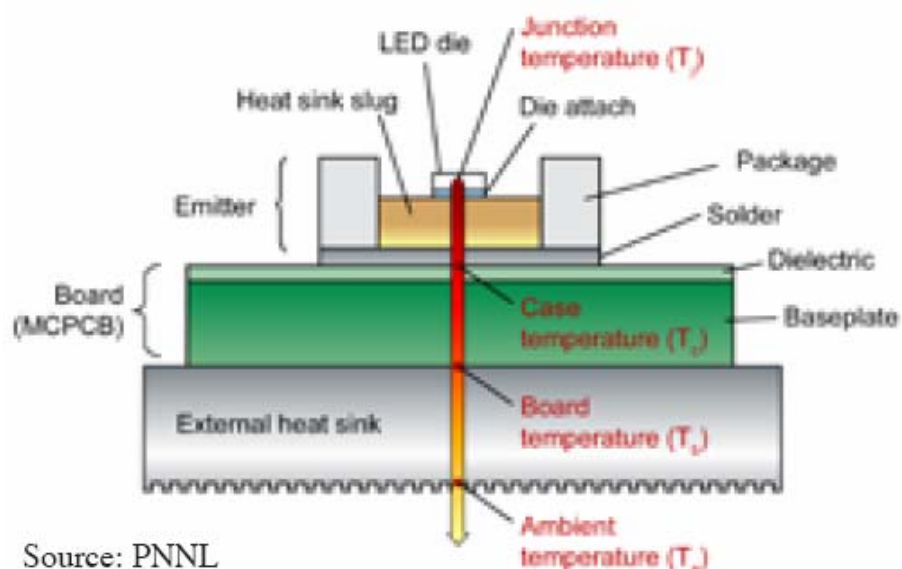


**Ilustración 38**

Gráfica de variación de flujo luminoso a la temperatura de juntura  
Fuente: Pacific Northwest National Laboratory

<sup>2</sup> Juntura. Es la frontera que delimita las regiones del material P y N en un diodo y donde se encuentra la región de agotamiento característica de cualquier unión P-N.

La temperatura de la juntura se ve afectada por la corriente del LED, la trayectoria de transmisión del calor, y la temperatura ambiental. En general, entre mayor sea la corriente del LED, mayor será el calor generado en la juntura. La cantidad de calor a disipar en el LED depende de la temperatura ambiente y de los elementos disipadores de calor. Un típico LED de potencia consta de un emisor, un núcleo de metal para circuito impreso (MCPCB), y un disipador de calor externo. El emisor contiene la unión P-N, el lente de concentración de fotones, encapsulado y una placa de metal para transferir el calor de la unión P-N al exterior. La placa de metal esta soldada al MCPBC el cual contiene una capa de material dieléctrico adherida a presión con una base de sustrato de metal (aluminio). EL MCPBC se fija mecánicamente a un disipador externo que se acopla al chasis de la luminaria. El tamaño del disipador depende de las características térmicas del LED. La ilustración muestra los elementos mencionados y la flecha amarilla-roja indica el camino que sigue el calor.



**Ilustración 39**

*Elementos que conforman un LED de potencia  
Fuente: Pacific Northwest National Laboratory*

## **2.2 Parámetros que intervienen en el cálculo de Iluminación.**

Un sistema de iluminación debe producir luz en cantidad y calidad suficientes para efectuar las funciones propias del espacio que se ilumina. Se debe cumplir con rendimiento o eficacia visual, comodidad, placer visual y economía.

La cantidad de luz se debe fijar estableciendo 3 niveles de iluminación que determinan la cantidad de luz y el mantenimiento para cumplir con estos niveles. Primero se tiene la iluminación media inicial que es la obtenida en el momento en que se pone en servicio por primera vez el sistema de iluminación, luego se tiene la iluminación media en servicio, correspondiente a la obtenida entre el momento inicial y la intervención para el mantenimiento y por ultimo la iluminación media mínima que se obtiene en el momento en que se necesita dar mantenimiento.

Existe una gran cantidad de recomendaciones de iluminación para los distintos tipos de tarea que se pretenden iluminar acorde a organismos nacionales e internacionales. Aparte de la cantidad y calidad se considera la uniformidad de la iluminación la cual implica la distribución de luminarias en el campo visual, deslumbramiento y modelado.

Lo que respecta a la economía el sistema de iluminación debe ser eficaz energéticamente, es decir, utilizar fuentes de luz apropiadas a las tareas que se desempeñan en determinado espacio, conservar en óptimas condiciones el equipo de alumbrado y utilizar racionalmente el sistema de iluminación mediante controles apropiados.

La Comisión Internacional de Iluminación (CIE) fijó en 1931 las características de tres fuentes luminosas (A, B, C) con una repartición espectral como sigue:

✓ Fuente A.

Corresponde a una bombilla con filamento de tungsteno y atmósfera gaseosa puesta a punto por el Bureau of Standards Americano con una temperatura de color de  $2848[K]$ .

✓ Fuente B.

Se refiere a una atmósfera ligeramente nublada que se ha descartado por no tener utilidad.

✓ Fuente C.

Es una fuente luminosa de  $6770[K]$ , con un espectro correspondiente al de un cielo cubierto (mezcla de sol con cielo azul) y se obtiene usando filtros líquidos de absorción en la fuente A. En 1956, la CIE definió tres fuentes adicionales con las siguientes temperaturas de color partiendo de C.

✓ Fuentes  $D_{55}(5560[K])$ ,  $D_{65}(6500[K])$ ,  $D_{75}(7500[K])$ .

Estas fuentes D son parecidas a la composición espectral del cielo medio y abarcan un intervalo espectral mayor que las fuentes A y C.

Las fuentes C, D y W cuya temperatura de color es  $5500[K]$  para la última, se denominan blancos patrón ya que son referencias para definir los colores complementarios y para la construcción de los diagramas cromáticos, todas estas intentan reproducir la luz de día.

La CIE establece niveles de iluminación recomendados para el desempeño de tareas afines al área correspondiente usando fuentes C y D. Para una residencia se establece el siguiente conjunto de niveles de iluminación.

Tareas visuales concretas:	Nivel de Iluminación recomendado (lux)
<i>Juegos de mesa</i>	300
Cocinas:	
<i>Fregaderos</i>	700
<i>Hornos y superficies de trabajo</i>	500
<i>Lavadoras, tablas de planchar</i>	500
Salones de escritura, estudio:	
<i>Libros, revista y periódicos</i>	300
<i>Escritura a mano, copias defectuosas</i>	700
<i>Pupitres de estudio</i>	700
Costuras:	
<i>Trabajos ocasionales, telas bastas de alto contraste</i>	300
<i>Trabajos ocasionales, telas finas</i>	500
<i>Trabajo continuo, telas ligeras o medias</i>	1000
<i>Telas oscuras, detalles finos, bajo contraste</i>	2000
Tocadores, maquillajes, afeitados: sobre los espejos	500
Taller, bancos de trabajo	700
Alumbrado general:	
<i>Vestíbulos, pasillos, escaleras, descansos</i>	100
<i>Cuartos de estar, comedores, salas, bibliotecas</i>	100
<i>Cocina, lavadora, cuarto de baño</i>	300

*Tabla 3*  
Niveles de Iluminación recomendados para una residencia

La luminancia de los alrededores de la tarea visual debe ser en lo posible menor que la luminancia de la tarea de la misma sin llegar a ser un tercio menor del valor. Una buena distribución de luminarias con la correcta luminancia permite que el observador efectúe las tareas de manera cómoda sin perder atención por deficiencia de luz o mala distribución, también se mejora el rendimiento visual si además de controlar los

contrastes de luminancia se procura crear contrastes de color en la zona de trabajo, sobre todo cuando los contrastes de luminancia son bajos.

Un problema que se presenta en el nivel de iluminación es el deslumbramiento, es la condición de la visión que produce molestias, reducción o ambas, en la habilidad para ver objetos debido a una inconveniente distribución o nivel de luminancias o a variaciones extremas de las mismas en el espacio o en el tiempo. El valor de luminancia para el cual se presenta deslumbramiento es de  $2000[cd/m^2]$  correspondiente a una iluminación horizontal aproximada de  $10000[lux]$ .

La apariencia general de un espacio, las personas y objetos que se encuentran dentro de éste, se iluminan de modo que sus formas y texturas sobresalen nítida y agradablemente, lo que se logra con un alumbrado ni demasiado direccional que pierde sombras duras y ásperas ni demasiado difuso con que se produce la sensación de relieve, a esta técnica de posicionamiento y direccionamiento de luminarias se conoce como modelado.

### **2.2.1 Interiores y Exteriores.**

La iluminación domestica interior debe proporcionar la luz suficiente para realizar las actividades propias de cada espacio y cuarto que varían desde una tarea de dificultad visual a una iluminación de decoración, manteniendo la armonía estética y personal.

Los niveles de iluminación se fijan acorde a los niveles recomendados por el CIE teniendo como base temperaturas de color cálidas o las deseadas por el observador acorde a sus gustos de iluminación y decoración.

El tipo de lámparas usuales para interiores son incandescentes convencionales, incandescentes halógenas, lámparas de vapor de mercurio (fluorescentes, fluorescentes compactas), y como se propone en este trabajo lámparas de LED's.

En cuanto a las luminarias, la elección depende de consideraciones estéticas y propias del diseño y forma de las lámparas que se utilizan. Existen para lámparas incandescentes, luminarias empotradas con reflector o aros de sujeción, luminarias para lámparas con reflector incorporado, superficiales, suspendidas y portátiles para lámparas de pie y sobremesa. Para lámparas incandescentes halógenas por su tamaño usan armazones direccionales o fijos, incrustaciones en cavidades hechas en techo o pared, lámparas fluorescentes utilizan luminarias empotradas con difusor o superficiales con cierre de difusor o regletas apantalladas por molduras usados en muebles de cocina.

El alumbrado puede enriquecer o arruinar el diseño de un interior por la interacción de las luminancias creadas sobre las superficies del entorno. Una superficie de alta luminancia parecerá más lejana que una de baja, por lo que una pared debidamente iluminada ampliará el espacio adyacente en su dirección, mientras que la misma cantidad de luz concentrada en un candelabro en medio de un espacio contraerá el mismo. De la misma manera, una pared con baja luminancia y con bajo nivel de alumbrado parecerá más cercana que una de alta luminancia, por ejemplo un techo

pobre en luminancia parecerá visualmente de baja altura. En superficies extensas las de gran iluminación alejan y las de poca acercan, en fuentes puntuales el efecto es contrario.

Para iluminaciones exteriores el propósito es tener iluminación suficiente para entradas, decoración en patios, jardines, delimitar caminos. Para este propósito se utilizan algunos tipos de lámparas para interiores y para alumbrado masivo se utilizan lámparas de vapor de mercurio a alta presión al igual que de sodio. Las luminarias comúnmente usadas son candelabros que proporcionan una estética adecuada a exteriores, luminarias empotradas a pared, montadas con reflectores, y postes.



## 2.3 Lámparas de LED's existentes en el mercado.

Existen una gran cantidad de compañías a nivel mundial que fabrican lámparas de LED's así como las respectivas luminarias. Algunas por tener desarrolladores de tecnología en Estados Unidos, Europa y Asia proporcionan al mercado LED's con mayores flujos luminosos, mayor vida útil entre otras ventajas y marcan la pauta para la producción masiva.

Actualmente la demanda de LED's para iluminación en nuestro país no es la suficiente para encontrar una gran variedad de este tipo de lámparas para uso doméstico, sin embargo las ventajas que presenta el uso de LED's incrementa la demanda de estos y por consecuencia su disponibilidad.

Las características eléctricas de las lámparas existentes de LED's permiten que se conecten directamente a la red eléctrica para sustitución inmediata de las fuentes de luz tradicionales, es decir, sustituyen lámparas incandescentes y fluorescentes compactas para distintas potencias, también hay lámparas tipo MR16 para tensiones de trabajo de 12[V]. Las características lumínicas son variables, existen una amplia variedad de flujos luminosos, temperaturas de color, índice de rendimiento de color, ángulos de radiación, considerando la aplicación de la lámpara. A continuación se muestran las características de lámparas existentes en el mercado.

- ✓ Usan LED's de baja potencia de 5[mm] y LED's de alta potencia de diferentes magnitudes desde 1[W] hasta 32[W], cuando se usa LED's de alta potencia puede ser un simple LED o un conjunto.
- ✓ Las tensiones de trabajo abarcan desde los 12–24[V] de tensión directa o alterna hasta 260[V] de tensión alterna lo que permite sustituir tubos fluorescentes por tubos de LED's.

- ✓ La temperatura de color incluye las tonalidades cálidas, luz de día y frías ( $2800-6500[K]$ ) y tonalidades roja, azul, verde y amarillo, con índices de rendimiento de color no menores a 60.
- ✓ Los ángulos de radicación del haz de luz van desde  $15^\circ$  a  $110^\circ$ . Algunas lámparas usan lentes para dar una mayor eficacia luminosa.
- ✓ Rango de vida útil de 12000 a 50000 horas.
- ✓ Flujo luminoso dependiente del color de temperatura abarcando el rango de  $120-2100[lm]$ .
- ✓ Eficacia luminosa en el rango de  $20-75[lm/W]$ .

Las luminarias y las propias lámparas incluyen elementos metálicos óptimos para disipación de calor ya que los LED's de alta potencia son susceptibles a cambios de temperatura y variar el flujo luminoso si no se tiene el disipador.



**Ilustración 40**

*Lámparas de LED's MR16: Varios LED's de 5mm, LED de 5W, LED's de 1W*  
*Fuente: Haiyan Chaohong Electric Science and Technology Co., Ltd*



**Ilustración 41**

*Lámparas de LED's: Sustitución de lámparas incandescentes, fluorescentes compactas y tubos*  
*Fuente: microluz.es, doubulb.com*



**Ilustración 42**

*Ejemplos de luminarias: 4 lámparas MR16, luminaria para techo, luminaria para pared*  
*Fuente: microluz.es*



**Ilustración 43**

*Aspecto de la iluminación con LED's*  
*Fuente: Internet*

## 2.4 Comparación de los diferentes dispositivos para iluminación.

Los mejores LED's blancos pueden alcanzar o exceder la eficacia luminosa de lámparas fluorescentes compactas, sin embargo, actualmente muchos LED's blancos son marginalmente mas eficaces que lámparas incandescentes. El mejor LED de luz cálida disponible puede producir cerca de  $45-50[lm/W]$  al igual que lámparas fluorescentes en comparación con lámparas incandescentes que producen  $12-15[lm/W]$ . Un buen sistema de iluminación a base de LED's combinado con las luminarias correctas, manejo térmico y diseño óptico pueden producir más de  $700[lm]$  usando solamente  $12[W]$  para dar una eficacia luminosa de  $58[lm/W]$ . Si por el contrario, se tiene un diseño pobre, mala distribución y colocación de luminarias aunque se usen los LED's más potentes, la eficacia no será mejor que una iluminación por incandescencia.

Light Source	Typical Luminous Efficacy Range in lm/W (varies depending on wattage and lamp type)
Incandescent (no ballast)	10-18
Halogen (no ballast)	15-20
Compact fluorescent (CFL) (incl. ballast)	35-60
Linear fluorescent (incl. ballast)	50-100
Metal halide (incl. ballast)	50-90
Cool white LED 5000K (incl. driver)	47-64*
Warm white LED 3300K (incl. driver)	25-44*

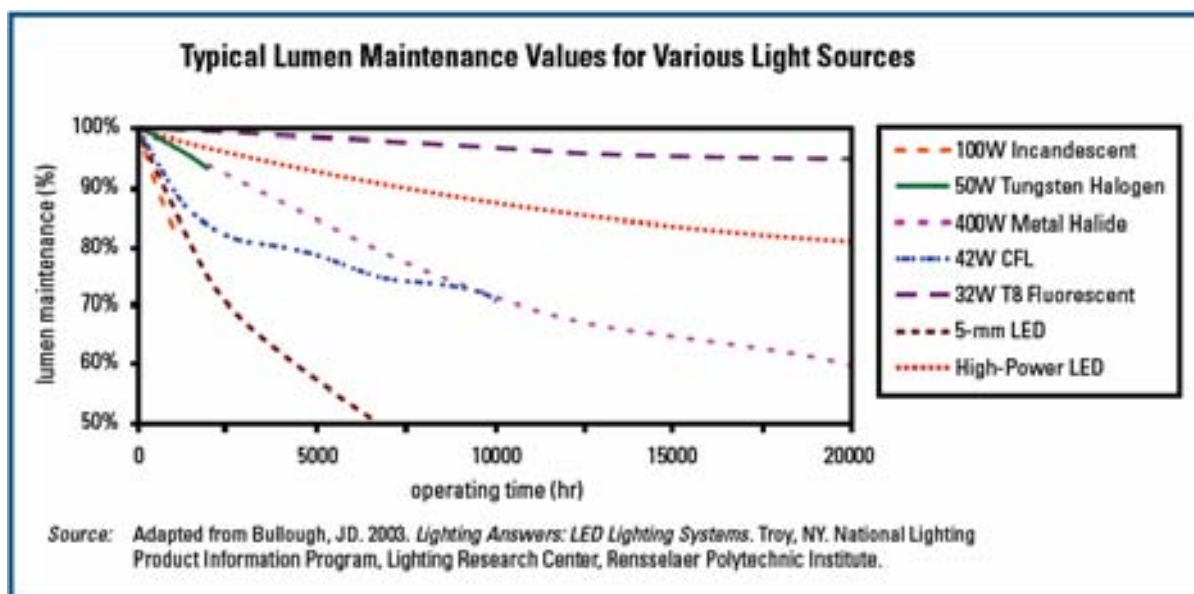
\*As of October 2007.

**Tabla 4**

*Eficiencias Luminosas de cada tipo de iluminación hasta Octubre de 2007.*

*Fuente: Departamento de Energía de E.U.*

Al contrario de otras fuentes luminosas, los LED's no se "queman", sino que disminuyen su flujo luminoso conforme transcurren los años. La calidad de luz que ofrece (vida útil) un LED se espera que sea de 30000 a 50000 horas. Una lámpara incandescente no supera 1000 horas, lámparas fluorescentes compactas entre 8000 y 10000 horas y los mejores tubos fluorescentes hasta 30000 horas.



**Ilustración 44**

*Gráfica de mantenimiento de flujo luminoso en el tiempo de diferentes fuentes luminosas  
Fuente: Departamento de Energía de E.U.*

La temperatura del color y el índice de rendimiento de color son aspectos importantes en la calidad de la luz. Hasta hace poco, casi todos los LED's tenían una alta temperatura de color superior a  $5000[K]$  correspondientes a luz fría, una luz blanca-azul. Ahora existen LED's de luz de día y cálida aunque son menos eficaces que las de luz fría pero que se encuentran a par de lámparas fluorescentes compactas. Para iluminación de interiores las luces cálidas ( $2700-3000[K]$ ) y en algunos casos luz neutral ( $3500-4000[K]$ ) son las apropiadas. EL CRI proporcionado por lámparas de LED's oscila entre 70 y 90 dependiendo de la temperatura de color como se observa en la tabla siguiente. Lámparas incandescentes dan una temperatura de color de  $2700[K]$  y un CRI cercano a 100. Y del tipo fluorescente compacta proporcionan una temperatura de color de  $2700-3000[K]$  con un CRI de por lo menos 80. Para interiores se recomienda un CRI mayor a 80.

CCT	CRI	70-79	80-89	90+
2600-3500 K		23-43 lm/W		25 lm/W
3500-5000 K		36-73 lm/W	36-54 lm/W	
> 5000 K		54-87 lm/W	38 lm/W	

Sources: Manufacturer datasheets including Cree XLamp XR-E, Philips Lumileds Rebel, Philips Lumileds K2.

*Tabla 5*

*Índice de rendimiento de color (CRI) para lámparas de LED's según la temperatura de color*

*Fuente: Departamento de Energía de E.U.*

El costo de LED's para iluminación ha variado drásticamente. LED's de buena calidad tienen un costo elevado en comparación a las fuentes luminosas tradicionales, sin embargo, los costos disminuyen rápidamente. En 2001, el costo de LED's de luz blanca era superior a los US\$200 por kilolumen, en 2007 el precio promedio disminuyó a US\$30 por kilolumen, la ventaja económica del uso de LED's se observa al comparar los costos del reemplazo de lámparas, luminarias y mantenimiento con el ahorro de energía y la vida útil de los LED's.

Debido a la naturaleza de la emisión de luz, los LED's son más eficientes que otras fuentes de iluminación para determinadas aplicaciones. Las lámparas incandescentes y fluorescentes emiten luz en todas direcciones, parte de la luz generada por la lámpara es absorbida por el armazón o ilumina un área sin utilidad, es común que el 40% de la luz generada se pierda en candelabros, armaduras, laminas de soporte, etc. Lámparas de LED's emiten luz en una dirección específica, reduciendo la necesidad de reflectores y difusores que pueden absorber luz. La iluminación direccional que se hace por medio de cavidades en techos y paredes es usada ahora para iluminación general de cocinas, pasillos, baños y otras áreas del hogar en sustitución de diversas configuraciones de lámparas incandescentes y reflectoras. En la siguiente tabla se observa un comparativo de la iluminación obtenida mediante cavidades para un foco incandescente de 65[W],

una lámpara fluorescente compacta en espiral de 13[W] y una lámpara de LED de prueba.

Comparison of Recessed Downlight Lamping Options			
	65W BR-30 Flood	13W 4-pin Spiral CFL	LED 2
Luminaire light output, initial (lumens)	570	514	730
Luminaire wattage (W)	65	12	12
Luminaire efficacy (lm/W)	9	42	60
CCT (Kelvin)	2700 K	2700 K	2700 K
CRI	100	82	95
Center beam candlepower (candela)	510 cd	154 cd	280 cd
Beam angle (degrees)	55°	120°	105°
Average luminance at 55° (cd/sq meter)	16161	11862	14107
Dimmable	Y	N	Y

Based on photometric reports for three products.

**Tabla 6**  
Comparación de iluminación mediante cavidades  
Fuente: Departamento de Energía de E.U.



**Ilustración 45**  
Emisión de Luz: Formas de emisión para diferentes tipos de iluminación, uso de cavidades en una cocina  
Fuente: Departamento de Energía de E.U.

En resumen, los LED's son diferentes de otras fuentes de iluminación por ser dispositivos semiconductores que no están compuestos de vidrio para contenerlos, ni filamentos, electrodos o gases. Son dispositivos construidos con pequeños chips de aproximadamente  $1[mm^2]$  con varias capas de materiales semiconductores, montados en disipadores de calor y encapsulados en lentes transparentes. Como resultado se tiene una fuente de luz de 7 a 9 milímetros capaz de producir  $30-150[lm]$  por mucho más tiempo que cualquier otra fuente luminosa y ser agrupados en un espacio muy pequeño para obtener el nivel de iluminación deseado. La emisión de luz es direccional permitiendo así reducir significativamente la pérdida de luz, son resistentes por estar compuestos de elementos duros y rígidos, son de encendido instantáneo con capacidad de switcheo de alta frecuencia, fáciles de controlar y no emiten radiaciones infrarrojas o ultravioleta.



# Capítulo 3

## ***LABVIEW Y CONTROL POR INTERNET.***

### **3.1 LabVIEW.**

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*) es una plataforma de desarrollo gráfico para diseño, control y pruebas creado por National Instruments. El lenguaje de programación de LabVIEW se conoce como “G”. La primera versión de LabVIEW fue para sistemas operativos de Apple Macintosh en 1986, ahora existen versiones para diferentes sistemas operativos como Microsoft Windows, UNIX, Linux, y Mac OS, la versión más reciente es 8.5.1 que salió en Abril de 2008.

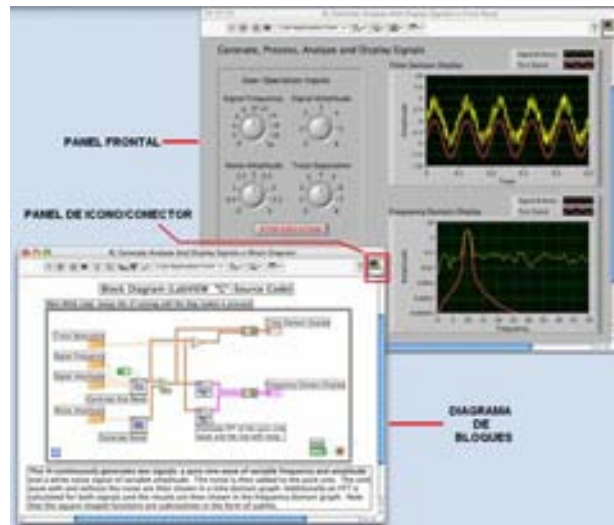
Los programas en LabVIEW son denominados instrumentos virtuales o VI's, ya que su apariencia y operación imita a los instrumentos físicos, tal como osciloscopios, multímetros, controles, botones, etc. Los VI's de LabVIEW contienen tres componentes principales: el panel frontal, el diagrama de bloques, y el panel de icono/conector.

El panel frontal es la interfaz de usuario para el VI. En el panel frontal se colocan controles, indicadores, gráficos los cuales son los terminales interactivos de entrada y salida del VI.

Luego de que se construye el panel frontal, se adiciona código agregando funciones para controlar los objetos del panel frontal. El diagrama de bloques contiene este código fuente gráfico. Los objetos del panel frontal aparecen como terminales en el diagrama de bloques.

Se puede utilizar un VI como un subVI. Un subVI es un VI que se usa dentro de otro VI, similar a una función o subrutina en un lenguaje de programación basado en texto. Para usar un VI como subVI, éste debe poseer un icono y un panel conector. Cada VI

despliega un icono mostrado a la izquierda en la esquina superior derecha de las ventanas del panel frontal y el diagrama de bloques. Un icono es una representación gráfica de un VI, tiene su utilidad en la identificación del mismo dentro de un diagrama de bloques. Para usar un VI dentro de otro VI se necesita construir un panel conector. El panel conector es un conjunto de terminales que corresponden a los controles e indicadores en ese VI, similar a lista de parámetros del llamado a una función en un lenguaje de programación basado en texto.



**Ilustración 46**

*LabVIEW: Aspecto de un VI.*

*Fuente: The LabVIEW WIKI*

LabVIEW sigue un modelo de flujo de datos para ejecutar los VI's. Un nodo de diagrama de bloques se ejecuta cuando recibe todas las entradas requeridas. Los bloques se conectan a través de cables hechos por el programador, creando canales para el flujo de datos. Cuando un nodo se ejecuta, produce datos de salida y pasa los datos al siguiente nodo en la ruta del flujo de datos. El movimiento de los datos a través de los nodos determina el orden de ejecución de los VI's y funciones en el diagrama de bloques.

Visual Basic, C++, Java y la mayoría de los otros lenguajes de programación basados en texto siguen un modelo de flujo de control de ejecución del programa. En el flujo de

control, el orden secuencial de los elementos del programa determina el orden de su ejecución.

Cuando es necesario usar una ecuación complicada en LabVIEW, no se requiere cablear entre sí varias funciones en el diagrama de bloques. Se puede desarrollar ecuaciones en un ambiente matemático y familiar para integrar la ecuación dentro de una aplicación. El Nodo de Fórmula es un nodo conveniente basado en texto que puede usar para realizar operaciones matemáticas en el diagrama de bloques. No es necesario acceder código o aplicación externa y no se tiene que cablear funciones aritméticas de bajo nivel para crear aplicaciones. Además de las expresiones de ecuaciones basadas en texto, el Nodo de Formula puede aceptar versiones basadas en texto de sentencias If, While loops, For loops y ciclos Do, los cuales son familiares para programadores en C. De esta forma se puede copiar y pegar el código existente basado en texto dentro de un Nodo de Formula en lugar de recrearlo gráficamente, es decir, puede ir del lenguaje de programación en C al de LabVIEW.

Uno de los grandes beneficios de LabVIEW sobre otros ambientes de desarrollo de aplicaciones es el extenso soporte para el acceso de hardware. Existen drivers para diferentes tipos de instrumentos y dispositivos para adquisición de datos. Las tarjetas de adquisición de datos de National Instruments poseen un controlador que efectúa la comunicación entre la tarjeta y el software de aplicación. Existen dos motores controladores diferentes entre los cuales seleccionar: NI-DAQmx y NI-DAQ. Se puede usar LabVIEW para comunicarse con estos motores controladores, para lograr este propósito en LabVIEW se puede encontrar el Asistente DAQ que se comunica con el NI-DAQmx.

Hay varios buses para control de instrumentos que son compatibles con LabVIEW, se tiene el LXI, USB, GPIB, PXI. Con base en tecnologías estándares de red de computadoras, LXI (LAN eXtensions for Instruments) es útil cuando existe una gran distancia entre sus instrumentos. El USB se ha vuelto un bus popular en aplicaciones

de escritorio y portátiles<sup>3</sup> por sus capacidades *plug-and-play*<sup>3</sup> y facilidad de uso. El GPIB, un bus de comunicación confiable por 30 años, aún es una opción ampliamente popular para el control de instrumentos. El PXI se ha vuelto un estándar para aplicaciones de alto desempeño por tener el mayor rendimiento y la menor *latencia*<sup>4</sup>.

Cuando se diseñan programas para un proyecto, la ejecución es secuencial. En LabVIEW se debe tomar en cuenta que no existe una secuencia conforme al orden en que se colocan las funciones o bloques, debe existir un control en la secuencia. Hay algunos elementos que incluyen un cluster de error mediante el cual se pueden conectar diferentes bloques o subVI's entre sí y así fijar una secuencia, sin embargo existen funciones que no incluyen un cluster de error. Para este caso se sigue un método de programación secuencial que consiste en agregar la estructura Sequence al diseño para forzar el orden de las operaciones de objetos del diagrama de bloques. Una estructura Sequence es simplemente una estructura con marcos donde cada marco se ejecuta en orden; el segundo marco no puede iniciar la ejecución hasta que todo el contenido del primer marco haya completado su ejecución. Este método de programación soluciona el problema secuencial pero si el programa necesita ser modificado ya sea cambiando el orden de la secuencia, ejecutar un cuadro de la secuencia varias veces, o que se ejecute hasta que reúna ciertas condiciones resulta ser muy complejo hacerlo por este método.

El mejor método de programación para el desarrollo de aplicaciones en LabVIEW es la programación por máquina de estados. Este método permite modificar un VI de manera sencilla. El patrón de diseño de máquinas de estados es muy común y útil en LabVIEW, incluso para aplicaciones donde es suficiente el método secuencial. Se puede usar el patrón de diseño de máquina de estados para implementar cualquier algoritmo que pueda ser explícitamente descrito por un diagrama de estado o un diagrama de flujo. Una máquina de estados implementa un algoritmo moderadamente complejo de toma de decisión, tal como una rutina de diagnóstico o un monitor de proceso.

---

<sup>3</sup> *Plug-and-play. Es la tecnología que permite a un dispositivo ser conectado a un ordenador sin tener que configurar mediante software específico (no controladores) proporcionado por el fabricante. Para que sea posible, el sistema operativo con el que funciona el ordenador debe tener soporte para dicho dispositivo.*

<sup>4</sup> *Latencia. Suma de los retardos en una red o acceso a la memoria RAM de una computadora.*

Una máquina de estados, la cual se define de forma más precisa como una máquina finita de estados, consiste de un conjunto de estados y una función de transición que conduce hacia el siguiente estado. Las máquinas finitas de estado poseen muchas variaciones. Las dos máquinas finitas de estados más comunes son la máquina de Mealy y la máquina de Moore. Una máquina Mealy realiza una acción para cada transición. Una máquina de Moore realiza una acción específica para cada estado en el diagrama de transición de estados. La plantilla de patrón de diseño de máquina de estados en LabVIEW implementa cualquier algoritmo descrito por una máquina Moore.

Cada estado puede conducir a uno o varios estados o terminar el flujo del proceso. Una máquina de estados se basa en las entradas de usuario o en evaluaciones de estados para determinar cual estado es el siguiente. Muchas aplicaciones requieren de un estado de inicialización, seguido de un estado por defecto, donde se pueden realizar muchas acciones diferentes. Las acciones realizadas pueden depender de entradas o estados previos o de los actuales. Un estado de paro comúnmente realiza acciones de limpieza.

Las máquinas de estados se usan para crear interfaces de usuario. En una interfaz de usuario, diferentes acciones de usuario envían a la interfaz de usuario hacia diferentes segmentos del proceso. Cada segmento de proceso actúa como un estado en la máquina de estados. Cada segmento puede conducir a otro segmento para mayor procesamiento o a una espera para otra acción de usuario, es decir, la máquina de estados monitorea continuamente al usuario por la siguiente acción a realizar.

Los procesos de prueba son otra aplicación común del patrón de diseño de máquina de estados. Para un proceso de prueba, un estado representa cada segmento del proceso. Dependiendo de los resultados de cada prueba en los estados, un estado diferente puede ser invocado. Esto puede ocurrir continuamente resultando en un análisis profundo del proceso de prueba.

Al pasar un diagrama de flujo o de estados al diagrama de bloques de LabVIEW se requiere de los siguientes componentes de infraestructura:

- ✓ *While Loop*: Ejecuta continuamente los diferentes estados.
- ✓ *Estructura Case*: Consiste de un caso de selección para cada estado y del código a ejecutar para cada estado.
- ✓ *Registro de Desplazamiento*: Contiene la información de transición de estado.
- ✓ *Código Funcional de Estado*: Implementa la función del estado.
- ✓ *Código de Transición*: Determina el siguiente estado en la secuencia.

El flujo del diagrama de transición de estados se implementa por un *While Loop*. Los estados individuales se representan por casos de selección en la estructura *Case*. Un registro de desplazamiento en el *While Loop* mantiene registro del estado actual y lo comunica a la entrada de la estructura *Case*.

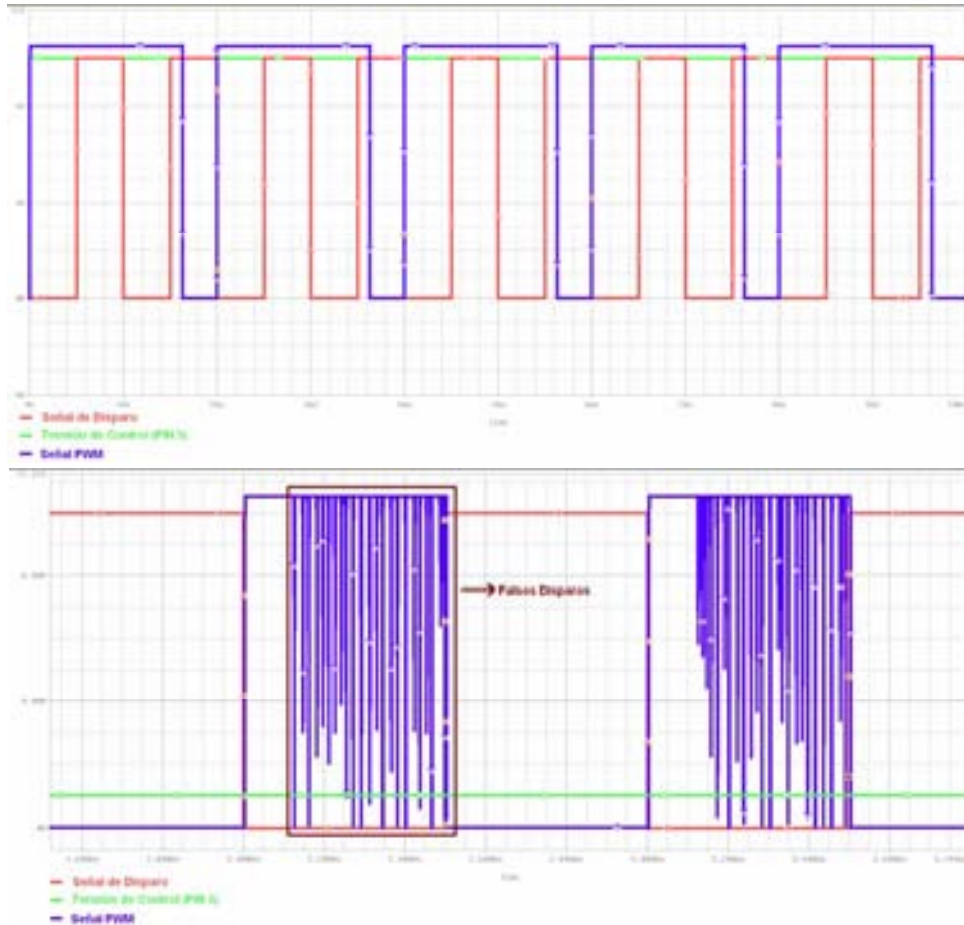
## 3.2 Diseño del Control de Iluminación.

En el primer capítulo en la sección de tipos de control de iluminación se vio que la mejor forma de variar la intensidad luminosa en SSL es por medio de PWM con una alimentación de tensión directa.

La modulación por ancho de pulso (PWM) consiste en variar la duración del pulso de una señal eléctrica, este tipo de señal se usa en comunicaciones digitales y para el control de la potencia enviada a una carga eléctrica que es nuestro caso. Hay distintas formas de obtener una señal PWM, una es por medio del circuito integrado 555 donde se puede variar la tensión en la terminal de control de voltaje (pin 5). También se puede construir la señal por medio del uso de microprocesadores. Otra forma es comparando dos señales eléctricas diferentes.

Las dos primeras formas para obtener un PWM no resultan viables para el diseño del control. Por una parte de experimentaciones hechas se observó que la modulación del ancho de pulso usando el circuito integrado 555 esta restringida por las características de disparo del circuito. Concretamente, existen perdidas de pulsos porque el disparo no ocurre, esto se traduce en variaciones repentinas en la intensidad luminosa no deseadas y molestas al usuario. Para el caso del uso de un microprocesador, el costo es elevado para la aplicación que se desea hacer cuando es posible desarrollar esta misma aplicación mediante otras opciones de menor costo. Por lo tanto la mejor opción es mediante la tercera forma descrita anteriormente, es decir, comparando dos señales eléctricas.

En la siguiente ilustración se puede apreciar la comparación de una buena señal de PWM y una mala señal por falsos disparos lo cual no permite tener control de ésta, ambas señales son generadas con el circuito integrado 555.



**Ilustración 47**

*PWM 555: Buena señal, alto nivel de tensión de control; mala señal, bajo nivel de tensión.  
Fuente: PSpice Schematics.*

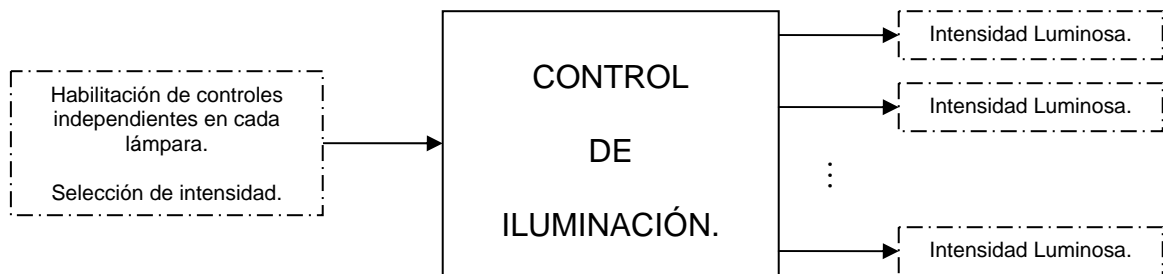
El diseño comienza identificando las señales de entrada y salida producidas por el control al cual lo denominamos como bloque, conforme se avance en el desarrollo se dividirá en más bloques hasta llegar a un conjunto de dispositivos elementales que cumplan la función del diseño. Ir de un nivel de abstracción alto, esto es, ir de la idea más simple que solucione el problema hasta los elementos necesarios integrados por los bloques que corresponde al nivel de abstracción más bajo.

Una forma de organizar el diseño es la creación de un diseño modular jerárquico como el de niveles de abstracción de un nivel alto a un bajo. Una jerarquía consiste en construir un nivel de descripción funcional de diseño debajo de otro de forma que cada



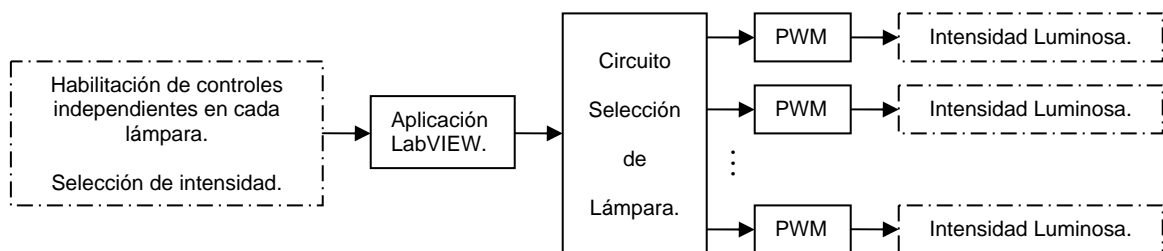
nuevo nivel posea una descripción más detallada del sistema. La construcción de diseños jerárquicos es la consecuencia inmediata de aplicar los niveles de abstracción. En la creación de diseños jerárquicos es muy útil la realización de bloques funcionales o módulos. Un bloque funcional es un símbolo que representa un grupo de elementos en alto nivel. Se puede pensar que un bloque funcional son particiones del diseño original con descripciones asociadas a las pequeñas unidades.

Primeramente se sabe que la señal de salida debe ser una señal PWM y las señales de entrada deben habilitar y manejar cada señal PWM aplicada en cada lámpara que se desee tener control.



**Ilustración 48**  
*Primer Nivel de Abstracción.*

Es conveniente dividir el control de iluminación en el desarrollo de la aplicación en LabVIEW, y en desarrollo de los circuitos electrónicos.



**Ilustración 49**  
*Segundo Nivel de Abstracción.*

En las siguientes secciones se divide el diseño de cada uno de los bloques anteriores.

### 3.2.1 Desarrollo de la interfaz usuario-computadora en LabVIEW.

El primer bloque del segundo nivel de abstracción es el desarrollo de la aplicación en LabVIEW teniendo como entradas la selección de la lámpara a controlar, y la intensidad deseada. Lo correspondiente a las salidas de este bloque es un conjunto de bits enviados al circuito de selección, por medio de un dispositivo USB de entrada/salida digital construido por National Instruments (*NI USB-6501*).

Para comenzar el desarrollo de la aplicación hay que considerar los siguientes puntos:

- ✓ La cantidad de lámparas a controlar.

En el panel frontal de la aplicación de LabVIEW, se tendrá un total de 16 interruptores que habilitan la posibilidad de variar la intensidad luminosa de la lámpara seleccionada.

- ✓ La forma en que se varía su intensidad.

Los dimmer utilizan un deslizador o perilla para variar la intensidad luminosa por lo que en el programa también se adiciona una perilla para este propósito. Sin embargo la variación en un dimmer es analógica, hay una infinidad de niveles de intensidad luminosa elegibles, mientras que el control en LabVIEW la cantidad de niveles es finita.

- ✓ Independencia del sistema de iluminación cuando no se desee controlar vía Internet.

Es posible que un usuario no desee controlar la iluminación desde Internet y hacerlo de la forma tradicional mediante interruptores físicos, cuando el control de iluminación no este en funcionamiento, el sistema de iluminación funciona de la forma tradicional sin la posibilidad de variar la intensidad.

El USB-6501 de National Instruments es un dispositivo de entrada/salida digital portátil, que brinda adquisición y control a bajo costo, tiene 24 líneas, un contador de 32 bits y una fuente de alimentación de  $5[V]$  a  $230[mA]$  máximo. Las 24 líneas están distribuidas en 3 puertos denominados P0.<0...7>, P1.<0...7>, P2.<0...7> y P2.7 es donde se tiene acceso al contador. Cada línea puede ser programa como salida o entrada para procesos de monitoreo o control. La salida es del tipo open-drain, para una operación con  $5[V]$  y un resistor pull-up de  $4.7k\Omega$ . Cuenta con protección contra sobretensiones, sobrecorriente y corto circuito.



*Ilustración 50*

*USB-6501*

*Fuente: National Instruments.*

Mediante este dispositivo es posible enviar señales digitales de  $5[V]$  por lo que la primer idea para la elaboración de la interfaz usuario-computadora es programar líneas del dispositivo como salidas, las cuales generan señales para habilitar la lámpara que se quiera manejar así como su intensidad, además se necesita habilitar el circuito de selección y de esta forma poder operar el control de iluminación. Este primer paso se traduce como una inicialización en la maquina de estados y de finalización para cuando no se quiera controlar la iluminación por éste control.

Después de inicializar, el programa pasa a la etapa de selección, en esta etapa se debe determinar cuando se ha seleccionado una lámpara por el usuario y de que lámpara se trata, hecho este paso se pasa a la siguiente etapa. A continuación, ya identificada la lámpara, el programa debe tomar el nivel de intensidad seleccionado por el usuario a través de la perilla, esta es la etapa de variación de intensidad luminosa. La siguiente

etapa es determinar si el usuario desea terminar el control de iluminación, si es así se finaliza la aplicación por medio de la etapa de finalización, si no se vuelve a la etapa de selección.

Una ventaja en el uso de LabVIEW respecto a sus dispositivos físicos es que una vez añadidos a un programa y configurados, se mantiene la configuración por lo que configurar el dispositivo al inicio de la ejecución del programa no es necesario. El bloque correspondiente a la aplicación queda definido de la siguiente manera:

✓ Entradas:

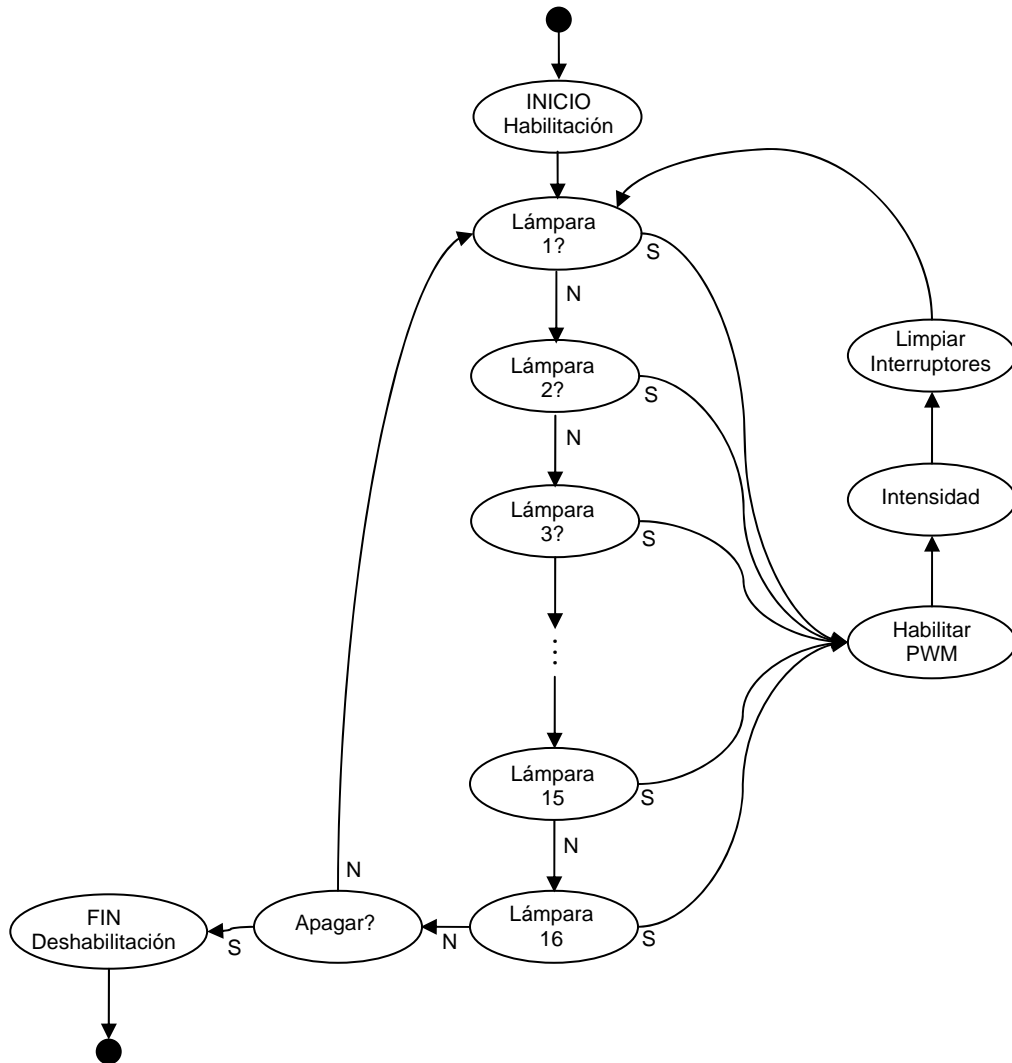
- Interruptores que representan cada lámpara.
- Perilla para selección de intensidad.
- Botón de Paro del control de iluminación.

✓ Salidas:

- Tres líneas de P0 para selección de intensidad (P0.0...2).
- Cuatro líneas de P0 para selección de lámpara (P0.3...6).
- Una línea de P0 para habilitar el circuito de selección (P0.7).
- Una línea de P1 para iluminar un LED indicando que se esta controlando la iluminación por medio de éste (P1.0).

El primer estado, es decir la inicialización consiste en habilitar el circuito de selección y la alimentación del LED. El siguiente grupo de estados correspondientes a la etapa de selección, son estados para cada una de las 16 lámparas o conjunto de lámparas que conforman la iluminación. En cada uno de estos estados el programa determina si se ha seleccionado una lámpara, de ser positiva la selección se pasa al estado de habilitación del circuito PWM de la lámpara correspondiente, luego al estado de nivel de intensidad y finalmente apagar los interruptores para pasar a la siguiente etapa, con esto se completa la etapa de variación de intensidad luminosa. Si no ha sido seleccionada alguna de las lámparas el programa pasa a la etapa de terminación, aquí el programa ve si el usuario desea terminar el control si es así pasa al estado de finalización, en

caso contrario vuelve a la etapa de selección. El siguiente diagrama de estados corresponde a la descripción anterior:



**Ilustración 51**

*Diagrama de Estados para el Control de Iluminación.*

Planteado el diagrama de estados simplemente hay que ponerlo en el panel frontal y el diagrama de bloques de LabVIEW siguiendo los pasos expuestos anteriormente en la sección 3.1.

En la siguiente ilustración se muestra la primer parte del control de iluminación, es decir, la interfaz usuario-computadora.



**Ilustración 52**

*Panel Frontal del Programa de Control de Iluminación.*

Cuando el usuario ejecuta este control primeramente debe definir que intensidad luminosa desea por medio de la perilla de control de intensidad, luego encender el interruptor de la lámpara que quiera manipular, inmediatamente el indicador situado a la derecha le dice al usuario que lámpara se manipuló y que intensidad tiene esa lámpara. Cuando se quiera terminar el control solo es necesario presionar el botón de “Detener Control” o cerrar la ventana.

### 3.2.2 Acoplamiento computadora-lámparas.

El siguiente bloque del diseño es el correspondiente al circuito de selección el cual es el acoplamiento de las señales provenientes de la computadora por medio del dispositivo USB-6501 al circuito de selección de lámpara. Este bloque tiene las siguientes entradas y salidas:

- ✓ Entradas:
  - Tres líneas de P0 para selección de intensidad.
  - Cuatro líneas de P0 para selección de lámpara.
  - Una línea de P0 para habilitar el circuito de selección.
  - Una línea de P1 para iluminación del LED indicador.
  
- ✓ Salidas:
  - Tres señales digitales para nivel de comparación en cada PWM.
  - Señal digital para habilitación de circuito PWM de cada lámpara.

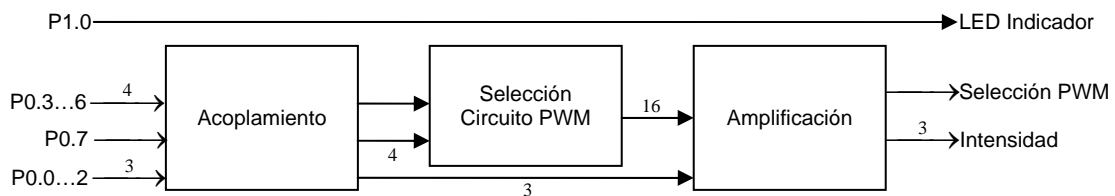
En diseños digitales un decodificador puede ser usado para seleccionar y habilitar otros circuitos, el decodificador tiene N par de entradas y  $2^N$  salidas y una entrada adicional para permitir el funcionamiento de éste, a cada combinación de bits a la entrada corresponde la habilitación de una salida. Algunos circuitos integrados incluyen además del decodificador un registro (latch) con el propósito de tener memoria y guardar una pequeña cantidad de bits. En conjunto estos dos elementos permiten mantener una determinada salida sin importar que los bits de entrada cambien lo cual resulta muy útil para el circuito de selección.

La conexión del circuito de selección con el bloque anterior, es decir, el dispositivo USB se hace por medio de optoacopladores, estos dispositivos son necesarios para protección contra sobretensiones o corto circuito ya que aísla los circuitos y elimina el problema de diferencias de tensión entre las referencias de cada circuito. Un optoacoplador generalmente consta de un LED infrarrojo que al ser encendido emite

radiaciones detectadas por el dispositivo de salida, estos dispositivos pueden variar según el propósito, por ejemplo existen optoacopladores con salida transistor, SCR, DIAC, LED, compuerta lógica, etc. Para este diseño es conveniente usar un optoacoplador salida digital o salida compuerta lógica ya que lo que se transfiere de bloque a bloque son bits.

A la salida de este bloque se debe considerar la transmisión de las señales a distancia, es decir, que tanto se atenúa la intensidad de la señal y considerar elementos que la amplifiquen.

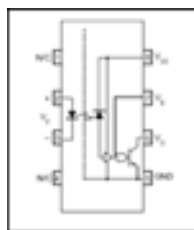
Considerando los elementos antes descritos se puede dividir en más bloques el circuito de selección como se muestra a continuación:



**Ilustración 53**

*Tercer Nivel de Abstracción para Circuito Selección de Lámpara*

Para el primer bloque del nivel de abstracción anterior se usan circuitos integrados 6N137, estos optoacopladores tiene por salida una compuerta lógica AND con un transistor que invierte la señal de salida por lo que funciona como una compuerta NAND, es decir cuando se tenga un “1” a la entrada del optoacoplador la salida será “0” caso inverso para un “0” a la entrada.



TRUTH TABLE  
(Positive Logic)

Input	Enable	Output
H	H	L
L	H	H
H	L	H
L	L	H
H	NC	L
L	NC	H

**Ilustración 54**

*Diagrama del 6N137, Tabla de Verdad del Circuito Integrado.*

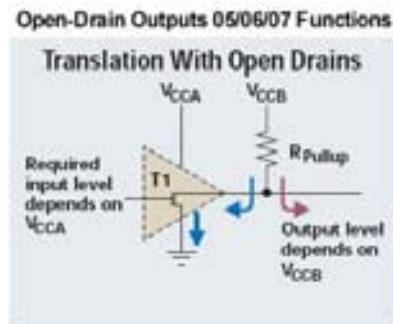
*Fuente: 6N137 Datasheet*



A cada línea de salida del dispositivo USB-6501 corresponde un optoacoplador a excepción de P1.0, por lo tanto se tienen 8 optoacopladores. Para un óptimo funcionamiento y selección de los elementos externos para cada optoacoplador, las hojas de especificaciones proporcionan la información necesaria para lograr este propósito. Los siguientes datos son los necesarios para tener el mejor funcionamiento de los optoacopladores:

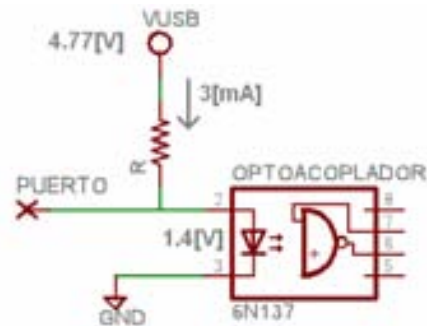
- ✓ Tensión de Entrada  $V_{USB} = 4.77[V]$
- ✓ Corriente de Entrada máxima por línea  $I_{USB} = 8.5[mA]$
- ✓ Tensión de Encendido del LED  $V_F = 1.4[V]$
- ✓ Umbral de Corriente de Encendido  $I_{FT} = 3[mA]$
- ✓ Tensión máxima a la salida para "0"  $V_{EL} = 0.8[V]$
- ✓ Tensión mínima a la salida para "1"  $V_{EH} = 2[V]$
- ✓ Corriente máxima a la salida  $I_O = 50[mA]$

Las salidas del dispositivo USB-6501 son por medio de un transistor del tipo FET (open-drain), este tipo de salida debe ser polarizada para que el transistor funcione como un interruptor. El siguiente diagrama muestra este tipo de salida, a la salida se aprecia que es necesario conectar una resistencia ( $R_{Pull-Up}$ ) a una fuente de alimentación, este tipo de salida permite variar la tensión y corriente de salida según el usuario lo necesite y lo permita T1.



*Ilustración 55*  
*Salida Open-Drain*  
*Fuente: Internet*

Considerando lo antes dicho, se tiene el siguiente diagrama de conexión entre el dispositivo USB y optoacoplador para una línea de salida.



*Ilustración 56*  
*Conexión USB-Optoacoplador*

El valor de la corriente que circula en la rama debe ser mayor a 3[mA] para asegurar el encendido del LED. La ecuación de la rama es:

$$4.77 - 0.003R - 1.4 = 0 \qquad R = \frac{4.77 - 1.4}{0.003} = 1.123[k\Omega]$$

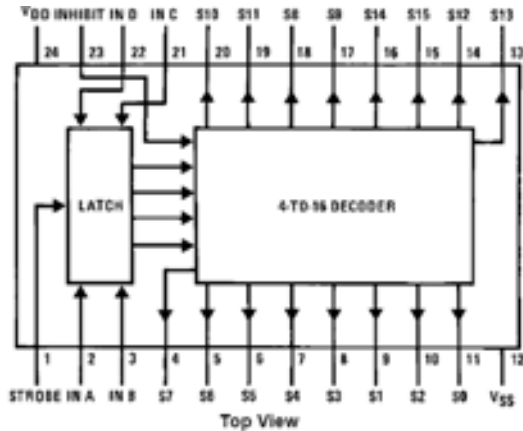
Para tener una corriente mayor un valor de  $R = 1[k\Omega]$  es suficiente para encender el LED.

En cuanto a las salidas de los optoacopladores son del mismo tipo del USB pero con transistores TBJ, es decir, salida open-collector, su conexión es igual que la open-drain, es decir, un resistor pull-up conectado a una alimentación. Las salidas de los tres primeros optoacopladores pasan directamente al bloque de amplificación, las cuatro siguientes junto con la salida del optoacoplador correspondiente a P0.7 son entradas para el bloque de selección.

Como anteriormente se mencionó se usa un decodificador con latch para hacer la selección, específicamente se usa el circuito integrado *CD4514*. Este es un decodificador 4 a 16 líneas con latch a la entrada, diseñado para aplicaciones de baja potencia y alta inmunidad al ruido, la salida seleccionada del CD4514 presenta “1”. Las

entradas van a un latch que consta de flip-flops R-S, los cuales mantienen los últimos valores de entrada al variar la tensión de la terminal STROBE de un nivel alto a bajo, es decir, de “1” a “0”. También se incluye una terminal que permite habilitar el funcionamiento del circuito integrado denominada INHIBIT.

Truth Table



Decode Truth Table (Strobe = 1)

Inhibit	Data Inputs				Selected Output CD4514 = Logic "1" CD4515 = Logic "0"
	D	C	B	A	
0	0	0	0	0	S0
0	0	0	0	1	S1
0	0	0	1	0	S2
0	0	0	1	1	S3
0	0	1	0	0	S4
0	0	1	0	1	S5
0	0	1	1	0	S6
0	0	1	1	1	S7
0	1	0	0	0	S8
0	1	0	0	1	S9
0	1	0	1	0	S10
0	1	0	1	1	S11
0	1	1	0	0	S12
0	1	1	0	1	S13
0	1	1	1	0	S14
0	1	1	1	1	S15
1	X	X	X	X	All Outputs = 0, CD4514 All Outputs = 1, CD4515

X = Don't Care

**Ilustración 57**

Diagrama del CD4514 y su Tabla de Verdad

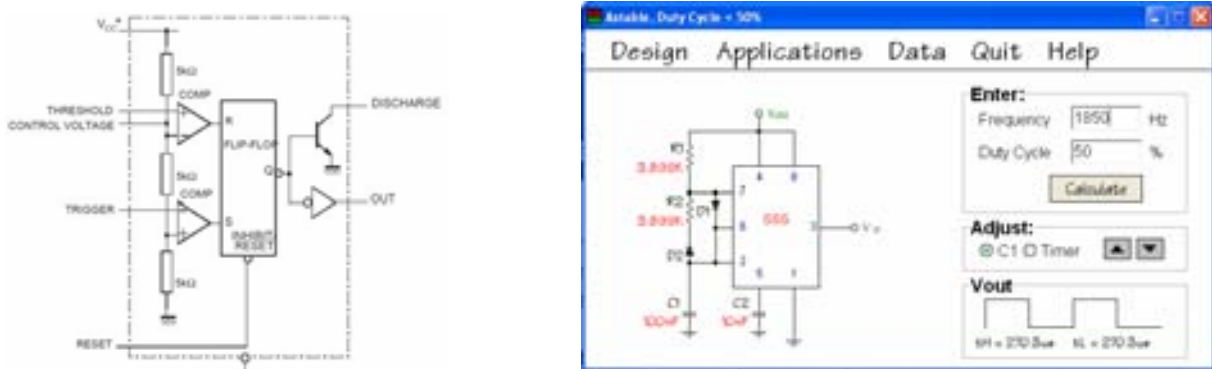
Fuente: CD4514 CD4515 Datasheet

Cada una de las salidas del decodificador corresponde a la señal de habilitación para un circuito PWM distinto, de esta manera es posible controlar hasta 16 diferentes lámparas.

Este circuito no necesita la conexión de elementos externos a excepción de la terminal STROBE para su funcionamiento, simplemente se necesita polarizarlo con la tensión de 5[V] y conectar las 4 señales provenientes de los optoacopladores en las entradas del CD4514 más la señal correspondiente a P0.7 a INHIBIT usando el resistor pull-up. No es necesario hacer un cálculo de esta resistencia por que este circuito integrado no necesita un nivel de corriente determinado, simplemente tener un nivel de 5[V], el valor de resistencia de pull-up comúnmente usado es 1[kΩ]. En cuanto a la transición necesaria en la terminal STROBE se usa el circuito integrado 555 (NE555) en su

modalidad astable, la cual permite tener una señal cuadrada continua precisamente para formar los niveles alto y bajo (“0” y “1”). La frecuencia de la señal se establece considerando valores comerciales de resistencia y capacitores necesarios para la construcción de esta modalidad.

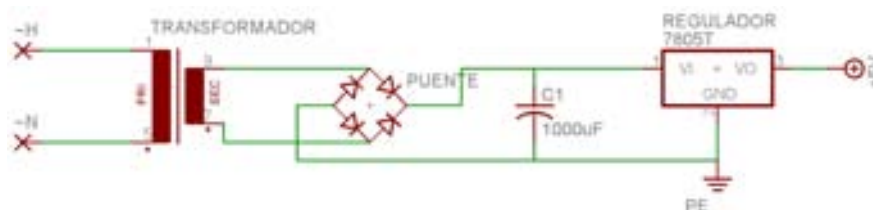
Mediante un programa de cálculo para el circuito integrado 555 se tiene que con resistencias de  $3.9[k\Omega]$  y capacitores de  $10[nF]$  y  $100[nF]$ , se obtiene un una señal cuadrada con  $f = 1850[Hz]$ .



**Ilustración 58**

*Diagrama del 555 y Programa para cálculo para el 555  
Fuente: NE555 Datasheet, Schematica Software*

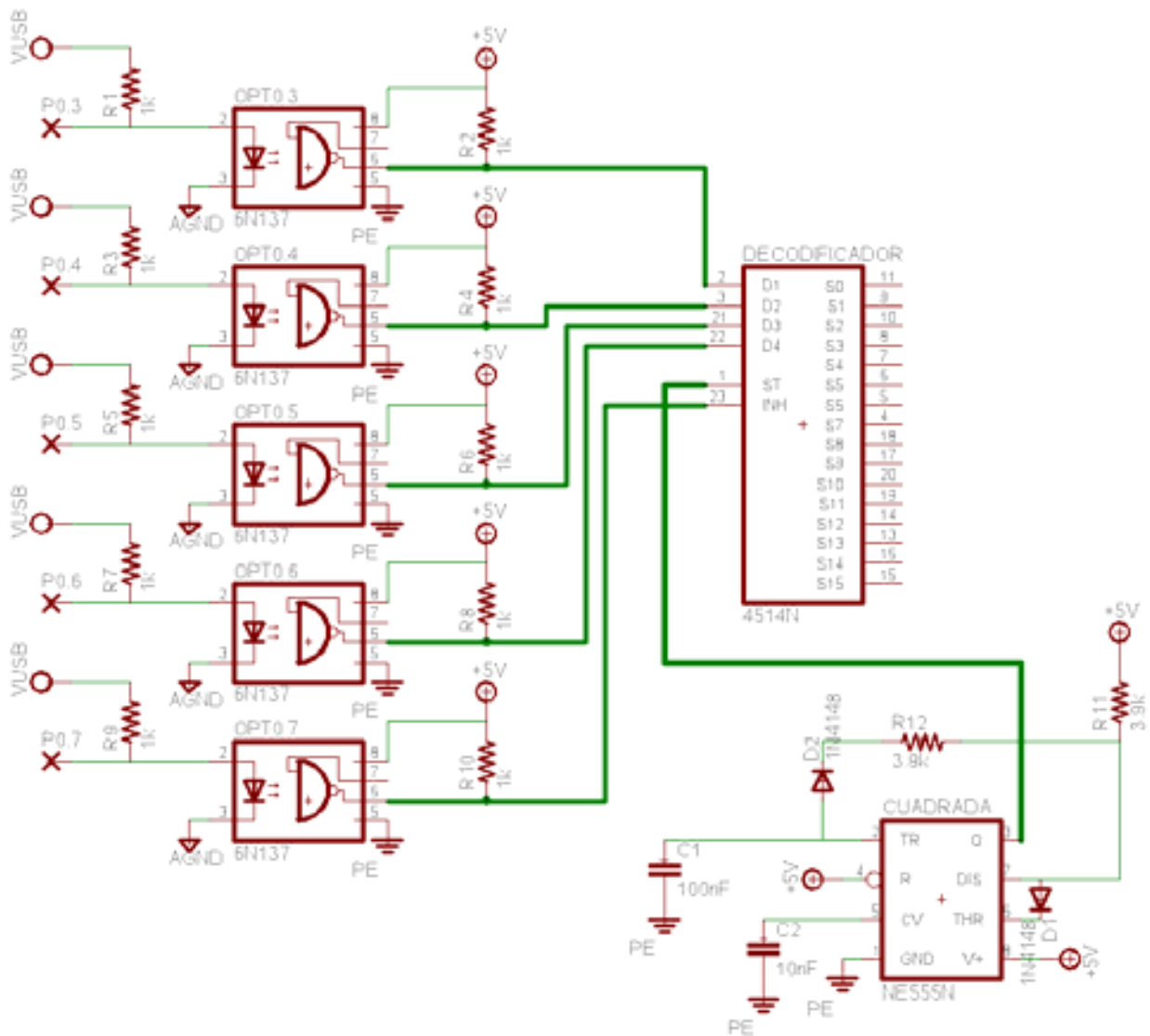
Estos circuitos deben ser polarizados o alimentados con una tensión directa de  $5[V]$ . Esto se logra construyendo una fuente de alimentación que consta primeramente de un transformador para reducir la magnitud de la tensión alterna suministrada en los hogares, luego se conecta un puente rectificador, que es un conjunto de 4 diodos rectificadores conectados de tal forma que conviertan la señal de AC en una de DC, a continuación se conecta un capacitor para obtener un nivel de DC con pequeñas variaciones que dependen del valor del capacitor y por último para obtener una señal estable de  $5 V$  y protecciones se conecta un regulador de voltaje de  $5[V]$  (7805T).



**Ilustración 59**

*Fuente de Alimentación de 5V*

Con los elementos antes considerados se tiene el siguiente diagrama que define el circuito selección de PWM.



*Ilustración 60*  
Diagrama del circuito selección de PWM

En el diagrama anterior las salidas del decodificador marcadas como S0 a S16 corresponden a las habilitaciones de los circuitos PWM de cada lámpara, de las hojas de especificaciones del CD4514 y con la alimentación de  $5[V]$ , el circuito proporciona hasta  $0.88[mA]$ . De experimentaciones se determinó que esta magnitud no es suficiente para transmitir las señales por lo que se añade la etapa de amplificación. Una corriente

de  $20[mA]$  es suficiente para la buena transmisión de la señal, por otra parte se usa cable categoría 5 para la transmisión. Este cable consta de 4 pares trenzados de cables 24 AWG que permiten tener una alta relación señal a ruido, se usa ampliamente en telecomunicaciones para conexiones Ethernet y transmisión de servicios de voz. Estas señales son digitales en la mayoría de los casos, al igual que las señales transmitidas por el circuito de selección de lámpara.

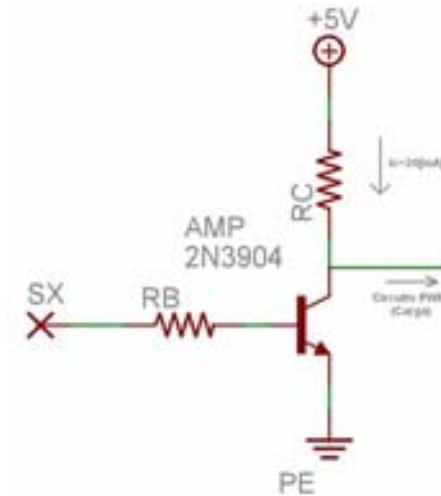
Hay diferentes formas de amplificar señales, ya sea amplificando la tensión de la señal, o la corriente o ambas. En nuestro caso se amplifica la corriente por que el dispositivo de entrada en el PWM es también un optoacoplador, es decir, la tensión ya está establecida con el valor de  $5[V]$ , y para compensar la atenuación se incrementa la corriente que enciende el LED contenido en el optoacoplador.

La amplificación de corriente se hace por medio de un transistor TBJ funcionando como interruptor. Este modo de funcionamiento del transistor es usando la configuración emisor común la cual proporciona una ganancia de corriente definida por el parámetro  $\beta$  del transistor además de invertir la señal, básicamente al existir una corriente de base, el transistor trabaja en la zona de saturación (no hay corriente de colector), cuando no existe corriente de base, el transistor se encuentra en corte permitiendo que haya un flujo de corriente hacia la carga conectada en el colector del transistor, esta corriente esta definida por la resistencia de colector. El transistor para construir la etapa de amplificación es el *2N3904* y a continuación se presenta el circuito y el cálculo de las resistencias para obtener aproximadamente  $20[mA]$ .

Los datos necesarios obtenidos de las hojas de especificaciones del transistor son:

- ✓ Corriente de Colector máxima continua  $I_C = 200[mA]$
- ✓ Tensión colector-emisor máxima  $V_{(BR)CE} = 40[V]$
- ✓ Tensión base-emisor máxima  $V_{BE(sat)} = 0.85[V]$
- ✓ Tensión colector-emisor de saturación  $V_{CE(sat)} = 0.2[V]$

- ✓ Ganancia del transistor  $\beta$  para  $I_C \cong 20[mA]$   $h_{FE} = 150$
- ✓  $V_{CC} = V_{BB} = 5[V]$ ,  $V_{BB}$  es  $S_X = 5[V]$  durante el encendido del transistor.



**Ilustración 61**  
Diagrama del circuito de amplificación.

Del diagrama y los datos conocidos se puede obtener primeramente el valor de la resistencia de colector:

$$5 - 0.02R_C - 0.2 = 0 \quad R_C = \frac{5 - 0.2}{0.02} = 240[\Omega]$$

Aproximando el valor de resistencia anterior se obtiene que la corriente de colector es:

$$R_C = 220[\Omega] \Rightarrow I_C = 21.82[mA]$$

Con este valor se puede determinar el valor de la corriente de base el cual es:

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{0.02182}{150} = 145.45[\mu A]$$

Conocido este valor se puede determinar el valor de la resistencia de base:

$$5 - 145.45 \times 10^{-6} R_B - 0.85 = 0 \quad R_B = \frac{5 - 0.85}{145.45 \times 10^{-6}} = 28.53[k\Omega]$$

Se toma el valor comercial más cercano por lo que  $R_B = 27[k\Omega]$ .

Cada salida del decodificador tiene conectado este circuito de amplificación, al igual que las 3 salidas de los optoacopladores para la variación de la intensidad y con esto se tiene construido el bloque de amplificación.

### 3.2.3 Generación de la señal PWM.

Se planteó que la generación de la señal PWM sería por medio de la comparación de dos señales donde se tenga una variación del ancho del pulso estable y con amplio rango de variación. Una comparación de una señal diente de sierra o triangular con un nivel de tensión directa cumple con estos dos puntos.

De la ilustración correspondiente al segundo nivel de abstracción de la sección 3.2, se tiene que las entradas y salidas del bloque PWM son:

- ✓ Entradas:
  - Tres señales digitales para nivel de comparación en cada PWM.
  - Señal digital para habilitación de circuito PWM de cada lámpara.
  
- ✓ Salidas:
  - Intensidad luminosa de la lámpara correspondiente al circuito PWM.

Lo que respecta a las entradas, las tres señales digitales tienen la misma aplicación del circuito de selección del bloque anterior, aquí la selección corresponde a los niveles de tensión directa para la comparación de señales por lo que también se utiliza un decodificador con latch.

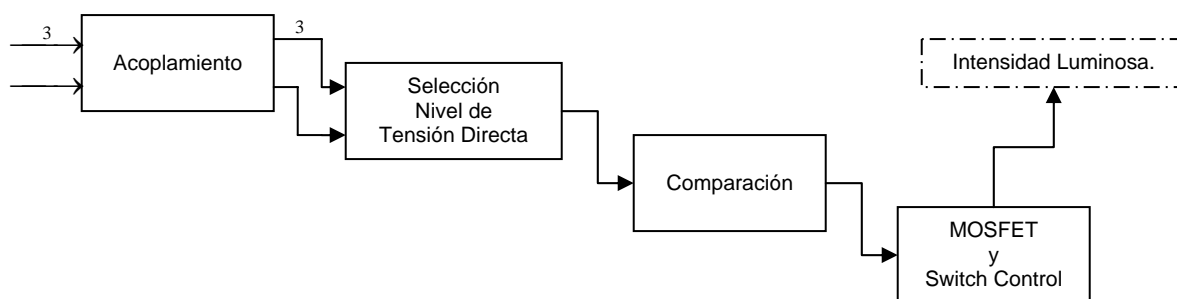
A diferencia del número de señales de entrada que eran 4 en el circuito de selección aquí son 3 por lo que el número de salidas es  $2^3 = 8$ . Existen decodificadores de diferente número de entradas sin embargo no todos incluyen un latch como es el caso



de un decodificador de 3 entradas, por esta razón se usa el mismo circuito integrado CD4514 en este circuito.

Gracias a que el decodificador incluye un latch, las 3 señales digitales son consideradas solo si hay transición de nivel de tensión en el latch (terminal STROBE). Recordemos que esta transición se hace por medio del circuito integrado 555 que incluye una terminal de RESET, al ser activado el RESET, la señal cuadrada se convierte en un nivel de tensión constante y de esta forma el latch no toma en cuenta los valores de entrada manteniendo los anteriores a la última transición de nivel alto a bajo. Es aquí donde tiene su aplicación la señal digital de habilitación de circuito PWM, permite que las 3 señales digitales sean tomadas en cuenta por el decodificador.

La siguiente ilustración muestra el tercer nivel de abstracción para el circuito PWM.

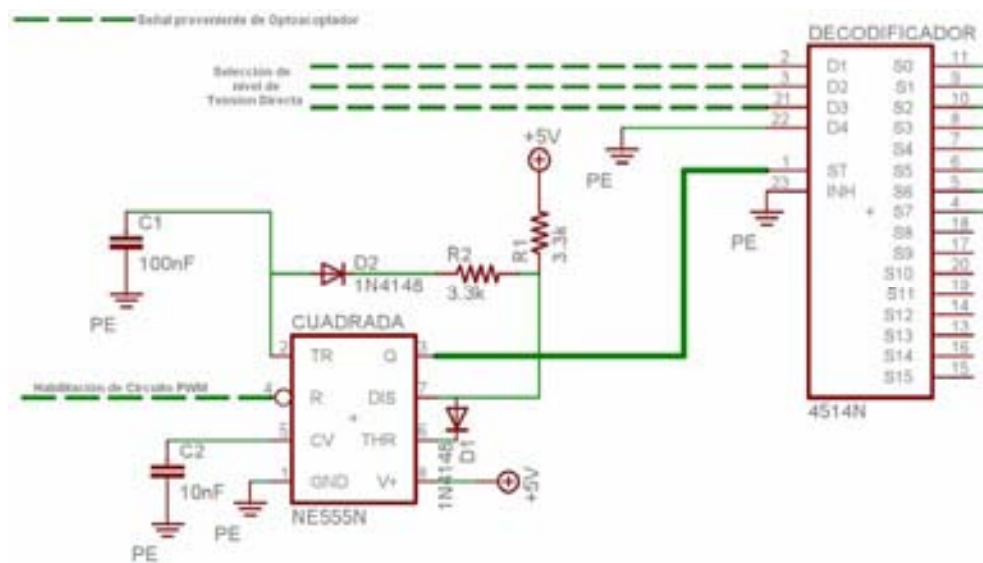


**Ilustración 62**

*Tercer Nivel de Abstracción para circuito PWM*

De la ilustración anterior el bloque de acoplamiento cumple la misma función antes descrita para otros bloques y se hace con los mismos elementos. Es necesario este bloque ya que la distancia recorrida por las señales a través del cable categoría 5 implica una diferencia de tensión entre las referencias de los circuitos, además de proporcionar protección eléctrica por el aislamiento del optoacoplador. Este bloque consta de 4 optoacopladores 6N137 conectados de la misma forma mostrada en la sección anterior.

El bloque de selección de intensidad incluye dos funciones, una es la selección de un nivel de tensión directa por medio del decodificador, y la otra es la aplicación del respectivo nivel de tensión directa seleccionado al bloque de comparación. La primer función consiste en tomar los 3 valores digitales cuando el circuito integrado 555 esta generando la señal cuadrada. Las 8 salidas pasan a dos circuitos integrados *TLP521-4*, cada uno de estos tiene 4 optoacopladores salida transistor y la función que cumple cada optoacoplador es la de un interruptor. Las siguientes ilustraciones muestran la conexión de estos elementos y el nivel de tensión directa que corresponde a cada salida de los *TLP521-4*.



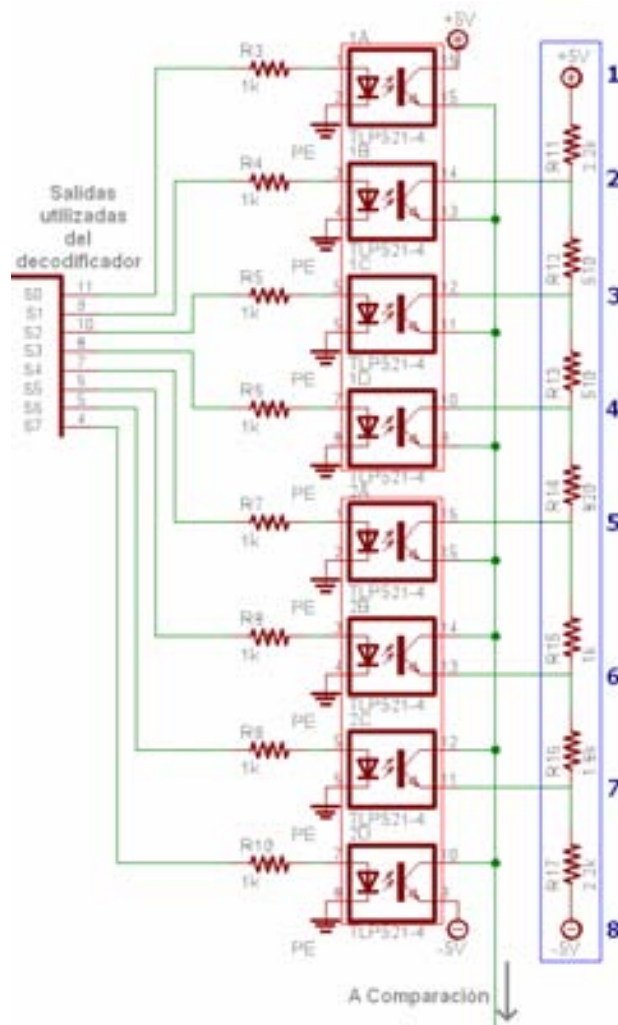
**Ilustración 63**

*Etapa de selección de nivel de tensión directa y habilitación de lectura de bits al decodificador*

En la ilustración anterior se muestra la conexión del circuito integrado 555, nótese que la terminal 4 (RESET) proviene del optoacoplador que tiene la señal de habilitación del circuito PWM. Este circuito genera una señal cuadrada de  $f = 2.2[kHz]$  con los elementos externos mostrados.

El decodificador se controla por medio de la terminal 1 (STROBE) por lo que la terminal INHIBIT no se usa y es conectada a la referencia del circuito. Ya que solo se necesitan

3 entradas del decodificador la cuarta terminal de entrada se conecta también a la referencia del circuito y así tener 8 salidas denotadas como “S”.



*Ilustración 64*

*Optoacopladores salida transistor y divisor de tensión para niveles de tensión directa*

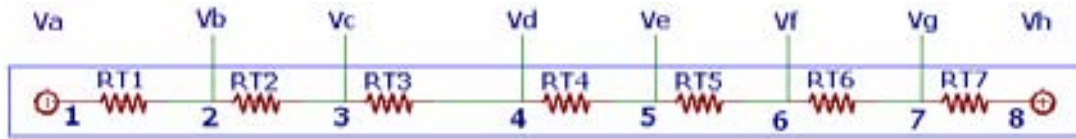
La ilustración muestra la conexión de las salidas del decodificador a los optoacopladores salida transistor. La función de estos optoacopladores es permitir aplicar la tensión directa seleccionada al circuito comparador. Cada cuadro rojo representa un TLP521-4 y los siguientes datos se tomaron en cuenta para usar estos optoacopladores.

- ✓ Tensión de encendido del LED  $V_F = 1.3[V]$ .
- ✓ Corriente máxima en el LED  $I_F = 50[mA]$ .
- ✓ Tensión colector-emisor máxima  $BV_{CEO} = 55[V]$ .
- ✓ Tensión emisor-colector máxima  $BV_{ECO} = 6[V]$ .
- ✓ Tensión de saturación  $V_{CE(sat)} = 0.12[V]$ .
- ✓ Corriente de colector máxima  $I_{CO} = 50[mA]$ .

Las hojas de especificaciones de este optoacoplador no ofrecen condiciones recomendadas de operación como en el caso del 6N137, no ofrece el dato de corriente de LED para asegurar su encendido, sin embargo de las gráficas en las hojas de especificaciones y pruebas se tiene que  $0.7[mA]$  es suficiente para encender el LED.

La resistencia de  $1[k\Omega]$  a la entrada de los optoacopladores permite que se asegure el encendido de los LED's y no se atenúe la tensión del decodificador. Lo que respecta a la salida los transistores hacen la función de un circuito abierto cuando no está encendido el respectivo LED y de circuito cerrado cuando el LED esta encendido. La conexión de los niveles de tensión se hace acorde a la referencia, es decir, para tensiones positivas la salida de los optoacopladores tiene por terminal común el colector y para tensiones negativas el terminal común es el emisor las cuales se unen para ser la línea que va al circuito comparador.

Los niveles de tensión se eligieron a partir de pruebas de intensidades luminosas en una lámpara MR16 de LED's de baja potencia teniendo como objetivo intervalos constantes de variación. La alimentación de este circuito es simétrica a  $5[V]$  sin embargo para alcanzar el objetivo antes mencionado se midió las tensiones de alimentación y a partir de estos se establecieron los niveles de tensión numerados del 1 al 8 en el cuadro azul.



*Ilustración 65*  
Niveles de Tensión Directa

$$\begin{array}{cccc}
 V_a = -4.55[V] & V_b = -2.3[V] & V_c = -0.43[V] & V_d = 0.6[V] \\
 V_e = 1.5[V] & V_f = 2[V] & V_g = 2.54[V] & V_h = 4.94[V]
 \end{array}$$

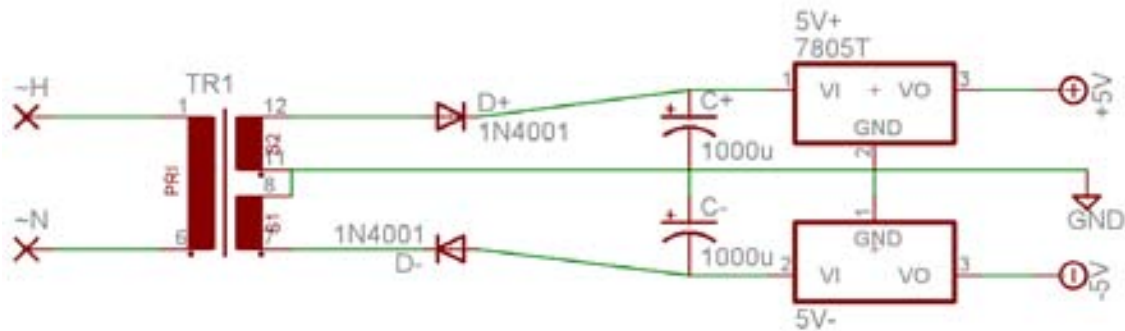
Para determinar los valores de las resistencias se plantea que circule una corriente de  $1[mA]$ .

$$\begin{array}{ll}
 R_{T1} = \frac{-2.3 + 4.55}{0.001} = 2.25[k\Omega] & R_{T2} = \frac{-0.43 + 2.3}{0.001} = 1.87[k\Omega] \\
 R_{T3} = \frac{0.6 + 0.43}{0.001} = 1.03[k\Omega] & R_{T4} = \frac{1.5 - 0.6}{0.001} = 900[\Omega] \\
 R_{T5} = \frac{2 - 1.5}{0.001} = 500[\Omega] & R_{T6} = \frac{2.54 - 2}{0.001} = 540[\Omega] \\
 R_{T7} = \frac{4.94 - 2.54}{0.001} = 2.4[k\Omega] &
 \end{array}$$

Estos valores obtenidos se aproximan a las resistencias comerciales más cercanas por lo que:  $R_{T1} = 2.2[k\Omega]$ ,  $R_{T2} = 1.8[k\Omega]$ ,  $R_{T3} = 1[k\Omega]$ ,  $R_{T4} = 820[\Omega]$ ,  $R_{T5} = 510[\Omega]$ ,  $R_{T6} = 510[\Omega]$ ,  $R_{T7} = 2.2[k\Omega]$ .

La salida de este bloque que es la línea de comparación corresponde a una de las señales de comparación. Esta comparación se hace con una señal triangular y los 8 posibles niveles de tensión directa. La construcción de la señal triangular se hace por medio de amplificadores electrónicos, se genera una señal cuadrada que pasa a un circuito integrador para dar como resultado la señal triangular. El circuito integrado TL082 incluye dos amplificadores electrónicos en un solo chip por lo que se utiliza para

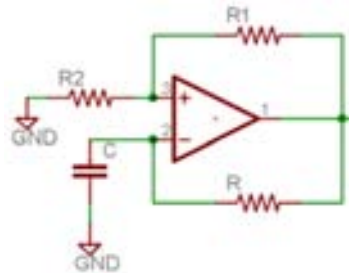
la generación de la señal triangular. Para un buen funcionamiento y generación de señal se polariza este circuito integrado con una fuente simétrica a 5 volts.



**Ilustración 66**  
Fuente de Alimentación simétrica 5 [V]

La siguiente configuración tiene a la salida del amplificador operacional la señal cuadrada, mediante la siguiente ecuación se puede establecer el periodo de la señal y por lo tanto su frecuencia.

$$T = 2RC \ln\left(2 \frac{R_2}{R_1} + 1\right)$$



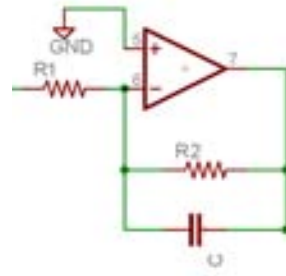
Planteando una frecuencia de  $1.5[kHz]$  ( $666.66[\mu s]$ ), el capacitor a  $100[nF]$  y las resistencias 1 y 2 iguales a  $1[k\Omega]$ , se tiene que R es igual a:

$$R = \frac{T}{2C \ln\left(2 \frac{R_2}{R_1} + 1\right)} \quad R = \frac{666.66 \times 10^{-6}}{2(100 \times 10^{-9}) \ln\left(2 \frac{1000}{1000} + 1\right)} = 3.03[k\Omega]$$

Se establece que  $R = 3.3[k\Omega]$  ya que es el valor comercial más cercano.

Luego de generar esta señal cuadrada sigue integrarla para obtener la señal triangular, debido a que un circuito integrador es un filtro pasobajas, es necesario añadir una resistencia de realimentación para amplificar la amplitud de la señal ya que es de alta frecuencia ( $1.5[kHz]$ ).

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C} \quad H_0 = \frac{R_2}{R_1}$$

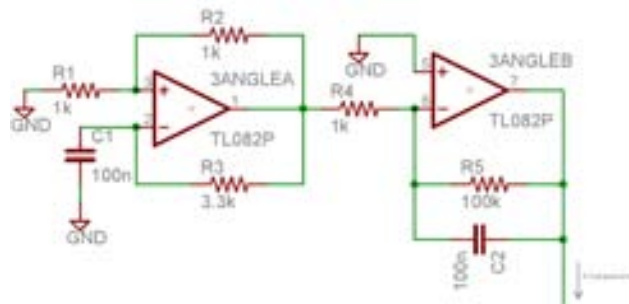


Para este circuito se establece una frecuencia de corte de  $f_c = 15[Hz]$  (dos décadas antes de  $1.5[kHz]$ ), el valor del capacitor de  $100[nF]$  y la ganancia  $H_0 = 100$ . Con estos datos se obtiene:

$$R_2 = \frac{1}{2\pi f_c C} \quad R_2 = \frac{1}{2\pi(15)(100 \times 10^{-9})} = 106.1[k\Omega] \quad R_2 = 100[k\Omega]$$

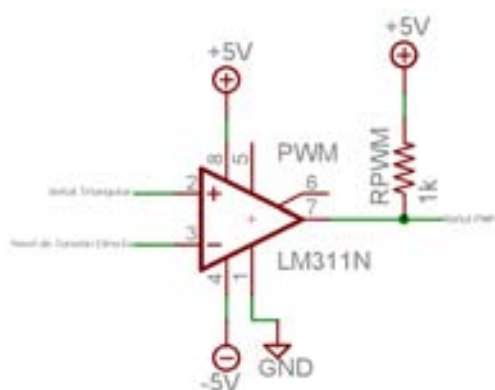
$$R_1 = \frac{R_2}{H_0} \quad R_1 = \frac{106100}{100} = 1.06[k\Omega] \quad R_1 = 1[k\Omega]$$

Con los pasos antes descritos se obtiene la señal triangular con frecuencia de  $1.5[kHz]$  y amplitud cercana a los niveles de alimentación. La siguiente ilustración muestra los elementos para formar esta señal.



**Ilustración 67**  
Circuito generador señal triangular.

Esta señal triangular junto con los niveles de tensión directa se comparan mediante el circuito integrado *LM311*, un comparador entrega dos niveles de saturación dependiendo de las señales que se comparen y las terminales en que estén conectadas. En este caso la señal triangular se introduce por la terminal positiva y la tensión directa por el terminal negativo. Cuando la señal triangular sea mayor en amplitud que el nivel de tensión, la salida del comparador será el nivel de saturación positivo, y será el nivel de saturación negativo cuando la señal triangular sea menor en amplitud que el nivel de tensión. La salida del comparador es del tipo open-collector por lo que es necesario conectar una resistencia a la salida de éste con la alimentación positiva. Desde la generación de la señal triangular hasta el resultado de la comparación conforman el bloque de comparación.



*Ilustración 68*  
*Circuito Comparador*

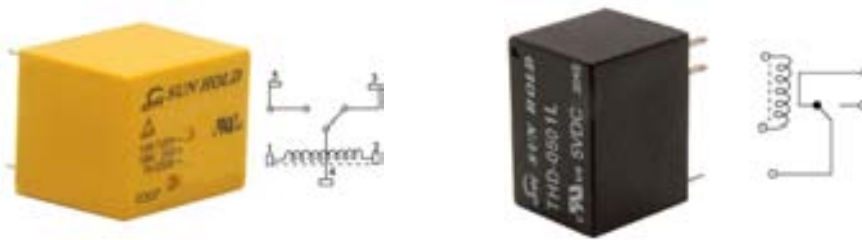
Por último, el bloque de MOSFET y switch control consiste en aplicar la señal PWM para controlar el dispositivo semiconductor (MOSFET), se hace por medio de un optoacoplador ya que la referencia de este circuito es diferente del circuito de iluminación. Para este propósito se utiliza la misma familia de circuitos integrados TLP521, pero el chip que solo tiene un optoacoplador.

La conexión de este optoacoplador es la misma que la usada para la salida del decodificador y los niveles de tensión directa, en cuanto a la salida del optoacoplador se tienen dos posibles conexiones por medio de un relevador. El relevador tiene la función



de seleccionar la conexión para aplicar una tensión de encendido al MOSFET dependiendo si el control se encuentra activo.

Un relevador es un switch electrónico, cuando se aplica una tensión al electroimán de éste, atrae una laminilla que hace contacto con uno de dos polos del relevador y así cerrar el circuito que contenga éste polo. Hay relevadores con diferentes configuraciones. La usada para esta aplicación es un relevador de 1 polo y 2 tiros de 5[V] como los que se muestran a continuación.

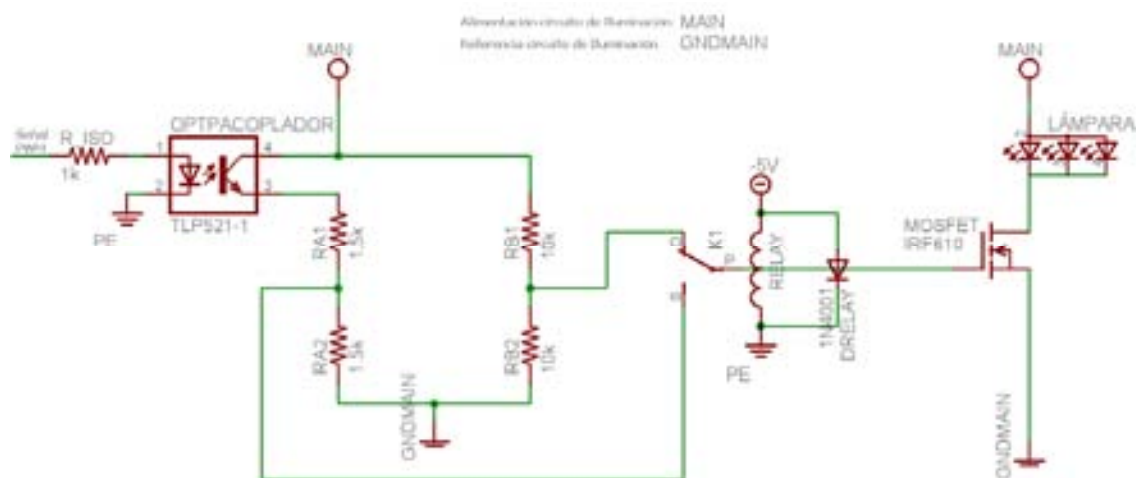


**Ilustración 69**  
 Relevadores de 1 polo 2 tiros.  
 Fuente: Steren

Utilizar un relevador permite usar pequeñas tensiones para cerrar circuitos con tensiones que no se pueden manejar con dispositivos electrónicos, para este caso el relevador *THD-0501L* necesita una tensión de 5[V] para manipular el electroimán que puede incluirse en circuitos de  $120[V_{AC}]/2[A]$  o  $24[V_{DC}]/3[A]$ . El electroimán es un inductor con núcleo ferromagnético, los inductores tienen la capacidad de retener energía que no puede ser recibida por el circuito que alimenta al inductor, para este caso se conecta un diodo rectificador en paralelo al inductor para que cuando se corte la alimentación al inductor, la corriente solo circule por el diodo y el inductor.

En la siguiente ilustración se observa el optoacoplador y la conexión a la salida de éste, por una parte se tiene conectado al optoacoplador un divisor de tensión conformado por las resistencias “A”, y por otra parte otro divisor de tensión formado por las resistencias “B”. La salida de estos divisores de tensión se conecta a los polos del relevador y el terminal común del relevador se conecta a la terminal “G” del MOSFET. Este circuito

permite que la lámpara funcione aunque el control de iluminación se encuentre apagado, aunque no es posible variar la intensidad.



**Ilustración 70**  
*Circuito MOSFET y switch control*

La alimentación del relevador proviene de la alimentación del circuito PWM, de tal manera que cuando el circuito está en operación el relevador conecta la terminal G del MOSFET con el divisor de tensión conectado al optoacoplador (resistencias “A”), si termina el control de iluminación significa que se ha cortado la alimentación de éste circuito por lo que el relevador conecta la terminal G con el divisor de tensión independiente del control (resistencias “B”).

Como se aprecia en la ilustración, el MOSFET usado es el *IRF610*, este dispositivo permite una circulación de corriente de hasta  $3.3[A]$  por lo que se puede conectar una lámpara o un conjunto de lámparas con una corriente inferior a la antes mencionada. A partir de las hojas de especificaciones, la mínima tensión para el funcionamiento de este dispositivo es  $V_{GS(TH)} = 2[V]$ , entre mayor sea esta tensión, mayor es la capacidad de corriente que circula por el MOSFET por lo que con los divisores de tensión se obtiene una tensión de entre 6 y 8 volts.

La frecuencia de oscilación de la señal PWM es de aproximadamente  $1.5[kHz]$ , esto significa que las lámparas de LED's están prendiendo y apagando 1500 veces por

segundo, imperceptible al ser humano. Lo que es posible percibir es la duración del encendido o apagado por medio de la intensidad luminosa.

### 3.2.4 Acceso al control a través de Internet.

Mediante LabVIEW es posible publicar en Internet el panel frontal de un VI por medio de la herramienta Web Publishing Tool. Esta herramienta crea un documento HTML con imágenes estáticas o animadas del VI según el usuario lo desee y así poder monitorear o manipular de manera remota el panel frontal de dicho VI.

Una vez creado el VI en la memoria de la computadora, en la barra de menús del panel frontal se selecciona Tools > Web Publishing Tool...

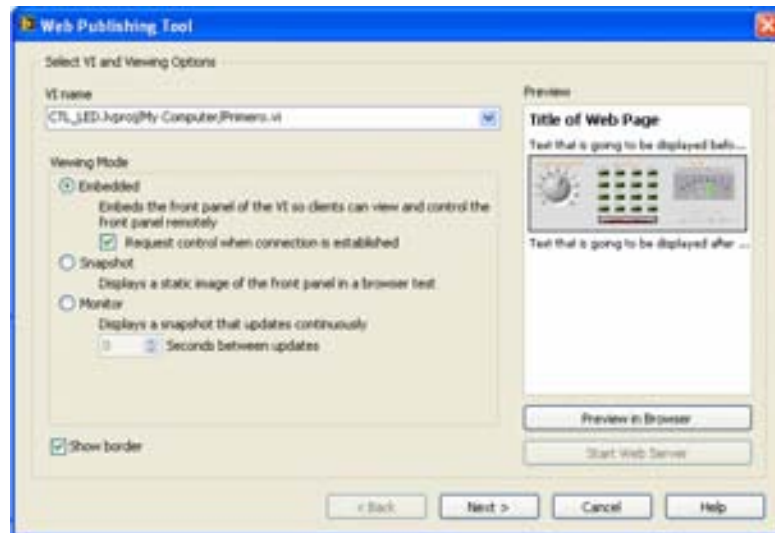


*Ilustración 71*

*Control vía remota: Menú de publicación Web*

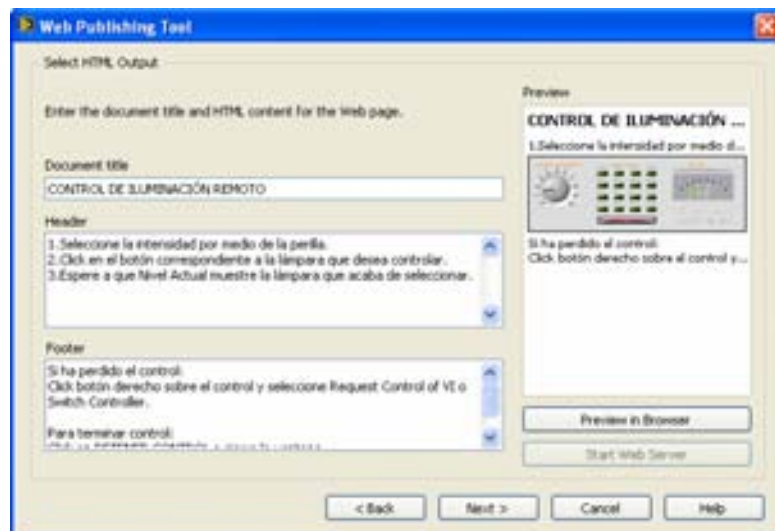
Al abrir este sub-menú aparece la siguiente ventana donde se pide dar la ubicación del VI a publicar con las siguientes opciones. La opción embebida permite que el VI sea visto y controlado por clientes remotos. Snapshot simplemente muestra una imagen estática del panel frontal del VI, y Monitor muestra una imagen animada del panel frontal que se actualiza cada determinado tiempo definido por el administrador. Estas dos últimas opciones solo pueden monitorear el panel frontal. Aparte se presenta una

ventana de muestra previa del panel frontal a publicar. Ya que se desea controlar remotamente se elige la opción embebida y controlar al inicializar remotamente.



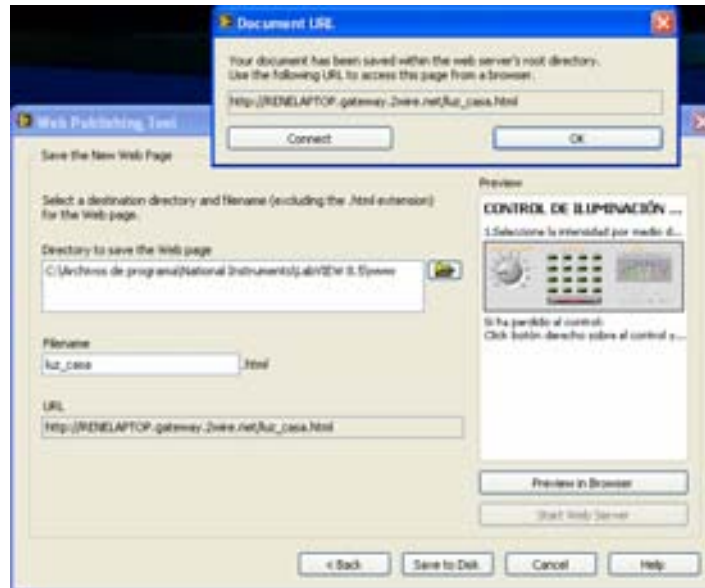
**Ilustración 72**  
*Control vía Internet: Selección de tipo de publicación.*

El siguiente paso es darle título, y referencias al documento HTML, para esta aplicación se nombrará la página Web como “Control de Iluminación Remoto”, se darán de forma sencilla los pasos para controlar y al final se indica como recuperar el control desde otros clientes y la terminación del control.



**Ilustración 73**  
*Control vía Internet: título e indicaciones*

El último paso es seleccionar el nombre que se le da a este panel frontal en la página Web, guardar en disco las modificaciones hechas, luego conectarse a la página creada, revisar si la página se presenta como se desea y finalmente presionar el botón de OK.



*Ilustración 74*  
Control vía Internet: Nombre de la página Web

La siguiente ilustración muestra la página de Internet creada para el control.



*Ilustración 75*  
Control vía Internet: Página Web del control

El acceso a este control puede ser restringido dando las direcciones de las computadoras que pueden tener acceso.

La página solo es vigente cuando esta ejecutándose el control desde la computadora donde esta guardado y desde luego donde esta conectado el dispositivo USB-6501.

Para poder visualizar de forma remota el panel frontal desde cualquier dispositivo, es necesario descargar gratuitamente el software LabVIEW Run-Time Engine (mínimo). Este software esta disponible en el sitio oficial de National Instruments ([ni.com](http://ni.com)).

# Capítulo 4

## IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL DE ILUMINACIÓN.

### 4.1 Implementación.

Para efectuar la implementación se tiene el conjunto de diseños descritos anteriormente, una fuente de alimentación de tensión directa para alimentar los LED's para iluminación, y propiamente lámparas de LED's.

Lo que respecta a la fuente de alimentación y la alimentación de  $12[V]$  de las lámparas de LED's se plantea que la fuente de alimentación sea de tensión directa con una magnitud de  $12.7[V]$ . Esto se logra con un circuito conformado con un transformador de  $9[V]$  capaz de proporcionar  $5[A]$  lo que permite alimentar varias lámparas de LED's sin tener caída de tensión significativa, un puente rectificador de mayor capacidad de corriente que el transformador (*BR108*), y un capacitor de  $1000[\mu F]$ .



*Ilustración 76*  
*Fuente de Alimentación para Iluminación*

Actualmente la existencia y variedad de lámparas de LED's para tensiones de  $12[V]$  es muy poca, la mayoría de lámparas con LED's de alta potencia trabajan con tensión de  $127[V]$ , y no se les puede variar la intensidad luminosa (dimrear), sin embargo sí existen lámparas con LED's de baja potencia que se les puede variar la intensidad

luminosa, por lo que para implementar el control de iluminación se usa este tipo de lámparas con las siguientes características:

- ✓ Base de conexión de 2 pines (MR16) con 15 LED's
- ✓ Ángulo de radiación:  $38^{\circ}$
- ✓ Alimentación:  $12[V_{DC,AC}]$
- ✓ Potencia Eléctrica:  $1.5[W]$
- ✓ País de Origen: China



*Ilustración 77*  
*Lámpara de LED's utilizada*

Físicamente los bloques mencionados en el capítulo anterior se integran de la siguiente manera con elementos adicionales. Primeramente, el dispositivo USB- 6501 incluye los elementos necesarios para la conexión a la computadora así como los puertos de salida que aceptan alambres calibre 16 a 28 AWG, ya que estas terminales son removibles es posible tener una fácil conexión de éste dispositivo al circuito selección de lámpara.



*Ilustración 78*  
*Dispositivo USB-6501 sin su terminal derecha*



El circuito de selección de lámpara se integra junto con un interruptor que permite la alimentación del circuito selección de lámpara y de cada uno de los circuitos PWM, de este manera es posible cortar la alimentación de los elementos de control cuando no se estén usando, también se incluye un LED indicador (rojo) de encendido del controlador además del ya mencionado LED indicador (verde) que muestra que se controla la iluminación por medio de éste.

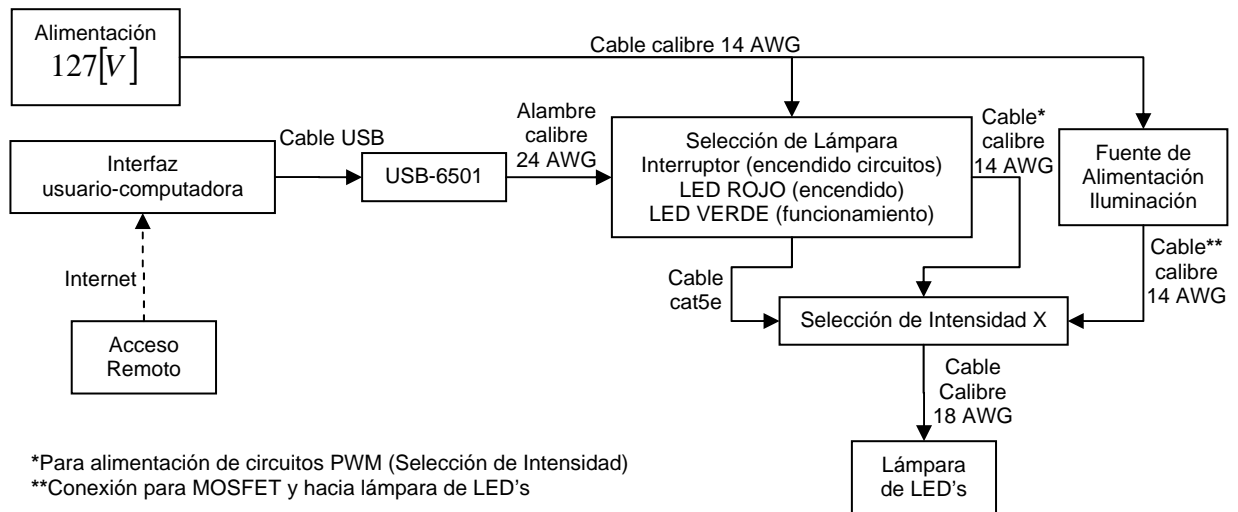


*Ilustración 79*  
*Gabinete circuito selección de lámpara y su interior*

Cada uno de los circuitos PWM recibe las señales digitales por medio de cable categoría 5e, la alimentación de estos circuitos es por medio de cable calibre 14 AWG, la salida de este circuito es mediante un banco de 4 terminales de 8 tornillos (2 tornillos para cada terminal) con el propósito de conectar la alimentación para las lámparas de LED's que se deseen conectar al respectivo circuito PWM y las dos restantes para las mencionadas lámparas.



*Ilustración 80*  
*Gabinete circuito PWM y su interior*



**Ilustración 81**  
*Diagrama de Conexiones*

## 4.2 Resultados Obtenidos.

Para probar el funcionamiento del control de iluminación, se consideran los siguientes puntos:

1. Acceso al control desde Internet en un dispositivo ajeno al que contiene el programa.
2. Conexión simultanea de hasta 3 lámparas para observar el comportamiento de la intensidad luminosa en éstas.
3. Conexión de varias lámparas en un solo circuito PWM.
4. Situar a largas distancias los circuitos PWM.

El punto número uno se alcanza manipulando el control desde otra computadora con acceso a Internet y que tenga instalado el LabVIEW Run-Time Engine (mínimo), la computadora que tiene en memoria el control de iluminación debe habilitar la página de Internet en la Web mediante la opción Start Web Server de la herramienta Web Publishing Tool, hecho esto se puede manejar el controlador remotamente siguiendo las instrucciones dadas en la página del controlador.

Debe estar encendido el LED rojo del circuito selección de lámpara para poder operar el control, caso contrario significa que los elementos para el control de iluminación están apagados y la iluminación se controla mediante interruptores (forma tradicional).

El segundo punto se hace conectando 3 circuitos de selección de intensidad con una lámpara de LED's en cada circuito, se varía la intensidad luminosa de las tres lámparas remotamente y aleatoriamente. Este punto tiene el propósito de observar el comportamiento de la intensidad luminosa en las 3 lámparas ante los cambios que el usuario desea.

El tercer punto se alcanza conectando a un solo circuito de selección de intensidad hasta 3 lámparas de LED's y observar el nivel de iluminación en las lámparas ante cambios de intensidad.

El cuarto punto tiene por objetivo ver el alcance de transmisión de las señales digitales desde el circuito de selección de lámpara a cada uno de los circuitos de selección de intensidad.

De estas pruebas se observó que el principal objetivo del controlador se cumple ya que se tiene control en la intensidad de las lámparas de LED's remotamente, cualquier cliente con acceso al control vía Internet puede controlar la iluminación de los elementos conectados.

La conexión de tres diferentes lámparas se hizo en las terminales 1, 2 y 14 del control de selección, colocados a diferentes distancias teniendo como mínimo 2.5 metros y

máximo de 10.5 metros, el nivel de iluminación seleccionado por el usuario de las tres posibles lámparas es estable, en algunos casos al variar la intensidad de cierta lámpara las demás también lo hacían. Por último, el comportamiento es igualmente estable y el mismo nivel de iluminación seleccionado para el caso de varias lámparas conectadas a un solo circuito de selección de intensidad.

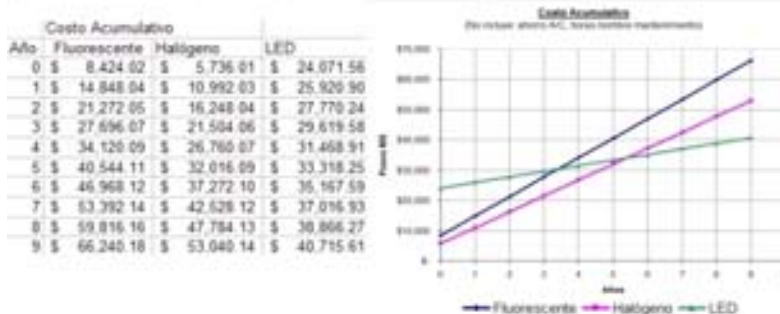
### **4.3 Costo del uso de LED's y el controlador.**

Un sistema de iluminación a base de LED's es diferente de la forma tradicional, ya que la cantidad de puntos de luz es mayor usando LED's que en una iluminación tradicional. Una instalación a base de LED's usando el control de iluminación y la alimentación implica hacer el montaje de circuitos para la alimentación de los LED's, colocación y distribución de los cables de transmisión, luminarias para lámparas de LED's que corresponden a MR16 hasta este momento y circuitos de alimentación de los elementos de control.

El costo total para un sistema de iluminación se puede dividir en dos partes. Una es el costo de instalación que abarca el costo de equipos y materiales (componentes del control de iluminación, elementos de conexión, cables, software) para operar el sistema y el costo de montaje (colocación del equipo y mano de obra). La otra parte es el costo de explotación que incluye el costo de lámparas, costo del mantenimiento y el costo de energía.

El costo de instalación al igual que el costo de lámparas de LED's es elevado, pero la ventaja de un sistema de iluminación por medio de este control radica en el poco mantenimiento que requiere, la larga vida útil del sistema de iluminación y del control de iluminación. A continuación se muestra una tabla y gráfico del costo de tres diferentes instalaciones de iluminación.

Fluorescente		Halógeno		LED	
Precio compra	\$ 100.00	Precio compra	\$ 40.00	Precio compra	\$ 800.00
Horas de vida	3 000	Horas de vida	2 000	Horas de vida	100 000
Watts	50	Watts	100	Watts	9
Luminosidad	30 lumen/watt	Luminosidad	25 lumen/watt	Luminosidad	120
Lumens por luz	1500	Lumens por luz	2500	Lumens por luz	1080
Lumens deseados	30 000	Lumens deseados	30 000	Lumens deseados	30 000
Luces necesarias	20 0 instalación	Luces necesarias	12 0 instalación	Luces necesarias	27 8
Inversión inicial	\$ 2 000.00	Inversión inicial	\$ 480.00	Inversión inicial	\$ 22 222.22
Precio Energía	\$ 0.80 kW-hr	Precio Energía	\$ 0.80 kW-hr	Precio Energía	\$ 0.80
Horas por día	12	Horas por día	12	Horas por día	12
Días por semana	7	Días por semana	7	Días por semana	7
Precio Energía por día	\$ 0.48	Precio Energía por día	\$ 0.96	Precio Energía por día	\$ 0.09
Precio Energía por año	\$ 175.20 por luz	Precio Energía por año	\$ 350.40 por luz	Precio Energía por año	\$ 31.54
Semanas de vida	35.7	Semanas de vida	23.8	Semanas de vida	1190.5
Años de vida	0.7	Años de vida	0.5	Años de vida	22.8
Mantenimiento anual	\$ 131.32	Mantenimiento anual	\$ 61.68	Mantenimiento anual	\$ 0
Refacciones anual	\$ 146.00 por luz	Refacciones anual	\$ 87.60 por luz	Refacciones anual	\$ 35.04
Costo anual	\$ 6 424.02 instalación	Costo anual	\$ 5 256.01 instalación	Costo anual	\$ 1 849.34



**Tabla 7**  
Costo de Iluminación de 3 diferentes tipos de lámparas  
Fuente: leds.com.mx

## **CONCLUSIONES.**

La utilización de diodos emisores de luz (LED's) para iluminación presenta muchas ventajas aun cuando es una tecnología reciente y en desarrollo para éste propósito, teniendo como principal ventaja el ahorro de energía con una iluminación alta y de buena calidad. En México, esta tecnología aun no tiene la difusión, variedad y avances tecnológicos que en otros países como Estados Unidos, China, España, por mencionar algunos.

La tendencia actual de utilización de LED's es para señalizaciones, anuncios, letreros, lámparas de mano, aplicaciones en entretenimiento, decoración por su fácil utilización, variedad de colores, durabilidad, encendido instantáneo.

Es común encontrar mayor variedad de lámparas de LED's sin posibilidad de variar el nivel de iluminación para tensiones de  $127/220[V]$  debido a que son sustitutos directos de fuentes de iluminación tradicionales.

La perdida de luz en luminarias y armazón de LED's es mínima ya que la radiación de luz se enfoca en iluminar el espacio al que se dirige dicha lámpara.

Debido al tamaño de los LED's es posible tener una mejor distribución de la iluminación y manejar los espacios en que se usen los LED's.

Conforme la tecnología LED avanza, habrá una gran variedad de LED's para iluminación y se reducirán los costos por la demanda de éstos y no solo para iluminación serán usados los LED's sino en otras aplicaciones en las que los LED's ya son usados.

Además del ahorro de energía usando LED's, también se tiene un ahorro de energía adicional usando un control de iluminación ya que éste permite variar la intensidad luminosa.

En cuanto al funcionamiento del control de iluminación, se logra el objetivo de controlar la iluminación remotamente, lo ideal es que se tenga acceso al control mediante un dispositivo portátil con acceso a Internet y que sea compatible con el software (teléfono celular, PDA) y así mantener un control permanente mediante este diseño. El manejo del sistema de iluminación además de ser por medio del control es también manual mediante interruptores sin embargo implica que si se desea tener control remotamente, es necesario cerrar los interruptores de todas las lámparas conectadas al control.

Este control de iluminación permite operar cualquier tipo de lámparas de LED's que tenga la posibilidad de variar su intensidad luminosa ya que los parámetros de tensión, corriente y potencia no dependen del control de iluminación sino del MOSFET (IRF610), si se desea tener una mayor capacidad de manejo de lámparas en un solo circuito de selección de intensidad basta con reemplazar el MOSFET por uno acorde a los requerimientos de los LED's que se quieren conectar.

La instalación de este sistema de iluminación y el control implica hacer un circuito adicional y exclusivo para la alimentación de los LED's, cambiar y distribuir los puntos de luz para aprovechar eficientemente las ventajas de iluminación de los LED's. Crear espacios cercanos a las luminarias para colocar los circuitos de selección de intensidad lo que equivale a un balastro si hacemos la analogía con lámparas fluorescentes.

Utilizar LED's y el control de iluminación tiene un costo inicial elevado pero desde el primer momento de operación se empieza a recuperar el gasto hecho a través de la reducción del costo de energía consumida, lo que resulta en ahorro económico para los usuarios así como disminución del consumo de recursos para la generación de energía eléctrica.





















## **BIBLIOGRAFÍA.**

- 📖 *Electricidad y Magnetismo*, Gabriel A. Jaramillo Morales y Alfonso A. Alvarado Castellanos, México, ed. Trillas, Primera Edición, 1997.
- 📖 *Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*, Robert L. Boylestad y Louis Nashelsky, México, ed. Pearson Educación, Octava Edición, 2003.
- 📖 *Manual de Curso LabVIEW Básico I*, National Instruments, Edición Febrero 2006.
- 📖 *Diseño Digital*, M Morris Mano, México, ed. Pearson Educación, Tercera Edición, 2003.
- 📖 *Iluminación y Color*, Mariano Aguilar Rico y Vicente Blanca Giménez, España ed. Universidad Politécnica de Valencia, 1995.
- 📖 *Técnicas y Aplicaciones de la Iluminación*, Luis C. Fernández Salazar y Jaime De Landa Amezua, Madrid, ed. Mc Graw-Hill, Primera edición, 1993.
- 📖 *Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits*, Sergio Franco, Nueva York, ed. Mc Graw-Hill Tercera Edición, 2002.
- 📖 *Principles of Illumination*, H. Cotton, Londres, ed. Chapman & Hall LTD, Primera Edición, 1960.
- 📖 *Advanced Lighting Controls: energy savings, productivity, technology and applications*, Craig DiLouie, Estados Unidos, ed. The Fairmont Press Inc, 2006.
- 📖 *Lamp and Lighting*, M. A. Cayless y A. M. Marsden, Gran Bretaña, ed. Edward Arnold, Tercera Edición, 1983.

### Páginas Electrónicas.

- 📄 <http://www.microluz.es/Lamparas-LED-para-Techos-p-1-c-35.html>
- 📄 <http://www.gizmology.net/LEDs.htm>
- 📄 <http://www.leds4all.org/>
- 📄 <http://www.alldatasheet.com/>
- 📄 <http://www.netl.doe.gov/ssl/usingLeds/index.htm>
- 📄 <http://www.doubulb.com/led-history.html>
- 📄 <http://electronics.howstuffworks.com/question558.htm>
- 📄 [http://www.elcomercio.com/noticiaEC.asp?id\\_noticia=148286&id\\_seccion=12](http://www.elcomercio.com/noticiaEC.asp?id_noticia=148286&id_seccion=12)



-  <http://www.okidata.com/rola/html/nf/LEDvsLaser.html><http://www.okidata.com/rola/html/nf/LEDvsLaser.html>
-  <http://science.howstuffworks.com/laser1.htm>
-  <http://electronics.howstuffworks.com/cd5.htm>
-  <http://www.todopic.com.ar/led.html>
-  <http://www.explicame.org/content/view/48/1/1/3/>
-  <http://www.um.es/docencia/barzana/FIS/LED-potabilizacion.html>
-  <http://www.unc.edu/~rowlett/units/dictL.html>
-  [http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro\\_electromagn%C3%A9tico](http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagn%C3%A9tico)
-  <http://www.lunaraccents.com/nav-custom-LED-lighting-applications.html>
-  [http://www.micro-int.com/led\\_lighting\\_applications.htm](http://www.micro-int.com/led_lighting_applications.htm)
-  <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3344#toc0>
-  <http://www.grupoecos.com.mx/lighting/definiciones.html>
-  <http://www.epanorama.net/documents/lights/lightdimmer.html#history>
-  [http://www.quantran.ae/index\\_main.htm](http://www.quantran.ae/index_main.htm)
-  <http://www.unicsis.com/>
-  <http://ledlight-cn.com/>
-  <http://www.gelighting.com/es/resources/glossary.htm>
-  <http://edison.upc.es/curs/llum/lamparas/ldesc2.html#lvmap>
-  [http://www.siste.com.ar/vision\\_del\\_ojo.htm](http://www.siste.com.ar/vision_del_ojo.htm)
-  [http://www.osram.com.mx/Definiciones\\_luminotecnica.htm](http://www.osram.com.mx/Definiciones_luminotecnica.htm)