



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

**“ESTUDIO DE UNA INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN CON
LEDs ENFOCADO A LA SEGURIDAD DE LA MISMA”**

TRABAJO DE TITULACIÓN BAJO LA MODALIDAD DE

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
(AREA: ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA)

PRESENTA:

LUIS FELIPE PALOMEQUE CHACÓN

ASESOR

M. EN C. JORGE VÁZQUEZ CERVANTES



FES Aragón

San Juan de Aragón, Estado de México a 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por permitirme alcanzar mis metas.

Agradezco a mis padres, Alfredo Palomeque Ramírez y Magdalena Chacón Palacios, por el apoyo que me han proporcionado durante las diversas etapas de mi vida.

Agradezco a mis hermanos, David Alfredo Palomeque Chacón y Ana Laura Palomeque Chacón; pese a nuestras diferencias, nos apoyamos mutuamente.

Agradezco a Rahab Asaid Laynes Meza por el apoyo que me ha brindado y su paciencia.

Agradezco a Jannet Meza Cervantes y familia Laynes meza por el apoyo que me brindaron

Agradezco al maestro Jorge Vázquez Cervantes, mi asesor de tesis, por el apoyo que me brindó para el desarrollo de la tesis.

Y un agradecimiento a mis sinodales, los ingenieros, Víctor Hernández Vázquez, Esteban Arellano Rivera, Julio Cesar Martínez Cruz, Leonardo Zavaleta Pozo; quienes con sus conocimientos aportados, permitieron que esta tesis fuera de calidad.

ÍNDICE

Nomenclatura	i
Introducción	1
Capitulo I. Información Básica	3
1.1 Instalaciones eléctricas para iluminación	4
1.1.1 Instalaciones de corriente Alterna (CA)	5
1.1.2 Instalaciones de corriente directa (CD)	5
1.2 Elementos de iluminación	6
1.3 Regulador de voltaje	12
1.4 Sobrecalentamiento y seguridad	16
Capitulo II. Análisis para la iluminación	24
2.1 Iluminación recomendada	25
2.2 Factores que afectan la iluminación	29
2.3 Calculo de la iluminación	31
2.3.1 Dimensión del espacio a iluminar y la altura útil	34
2.3.2 Obtención del coeficiente de utilización	35
2.3.3 Obtención del factor de mantenimiento	48
2.3.4 Distribución de los dispositivos de iluminación	51
Capitulo III. Iluminación LED	56
3.1 Selección del LED	57
3.2 Influencia de la temperatura en el flujo luminoso del LED seleccionado	61
3.3 Cálculo de número de LEDs a utilizar	67
3.3.1 Dimensión de las habitaciones y confort visual	68
3.3.2 Calculo del Coeficiente de utilización	70
3.3.3 Calculo del factor de mantenimiento	72
3.3.4 Iluminación de las habitaciones	78
3.3.5 Iluminación de zonas exteriores	81
Capitulo IV. Selección de los elementos de la instalación eléctrica	93
4.1 Regulación de la energía	94
4.1.1 Selección del regulador de voltaje	95
4.1.1.1 Numero de LEDs soportados por el regulador.	100
4.1.1.2 Eficiencia del Regulador	101
4.1.2 Conexión eléctrica del regulador	104

4.1.2.1 Regulación de la salida de voltaje del regulador	105
4.1.2.2 Regulaciones de la corriente del LED	106
4.1.2.3 Diagrama de circuito impreso	108
4.2 Banco de almacenamiento	110
4.2.1 Potencia total consumida por el regulador	110
4.2.2 Selección del banco de almacenamiento y tiempo de vida de la batería	111
4.2.3 Limite de energía utilizable	114
4.2.4 Energía consumida por el cargador	115
4.3 Selección del cableado de la iluminación	116
4.4 Selección de los elementos de protección de sobre corriente	123
Capitulo V Evaluación de la seguridad	126
5.1 Temperatura de operación	127
5.1.1 Riesgo de incendio al utilizar los dispositivos de iluminación.	127
5.1.2 Temperatura alcanzada por el conductor	130
5.1.3 Temperatura interna del regulador.	133
5.1.4 Análisis de la integridad de los LEDs por causa del voltaje de Dropout	135
5.2 Resistencia a los impactos de los dispositivos de iluminación.	140
5.3 Sustentabilidad y medio ambiente	140
5.3.1 Sustentabilidad energética de la instalación de iluminación	141
5.3.2 Contaminantes arrojados al medio ambiente.	143
5.4 Seguridad eléctrica	145
Conclusión	147
Glosario	150
Anexos A	152
Anexos B	158
Anexos C	170
Anexos D	188
Anexos E	196

NOMENCLATURA

<i>A</i>	Área del tubo	m^2
<i>A</i>	Área	m^2
<i>a</i>	Ancho del local	m
<i>a</i>	Área del conductor	m^2
<i>a'</i>	Separación de la luminaria a la pared a lo ancho	m
<i>b'</i>	Separación de la luminaria a la pared a lo largo	m
<i>C</i>	Parámetro de relación para la reflectancia del cuarto y de las cavidades.	
<i>c</i>	Número de circuitos derivados	
<i>F.M</i>	Factor de mantenimiento	
<i>C.U</i>	Coeficiente de utilización	
<i>d</i>	Distancia de un punto a otro	m
<i>d</i>	Distancia que existe del foco luminoso a un punto	m
<i>D_G</i>	Componente directa	
<i>E</i>	Illuminancia	lux
<i>F</i>	Punto de luz	
<i>F</i>	Factor de relleno	%
<i>f</i>	Factor de forma	
<i>FfLum</i>	Factor de flujo luminoso de la luminarias	
<i>h</i>	Altura	m
<i>hcc</i>	Altura de la cavidad del techo	m
<i>hfc</i>	Altura de la cavidad del piso	m
<i>hrc</i>	Altura de la cavidad del cuarto	m
<i>I</i>	Corriente	A
<i>I</i>	Intensidad luminosa	Cd
<i>I_Z</i>	Intensidad luminosa para los ángulos de la constante zonal	Cd
<i>K</i>	Factor de área	
<i>K_{GN}</i>	Multiplicador zonal	
<i>K_Z</i>	Constante zonal	
<i>L</i>	Longitud del conductor	m
<i>L</i>	Luminancia	$\frac{Cd}{m^2}$
<i>l</i>	Largo del local	m
<i>LDD</i>	Luminaries Dirt Depreciation	%
<i>LLD</i>	Lamp Lumen Depreciation	%
<i>LLF</i>	Light Loss Factor	%

M	Número de reguladores en la habitación	
m	Número de focos	
N	Número de luminarias o de dispositivos de iluminación	
<i>n</i>	Número de LEDs soportados por el regulador	
N_{LL}	Número de lámparas por luminaria	
P	Punto cualquiera	
<i>P</i>	Potencia	W
<i>R</i>	Resistencia	Ω
R	Resistencia reguladora de corriente	Ω
r	Resistencia del conductor	Ω/Km
R_{θ}	Resistencia térmica	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
<i>RCR</i>	Índice de Cavidad del Cuarto	
<i>RSDD</i>	Room Surface Dirt Depreciation	
S	Separación de los centros de las luminarias	m
<i>T</i>	Temperatura	$^{\circ}\text{C}$
<i>t</i>	Tiempo	seg.
<i>V</i>	Voltaje	V
V_B	Porcentaje de caída de voltaje de la batería por descarga normal	%
V_C	Porcentaje de caída de voltaje del conductor	%
<i>x</i>	Variable de la formula de interpolación	
<i>x</i>	Variable correspondiente el largo del local	
<i>y</i>	Variable de la formula de interpolación	
<i>y</i>	Variable correspondiente al ancho del local	
α	Ángulo entre el foco luminoso y un punto	$^{\circ}$
β	Ángulo de inclinación del LED con respecto a la vertical	$^{\circ}$
η	Eficiencia	
η	Eficacia luminosa	lm/W
θ	Ángulo entre el foco luminoso y un punto ubicado a una distancia de n LEDs	$^{\circ}$
θ	Temperatura del conductor	$^{\circ}\text{C}$
ρ	Reflectancia efectiva	
ρ	Reflectancia	
ϕ	Flujo luminoso	lm

Sub. Índice

<i>A</i>	Ancho
<i>adj</i>	Ajuste
<i>al</i>	Aluminio
<i>amb</i>	Ambiente
<i>B</i>	Base
<i>cc</i>	Cavidad del techo
<i>D</i>	Disipada
<i>Di</i>	Dispositivo de iluminación o luminaria
<i>f</i>	Piso
<i>F</i>	Forware
<i>fc</i>	Cavidad del piso
<i>h</i>	Horizontal
<i>in</i>	Entrada
<i>J</i>	Juntura
<i>L</i>	Largo
<i>m</i>	Medio
<i>MAX</i>	Máxima
<i>mR</i>	Mínimo a la entrada del regulador
<i>ms</i>	Metal slug
<i>N</i>	Zona
<i>o</i>	Apertura del techo
<i>out</i>	Salida
<i>p</i>	Permisible
<i>PA</i>	Planta alta
<i>PB</i>	Planta baja
<i>pcb</i>	Printed Circuit Board (circuito impreso)
<i>R</i>	Resistencia reguladora de corriente
<i>r</i>	Máximo a la salida del regulador
<i>rc</i>	Cavidad del cuarto
<i>ref</i>	Referencia
<i>s</i>	Superficie del techo
<i>t</i>	Plano de trabajo
<i>T</i>	Total
<i>T</i>	Techo
<i>U</i>	Útil
<i>v</i>	Vertical

<i>W</i>	Paredes
<i>Wh</i>	Watts-hora
<i>WP</i>	Paredes del piso
<i>WT</i>	Paredes del techo
<i>x</i>	Medio 1
<i>y</i>	Medio 2
<i>z</i>	zona

Súper índice

<i>A</i>	Factor de calculo <i>A</i>
<i>B</i>	Factor de calculo <i>B</i>
<i>RCR</i>	Índice de cavidad del cuarto
<i>t</i>	Tiempo

INTRODUCCIÓN

Las instalaciones eléctricas de iluminación actualmente aplican focos incandescentes, fluorescentes y LEDs.

No obstante, con el objetivo de ayudar al medio ambiente el Fideicomiso para el Ahorro de Energía **FIDE** en el 2011, comenzó el *Programa de Crédito para la Adquisición de Lámparas LEDs*, ya que indica que el LED es aproximadamente 80% más eficiente que un foco incandescente, y tiene una mayor duración que los focos fluorescentes.

Sin embargo, de acuerdo con AG ELECTRONICA, los LEDs utilizados para la iluminación presentan un sobre calentamiento por no regular apropiadamente la energía del suministro eléctrico al LED, afectando su duración.

Por otro lado, la temperatura del regulador está directamente influida por la instalación eléctrica, además, al tener colocados juntos regulador y LED, el regulador le transfiere más calor al LED incrementando aún más su temperatura de operación.

Se sabe que el sobrecalentamiento envejece a todos los elementos que lo presentan, por lo que la vida útil puede verse disminuida, afectando la seguridad de la instalación.

Lo señalado sobre las instalaciones que usan LED conduce a plantear el siguiente, objetivo general:

- Establecer la mejor disposición de la instalación para evitar sobrecalentamiento y ayudar a la duración de los LED.

Para alcanzar el objetivo planteado se establecen los siguientes, objetivos particulares:

- Seleccionar adecuadamente los dispositivos de la instalación para iluminación.
- Aplicar correctamente reguladores de voltaje para alimentación de los LED.
- Recalcular el calibre del conductor para evitar caídas de voltaje y que el regulador no deje de operar.
- Que la iluminación se encuentre en los niveles recomendados.

Para lograr que el lector pueda comprender fácilmente el contenido de la presente tesis, esta ha sido dividida en cinco capítulos.

En el capítulo I se tratarán las características generales de los componentes básicos de una instalación de iluminación, los elementos de regulación de energía para el LED y la importancia de considerar el sobrecalentamiento de los elementos de la instalación.

El capítulo II describe a detalle las fórmulas que se deben utilizar para realizar el cálculo de la iluminación en una habitación de forma manual, por medio del método de los lúmenes. También se dan los procedimientos que deben seguirse para el diseño de la iluminación en una habitación, incluyendo los parámetros que deben ser predefinidos por el usuario antes de que el diseñador lleve a cabo los cálculos de la iluminación.

En el capítulo III se emplearán las fórmulas descritas en el capítulo II para encontrar el número de LEDs necesarios en la iluminación de las habitaciones en una casa.

De igual manera, se proporciona información referente a los LEDs, que facilitará a las personas que requieran implementar este tipo de elementos, tener una base para el diseño de su proyecto, considerando: los factores que influyen en la vida útil del LED, la temperatura interna del LED y la temperatura ambiente; las cuales, serán tomadas de la Red Meteorológica Metropolitana (REDMET) en la estación de monitoreo San Agustín. Por lo tanto, los valores utilizados no representan las condiciones de operación en otras regiones, pero sirven como referencia.

En el capítulo IV se realizará la selección de los elementos que operan en la instalación que energizará los LED, desde el regulador de voltaje que estabilizará la energía que consumirá el LED, hasta la selección del dispositivo de almacenamiento de energía y algunos factores que influyen en el diseño del banco de almacenamiento; incluyendo la selección del cargador de baterías y el calibre del conductor para alimentar la instalación.

A lo largo del capítulo V, se tratarán las cuestiones de seguridad entre una instalación de iluminación con focos incandescentes, con focos fluorescentes y con LEDs, enfocado al calor generado, riesgo de incendio y contaminantes nocivos.

CAPITULO I. INFORMACIÓN BÁSICA

En este capítulo se hablará de las características generales de los componentes básicos de una instalación de iluminación, los elementos de regulación de energía para el LED y la importancia de considerar el sobrecalentamiento de los elementos de la instalación. Con el propósito de que el lector pueda familiarizarse de forma sencilla con estos dispositivos antes de adentrarse en los cálculos correspondientes a su selección.

1.1 Instalaciones eléctricas para iluminación

Las instalaciones eléctricas se encuentran en todas partes, desde la industria, el comercio, las residencias, por encima y debajo de nosotros, en ocasiones visibles al usuario. Dependiendo del equipo de utilización la instalación eléctrica es dividida en instalación de fuerza e instalación de iluminación. La instalación de fuerza, en el caso de la industria, provee de energía a la maquinaria y en el caso de las residencias alimenta los aparatos electrodomésticos. La instalación de iluminación únicamente es utilizada para proveer de energía a los dispositivos de iluminación.

Dado que este trabajo esta enfocado a la instalación de iluminación, solo se dará la descripción de los elementos que intervienen en la instalación de iluminación, los cuales son:

- El alumbrado, ya sea focos, lámparas fluorescentes o aplicaciones tecnológicas con LEDs, los cuales convierten la energía eléctrica en energía luminosa, de los cuales se hablara con mayor detalle mas adelante.
- En el caso de algunos dispositivos de iluminación como las lámparas fluorescentes, se requiere de la implementación de balastos para regular la corriente de la lámpara.
- Apagadores, los cuales se encargan de interrumpir el flujo de energía hacia el dispositivo de iluminación.
- Y el conductor, el cual es el medio para conducir la energía hacia los dispositivos de iluminación, con su correspondiente protección.

Auque básicamente estos elementos son los que intervienen en una instalación de iluminación, es necesario considerar el tipo fuente de energía para alimentar el circuito, ya que se tiene fuentes de energía de corriente directa (CD) y fuentes de energía de corriente alterna (CA).

1.1.1 Instalaciones de corriente Alterna (CA)

La corriente alterna CA, es la energía comúnmente utilizada para alimentar distintos dispositivos. En una instalación eléctrica de CA la fuente de energía es una central eléctrica. Dependiendo de la etapa del trayecto desde la central de generación eléctrica se obtienen los distintos niveles de voltaje.

En las etapas de transmisión se emplean altos voltajes que van desde los 80 a 345 KV, en la etapa de distribución primaria se emplean tensiones medias que van desde 32 a 66 KV y en la etapa de distribución secundaria se emplean niveles de tensión bajos, los cuales son empleados para alimentar a los equipos de utilización, comúnmente los valores de tensión de estos equipos de utilización son 110 V, 220 V y 480 V.

En este tipo de fuente de voltaje encontramos la mayoría de los elementos de iluminación, sin embargo, existen elementos de iluminación como los LEDs que requieren de una conversión de voltaje de corriente alterna a corriente directa o las lámparas fluorescentes que requieren de pulsos de voltaje a altas frecuencias pero en la mayoría de los casos los dispositivos que proporcionan estas condiciones especiales, se encuentran integrados al elemento de iluminación o colocados en circuitos encapsulados para la colocación independiente como los balastos y se considera que son alimentados a una corriente alterna, por lo tanto forman parte de la instalación de corriente alterna.

1.1.2 Instalaciones de corriente directa (CD)

Las instalaciones que funcionan a un voltaje de Corriente Directa (CD), son poco comunes, ya que la mayoría de los dispositivos funcionan adecuadamente a un voltaje alterno y si se requiere de un voltaje directo, solo basta con aplicar diodos rectificadores.

Aunque podemos encontrar instalaciones de corriente directa en aquellas que utilizan baterías, este tipo de instalaciones comúnmente son empleados en los sistemas de emergencia y en los sistemas de reserva, los cuales a ocurrir un fallo en el suministro

eléctrico, son utilizados principalmente para mantener en operación la iluminación de seguridad que opera a un bajo voltaje.

En los casos en que se alimenta la iluminación general, es necesaria la intervención de los inversores de voltaje, los cuales incrementan el voltaje proveniente de las baterías y proporcionan una salida alterna, para garantizar el funcionamiento de los elementos de iluminación.

Por esta razón son más empleados los sistemas con plantas de emergencia, los cuales por medio de un motor de combustión genera una fuerza electromotriz en el generador, proporcionando una diferencia de potencial en corriente alterna a la instalación eléctrica, permitiendo que la iluminación funcione con normalidad.

1.2 Elementos de iluminación

Entre los elementos de iluminación son utilizados con una mayor frecuencia, los focos incandescentes, las lámparas fluorescentes y sus homónimos con LEDs.

En los focos incandescentes, el principio de funcionamiento es muy simple y esta basado en la termo luminiscencia. Si al filamento de tungsteno que se encuentra en el interior de la ampolla de vidrio, se le suministrar una corriente, el filamento incrementa su temperatura hasta llegar al punto en que este incremento de temperatura alcanza los niveles de longitud de onda del espectro visible al ojo humano, aun que la mayor parte de la energía eléctrica es convertida en calor por lo que el foco incandescente resulta ser el elemento menos eficiente de todos los dispositivos de iluminación, siendo mejores en la conversión de la electricidad a luz las lámparas fluorescentes.

Los focos fluorescentes funcionan de forma más eficiente que los focos incandescentes, ya que el principio de funcionamiento no involucra el incremento de la temperatura de la lámpara. De forma simplificada, una lámpara fluorescente en su interior contiene distintos gases baja presión, del cual en menor proporción aunque el principal es el Mercurio, estos gases están contenidos en un tubo de vidrio que en su pared interna esta cubierto por Fósforo.

Al energizar la lámpara se obtiene un flujo de electrones que reacciona con el Mercurio, haciendo que este irradie luz ultravioleta, la cual al entrar en contacto con el Fósforo de las paredes del cristal producen un fenómeno conocido como foto luminiscencia, transformando la radiación ultravioleta a luz en longitudes de onda visibles sin la intervención del calor. Aunque las lámparas fluorescentes no producen una cantidad excesiva de calor, el dispositivo encargado de la regulación de corriente y voltaje (balastro) si produce calor, lo que se resume en pérdidas de energía.

Actualmente, gracias a los avances tecnológicos sea encontrado una fuente luminosa que no produce una cantidad elevada de calor y es más eficiente al momento de transformar la energía eléctrica en luz, este dispositivo es el Diodo Emisor de Luz o LED. Para saber como funciona un Led es necesario comprender de forma básica el funcionamiento de un diodo común. El diodo esta elaborado de una material semiconductor, como el Silicio, al cual se le adicionan impurezas para lograr que atómicamente el Silicio tenga un número de electrones, mayor o menor, lo que genera una polaridad.

Al agregar impurezas como el Boro, Galio o Indio se forman huecos, haciendo que el material semiconductor carezca de electrones, por lo tanto se vuelve positivo; la polaridad negativa se consigue adicionando Antimonio, Arsénico o Fósforo, estos materiales adicionan electrones al Silicio ^[1]. Colocando dos semiconductores de polaridades diferentes, se conforma una unión n-p como la mostrada en la figura 1.1.

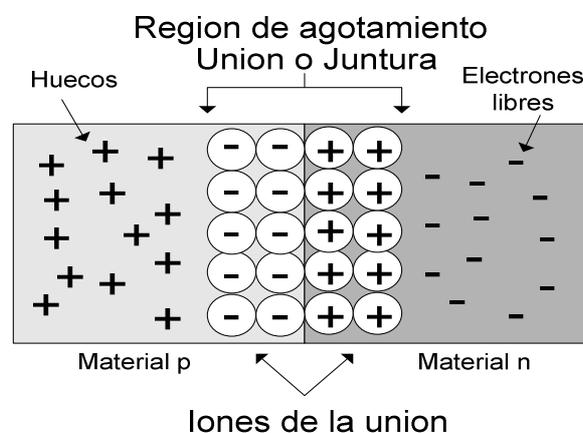


Figura 1.1 Esquema de un diodo (Luis Felipe Palomeque Chacón)

En el punto de unión de los materiales semiconductores se forma una saturación de iones negativos en el material (p), y de iones positivos en el material (n), a esta región se le conoce como región de agotamiento.

Al polarizar en directa el diodo, la terminal negativa de la fuente de voltaje suministra mas electrones negativos al material (n) forzando a los electrones a atravesar la unión para fusionarse con los huecos del material (p), mientras que la terminal positivo de la fuente de voltaje suministra continuamente huecos a la terminal (p). Cuando el voltaje suministrado por la fuente es igual o mayor al voltaje mínimo de operación, la región de agotamiento se reduce, permitiendo el libre flujo de corriente de la batería, como se muestra en la figura 1.2a.

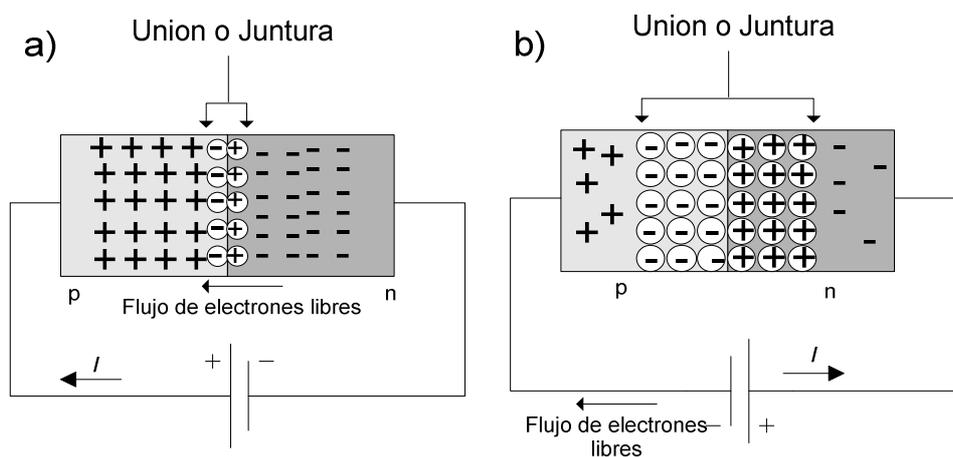


Figura 1.2 Polarización de un diodo. a) Directa; b) Inversa. (Luis Felipe Palomeque)

Al polarizar en inversa el diodo, ocurre lo contrario, y la región de agotamiento se satura incrementando su área, lo que impide el libre flujo de corriente, como se puede apreciar en la figura 1.2b.

Este principio de funcionamiento se aplica al LED, difiriendo en la combinación de materiales semiconductores que conforman al LED, siendo estos materiales Electro Luminiscentes irradian energía electromagnética a longitudes de onda que son percibidas por el ojo humano, aunque también existen LEDs que irradian energía a una longitud de onda superior e inferior a la de la luz, siendo estos los LEDs ultra violetas y LEDs infrarrojos.

Para obtener la longitud de onda electromagnética a la que es sensible el ojo humano, es necesario combinar distintos materiales semiconductores que reaccionan irradiando luz, cuando se les suministra una corriente eléctrica. Las combinaciones de elementos semiconductores mas utilizados son:

- Fosforo de Galio (GaP) proporciona un espectro verde.
- Fosforo de Arsénico y de Galio (GaAsP), dependiendo de la proporción estos de elementos, proporcionan los espectros, rojo amarillo y naranja.
- Nitruro de Indio y de Galio (InGaN), proporciona la coloración azul.

En el anexo A.1 se pueden observar las longitudes de ondas a las que es sensible en ojo humano y corresponden a los distintos colores que podemos percibir. En el caso de los LED que proporcionan luz blanca, se utiliza un semiconductor compuesto de Nitruro de Indio y de Galio (InGaN), para obtener la luz blanca se le adiciona fósforo, el cual puede estar en la resina que cubre al semiconductor o puede estar superpuesta en el semiconductor.

Al entrar el fósforo en contacto con la radiación azul emitida por el semiconductor reacciona emitiendo luz blanca. A este fenómeno se le conoce como foto luminiscencia.

Otra forma de generar luz blanca es por medio de la combinación de los colores primarios, rojo, verde y azul, al combinar LEDs que emiten las longitudes de onda de los colores primarios, se obtiene luz blanca.

Debido a que a las características luminosas que posee el LED este se puede emplear en diversas áreas y actualmente se pueden encontrar LEDs cuyo flujo luminoso es superior al de sus antecesores.

Estos LEDs que alcanzan un alto flujo luminoso son conocidos como LEDs de potencia, los cuales pueden alcanzar valores de intensidad luminosa superiores a los 80 lúmenes, lo que los convierte en un elemento ideal para aplicaciones de iluminación general.

Los LED de potencia generalmente son utilizados en conjunto en el desarrollo de dispositivos de fácil acoplamiento con la red eléctrica, constituyendo los llamados focos de LEDs y Lámparas de LEDs, como los mostrados en la figura 1.3.



Figura 1.3 a) Foco con LEDs superflux; b) lámpara de LEDs con cubierta (AG Electrónica)

La implementación de las lámparas de LED se puede observar en distintos estados de la república como Jalisco, Colima, Veracruz, entre otros. Donde se han colocado lámparas de LEDs en las escuelas y lugares de esparcimiento como se puede apreciar en la figura 1.4.



Figura 1.4 Iluminación con lámparas de LEDs en la escuela de talentos ubicada en Villa de Álvarez, colima. (LED México)

La implementación de dispositivos con LEDs de acoplamiento con la red eléctrica residencial puede proporcionar un ahorro de energía de hasta un 80% comparado con los focos incandescentes. Por esta razón, el Fideicomiso para el Ahorro de Energía **FIDE** a iniciado el *Programa de Crédito para la Adquisición de Lámparas LEDs*, el cual tiene como objetivo apoyar a las familias mexicanas en la adquisición de nuevas tecnologías para el ahorro de energía eléctrica, programa que complementa al ya existente *Programa Luz Sustentable*, en el cual se intercambian focos incandescentes por ahorradores.

Esta decisión de presentar un programa para la adquisición de lámparas de LEDs, fue considerada, debido a la alta eficiencia de los LEDs para transformar la energía eléctrica en energía luminosa visible, esta eficiencia se puede visualizar de mejor forma por medio de la formula de eficacia luminosa.

$$\eta = \frac{\phi}{P} \quad \left[\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right] \quad 1.1$$

Para obtener una noción más exacta de la eficacia luminosa de los focos incandescentes y las lámparas fluorescentes compactas o foco ahorrador, se obtuvo la eficacia de estos por medio de la formula 1.1 obteniéndose los resultados de la tabla 1.1

Tabla 1.1 Eficacia de los focos incandescentes y ahorradores

Foco incandescente			Equivalente foco ahorrador		
Potencia [W]	Flujo luminoso [lm]	Eficacia $\left[\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right]$	Potencia [W]	Flujo luminoso [lm]	Eficacia $\left[\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right]$
60	830	13.833	15	891	59.4
75	1080	14.4	22	1238	56.27
100	1560	15.6	28	1674	59.78

Nota: Los valores correspondientes a la potencia y flujo luminoso fueron obtenidos de la Revista del Consumidor No.280, de junio del año 2000

Comparando los resultados de la tabla 1.1 con uno de los productos mas destacado del programa de adquisición de lámparas LEDs, se obtuvo que la empresa Philips participa con el modelo Prince LED Retrofit de 17W, que proporciona un flujo luminoso de 1'100 lm con una eficacia de 65 [lm/w], lo que representa una gran diferencia frente a los focos incandescentes, pero casi la misma eficacia de los focos ahorradores, quedando tan solo una diferencia en el tiempo de vida, el cual para los focos ahorradores es de 15'000 hrs. y para el Prince LED Retrofit de 17W es de 25'000.

También se observa que el tiempo de vida útil del foco de LED Prince LED Retrofit es menor que el de un LED utilizado individualmente, el cual tiene un tiempo de vida útil aproximado de 70,000 horas.

Este decremento en el tiempo de vida es causado principalmente por la implementación modular de los LEDs a los cuales se les ha integrado un sistema de regulación de voltaje, este sistema convierte la energía eléctrica de CA a CD y baja el voltaje del LED a un nivel utilizable. Estas acciones para regular el voltaje producen calor y ponen en riesgo la integridad del LED utilizado y reduciendo el tiempo de vida útil del LED.

Por lo tanto si se emplea un sistema de regulación que no se encuentre integrado a los LEDs y una disposición de los LEDs no modular, el tiempo de vida de los LEDs se incrementaría, ya que solo se verían influenciados por la temperatura normal de operación.

Aun que es necesario la consideración la regulación de energía para garantizar la correcta alimentación del LED y evitar que estos se sobrecalienten, para esto se emplean reguladores de voltaje, cuyas características se describen a continuación.

1.3 Regulador de voltaje.

Para implementar elementos LEDs, es necesario considerar la regulación de la energía de alimentación, debido a que de esto depende la integridad del LED, ya que trabajar fuera de los valores máximos de alimentación puede causar un daño irreversible.

Cabe mencionar que los dispositivos empleados para la regulación de voltaje del LED, son conocidos como LED Driver, independientemente del método o los componentes internos que lo compongan, ya que existen diversos métodos para regular el voltaje que alimentara un circuito electrónico, desde la idea básica de un transformador reductor combinado con un puente de diodos y resistencias; a elementos más complejos como los transistores y también la forma más simplificada de estos, van desde el circuito integrado regulador de voltaje o combinando los componentes anteriores .

Aunque el tipo de regulador depende de la fuente de alimentación, como se menciona anteriormente, se dispone de dos fuentes de alimentación, la alimentación de corriente alterna CA y la alimentación de corriente directa CD.

Para una alimentación en CA, la cual es tomada directamente de la red eléctrica, existen dispositivos de regulación o LED Driver integrados, que pueden ser conectados directamente a la red eléctrica, como el mostrado en la figura 1.5 perteneciente a la empresa Dialight, este LED driver se encarga de la conversión CA a CD.



Figura 1.5 LED driver modelo MDU9-SC-3570 (Dialight)

Este tipo de LED Driver integrados, para efectuar la conversión de voltaje, en su interior contiene distintos componentes electrónicos, como transformadores reductores, resistencias, diodos rectificadores y circuitos integrados reguladores de voltaje, para proporcionan una alimentación adecuada para el LED.

Debido a la demanda creciente de los LEDs se han fabricado distintos LED Driver integrados, que funcionan a voltajes de 120 VAC. Aunque al utilizarlos es necesario considerar que generalmente la perdida de energía en forma de calor es muy elevada,

comparada con el número de LEDs que pueden soportar el LED driver, debido a la conversión del nivel de voltaje y a la estabilización de este.

En caso de utilizar una fuente de corriente directa (CD) de un voltaje inferior al de la red eléctrica, como las baterías o generadores de CD de bajo voltaje existen distintas formas de regular el voltaje, la empresa Avago ofrece sugerencias de como controlar el voltaje y la corriente de alimentación en la nota de aplicación 5310 ^[3], por medio de *drivers* para LEDs.

De los cuales la forma más sencilla de controlar la alimentación de los LED es por medio de reguladores de voltaje integrados, ya que requieren de un reducido número de componentes electrónicos, el regulador de voltaje integrado se puede encontrar en dos versiones, estables y no regulable.

El regulador de voltaje regulable es aquel que como su nombre lo indica, la salida de voltaje puede ser regulada colocando elementos resistivos en el terminal de ajuste, en la figura 1.6a se puede observar la conexión típica del regulador de salida regulable LMxxx.

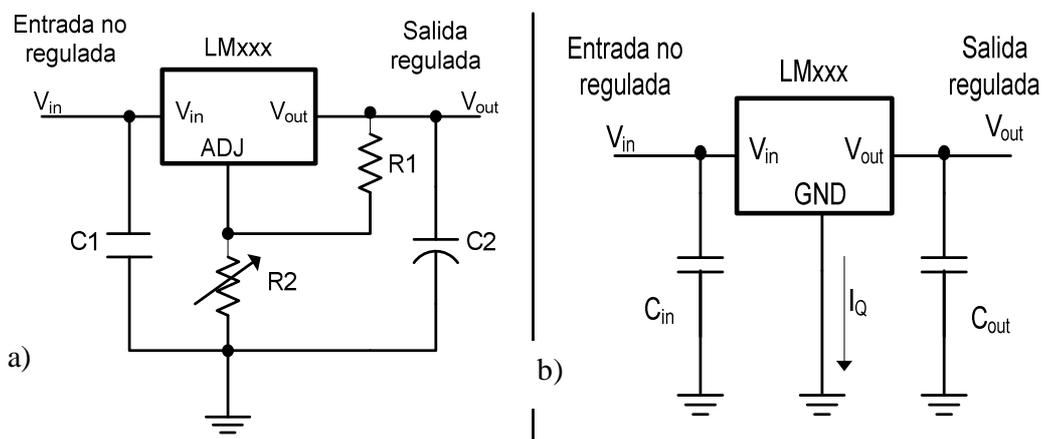


Figura 1.6 Conexión del Regulador de voltaje LMxxx. a) de salida variable; b) de salida estable. (*National semiconductor*).

En el caso del regulador de voltaje de salida estable, este proporciona el voltaje establecido por el fabricante, y este no requiere de elementos externos para determinar el voltaje de salida, tan solo un par de capacitores en la entrada y la salida del

regulador, para estabilizar los valores de entrada y salida. En la figura 1.6b se muestra la conexión típica de un regulador de salida estable LMxxx con elementos capacitivos.

Aunque para emplear estos reguladores de voltaje es recomendable considerar el Voltaje de *Dropout*, este es el nombre que recibe el voltaje mínimo al cual el regulador deja de cumplir su función permitiendo pasar el voltaje de entrada sin ser regulado. Este valor en múltiples ocasiones es proporcionado por el fabricante en las hojas de especificaciones, en otros casos este valor no es proporcionado, aunque puede determinarse restando el voltaje mínimo de la entrada del regulador al voltaje al voltaje mínimo de la salida del regulador. Lo anterior puede ser representado por medio de la formula 1.2.

$$V_{Dropout} = V_{in} - V_{out} \quad [V] \quad 1.2$$

En la misma nota de aplicación 5310 de Avago ^[3], se pueden encontrar otras formas de regular el voltaje por medio de dispositivos mas complejos cuya estructura interna esta basada en compuestas lógicas y comparadores, aunque se requiere de un análisis mayor para determinar los valores de los componentes utilizados para establecer el voltaje de salida de estos elementos, para evitar que el LED sufra un daño por causa de una alimentación inadecuada.

Aunque en todos los LED drivers, ya sean integrados o dispositivos de regulación, la corriente máxima soportada es la que determina el numero máximo de LEDs que pueden conectarse a ella. Por lo tanto el LED driver debe ser seleccionado a partir de la corriente de la carga a alimentar, ya que de esto depende el adecuado funcionamiento del LED y en el caso de los circuitos integrados, un exceso de corriente provoca un sobrecalentamiento.

La corriente máxima soportada por el LED driver es proporcionado por el fabricante y en todos los casos debe ser respetado para evitar daños en el LED y a la integridad del usuario debido al sobrecalentamiento.

1.4 Sobrecalentamiento y seguridad

Mantener el nivel de seguridad en una instalación eléctrica implica realizar el diseño de forma adecuada para evitar los choques eléctricos, sobre corrientes, cortos circuitos, exceso de voltaje, los cuales conllevan a un incremento en la temperatura de los componentes que integran la instalación, en este caso la instalación eléctrica para la iluminación.

Una seguridad adecuada de la instalación, me permite asegurar que el usuario podrá utilizar esta instalación con la certeza de que su integridad y la de sus propiedades no serán puestas en riesgo y por otro lado se prolongara el tiempo de vida de los elementos que integran la instalación.

En lo que corresponde al conductor este debe ser protegido contra cortos circuitos y sobre corrientes por medio de dispositivos de desconexión como fusibles y switch termo magnético, que en caso de registrar una diferencia considerable de corriente interrumpirán la alimentación del circuito al que estén conectados. Esta desconexión se lleva a cavo para evitar el sobrecalentamiento del conductor y el consecuente daño al aislante.

Una mala selección del conductor puede provocar un sobrecalentamiento, ya que cada conductor tiene un límite máximo de conducción de corriente que puede soportar el aislamiento. Para tener una idea de la temperatura alcanzada por el conductor se puede emplear la formula 1.3 obtenida del catalogo de cableado de la empresa Prysmian ^[2], aunque está dirigida a redes subterráneas, proporciona una referencia para la temperatura alcanzada por el conductor.

$$\theta = \theta_0 + \left[(\theta_{max} - \theta_0) \left(\frac{I}{I_{max}} \right)^2 \right] \quad [^{\circ}\text{C}] \quad 1.3$$

En el caso del LED, conociendo que este operara a una baja potencia, se deduce que este alcanza una temperatura exterior menor que los focos incandescentes, los cuales alcanzan temperaturas superiores a los 100 °C, por lo tanto presentan un riesgo de incendio en la presencia de materiales flamables en contacto con la fuente de luz como el papel, madera o telas, los cuales tienen un punto de ignición aproximadamente de 230°C^[4], poniendo en riesgo la seguridad de los habitantes de la casa y la integridad de sus bienes materiales.

En los LEDs la temperatura externa no puede ser calculada, ya que influye en gran medida la resina que cubre al LED y de la cual no se tienen sus características térmicas, sin embargo, puede calcularse la temperatura interna del LED, la cual es mayor en comparación a la resina y ésta temperatura interna es la que da la pauta para determinar si la iluminación proporcionada por el LED no se ve decrementada.

La iluminación que proporciona el LED esta estrechamente relacionada con la temperatura de operación del mismo, aunque la mayor parte de la energía que consume el LED es transformada en ondas electromagnéticas en el rango de luz visible, una parte de esta energía será transformada en calor y es disipada al medio ambiente.

El incremento de la temperatura de operación, se ve afectado por la temperatura ambiente del área donde se llevara a cabo la colocación de los LEDs y por la energía de alimentación del LED. Generalmente, el decremento en la iluminación suministrada por el LED, es proporcionado por el fabricante mediante de una grafica en la cual el parámetro de la temperatura esta dada con respecto a la temperatura ambiente, lo que facilita un cálculo rápido.

La mayoría de las empresas fabricantes de LEDs proporcionan una gráfica con relación a la Temperatura de Juntura la cual es la temperatura alcanzada en el punto de unión de los semiconductores. Un ejemplo de ésta gráfica se muestra en el anexo A.2, perteneciente a la familia del LED Mod. BXRA-xxxx de la compañía BRIDGELUX.

En el anexo A.2 se puede observar como influye la temperatura de operación en el desempeño del LED, en este caso a una temperatura de juntura de 90°C se tiene una reducción de la iluminación de aproximadamente el 20% en el LED Blanco frío*.

Para minimizar el efecto de la temperatura e impedir que esta llegue a los límites máximos de operación, en algunos casos es necesaria la colocación de medios de disipación de calor, empleando ventiladores o solo requiriendo la selección adecuada de un disipador de calor con una baja resistencia térmica.

La resistencia térmica, es la oposición que tiene un material al paso del calor y es directamente proporcional a la diferencia de temperatura que fluye por un material e inversamente proporcional a la potencia disipada, la cual se puede expresar por medio de la fórmula 1.4

$$R_{\theta_{x-y}} = \frac{(T_x - T_y)}{P_D} \quad \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right] \quad 1.4$$

En el caso de la potencia disipada por el LED, se multiplica la corriente por el voltaje, estos valores de alimentación son los de la polarización directa, comunmente colocados en los datos del fabricante como *Forward current* y *Forward Voltage*

$$P_D = I_F * V_F \quad [\text{W}] \quad 1.5$$

La fórmula 1.4 se puede asimilar de mejor forma comparándola con la Ley de Ohm, en donde las Temperaturas corresponden a una diferencia de voltaje y la potencia disipada corresponde a la corriente que circula por la resistencia.

* Esta denominación del LED se refiere a la temperatura del color, este tema será tratado en los apartados posteriores.

Debido a que es una resistencia, son aplicables los métodos para obtener la resistencia total de un circuito eléctrico: cuando los materiales se encuentran en serie, la resistencia térmica total es la suma algebraica de las resistencias adicionales y cuando los materiales se encuentran en paralelo la resistencia total es la suma de los inversos de la resistencia, esto se puede observar con más detalle en la figura 1.7.

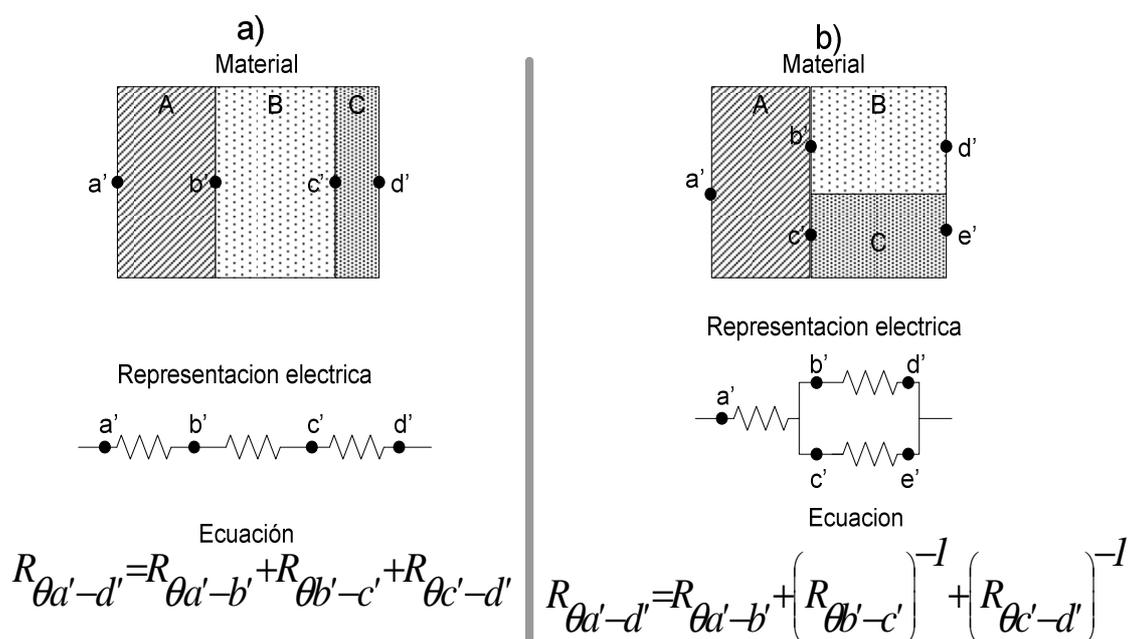


Figura 1.7 Suma de resistencia Térmica; a) en serie; b) en paralelo
(Luis Felipe Palomeque Chacón)

A modo de ejemplo, se tiene un LED BXRA-C1202-00000, cuya resistencia térmica de la junta a la placa MCPCB es de $0.7\text{W}/^\circ\text{C}$, y se le aplica una pasta conductora entre el MCPCB y el disipador de calor, con una resistencia térmica de $0.07\text{W}/^\circ\text{C}$. Se requiere determinar resistencia térmica mínima del disipador de calor para que el LED funcione sin dañarse a una temperatura ambiente de 40°C operando a una potencia de 15W .

Como datos adicionales se conoce que la temperatura de junta máxima soportada por el LED es de 150°C y el diagrama de resistencias térmicas se muestra en la figura 1.8

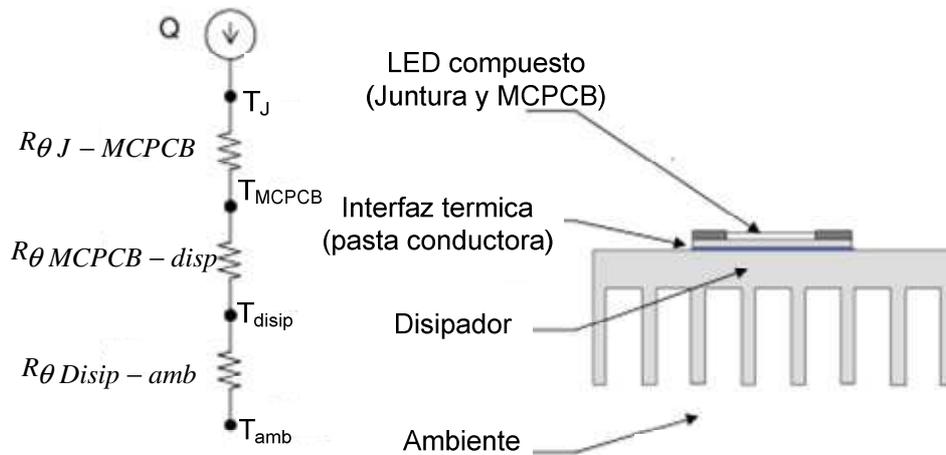


Figura 1.8 Diagrama de resistencia térmica, LED BXRA-C1202 (BRIDGELUX)

De la figura 1.8 se obtiene la siguiente ecuación para calcular la resistencia térmica de la juntura (J) al ambiente (amb).

$$R_{\theta J-amb} = R_{\theta J-MCPCB} + R_{\theta MCPCB-Disp} + R_{\theta Disp-amb} \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right] \quad 1.6$$

De la ecuación anterior se tienen dos incógnitas, la resistencia térmica del disipador al ambiente y la resistencia de la juntura al ambiente, pero dado que la resistencia térmica está expresada con la fórmula 1.4 se tiene que;

$$\frac{(T_J - T_{amb})}{P_D} = R_{\theta J-MCPCB} + R_{\theta MCPCB-Disp} + R_{\theta Disp-amb} \quad 1.7$$

Despejando la resistencia térmica del disipador al ambiente de la fórmula 1.7 y sustituyendo los valores, se obtiene una resistencia térmica mínima del disipador de:

$$R_{\theta Disp-amb} = \frac{(150^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C})}{10\text{W}} - 0.7 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} - 0.07 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} = 10.23 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

El resultado anterior indica, que el disipador con un valor de resistencia térmica de $10.23^{\circ}\text{C}/\text{W}$ permitirá que el LED trabaje a una temperatura ambiente de 40°C y la temperatura de juntura se mantendrá en el límite máximo de operación, pero la iluminación será menor. Si se observa el anexo A.2 se notará que para una temperatura de 150°C la temperatura sale de la escala, por lo tanto es necesario seleccionar un disipador de calor con una resistencia térmica inferior a la calculada.

Por ejemplo, si se sustituye el disipador de $10.23^{\circ}\text{C}/\text{W}$ por otro con resistencia térmica de $2^{\circ}\text{C}/\text{W}$, ¿cual es la temperatura de juntura del LED?

Despejando la temperatura de juntura de la formula 1.7 y sustituyendo los valores correspondientes se obtiene:

$$T_J = \left(0.7 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 0.07 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 2 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right) 10\text{W} + 40^{\circ}\text{C} = 67.7^{\circ}\text{C}$$

Por lo tanto, observando anexo A.2, se obtiene que para una temperatura de juntura de 67.7°C , la iluminación proporcionada por el LED es aproximadamente de 90%. De esta forma se selecciona el elemento disipador, lo que asegura que la temperatura interna del LED se mantenga por debajo de los límites máximos de Temperatura y se garantiza que la iluminación proporcionada por el LED no sufrirá un decremento excesivo.

Para obtener la temperatura del disipador, dado que la resistencia térmica está expresada por la formula 1.4, al ser expresada en función de la resistencia térmica del disipador al ambiente y sustituyéndola en la formula 1.7, se obtiene la formula 1.8.

$$\frac{(T_J - T_{amb})}{P_D} = R_{\theta J-MCPCB} + R_{\theta MCPCB-Disip} + \frac{(T_{disp} - T_{amb})}{P_D} \quad 1.8$$

Despejando la temperatura de disipación de la formula 1.8 y sustituyendo los valores anteriores, considerando que la temperatura de juntura es calculado es de 67.7°C se obtiene una temperatura del disipador de:

$$T_{disp} = 67.7 - \left(0.7 \frac{^{\circ}C}{W} + 0.07 \frac{^{\circ}C}{W} \right) 10W = 60^{\circ}C$$

Como se puede observar la temperatura del disipador es menor en comparacion a la temperatura del foco incandescente. Por lo tanto, utilizando LEDs no se tendrá un riesgo de incendio causado por las altas temperaturas de operación como en el caso de los focos incandescentes y en el caso de que el LED sea manipulado despues de estar operando, no producirá ninguna lesión en la piel.

En el caso de los dispositivos que alimentan al LED, los LED Driver, como se mencionó anteriormente, deben ser utilizados conforme a la corriente del LED para evitar un sobrecalentamiento de estos afectando los niveles de iluminación.

Aunque el decremento de la iluminación por causa de la temperatura de operación puede ser en algunos casos muy grande, si se toman las medidas adecuadas para mantener la temperatura de operación en un nivel bajo no se tendrá ningun problema al momento de implementarlo como un dispositivo de iluminación de un area determinada, por lo que en el siguiente capitulo se hablará sobre cómo analizar la iluminación en un área.

REFERENCIAS

- [1] MALVINO, Albert P. *Principios de Electrónica*. McGrawHill, 6ta edición. España, 2000.
- [2] PRYSMIAN. *Catalogo de cables y accesorios para baja tensión 2011*.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- [3] AVAGO. *Application note 5310*, Estados unidos, 2010
<http://www.avagotech.com/docs/AV02-0532EN> Año de consulta, 2011.
- [4] BOMBEROS DE NAVARRA. *Manual de extinción de incendios*. Pamplona España, 2001.
<http://www.bomberosdenavarra.com/index.php?m=56&id=7&pagina=10>
Año de consulta, 2011.

Capítulo II. Análisis para la iluminación

En este capítulo se conocerán las características principales que se requiere de una fuente luminosas eléctricas; así también el procedimiento para calcular el número de luminarias para iluminar un local y cómo debe ser distribuida la iluminación así como también otros factores que influyen para calcular correctamente un proyecto de iluminación. Esto con el propósito de que el lector tenga los conocimientos básicos para el cálculo de la iluminación en un área y pueda calcular la distribución de los LEDs.

La elaboración de un proyecto de iluminación implica conocer las características de la zona, ya que este puede ser para un local comercial, una casa, una oficina, la industria. Aunque el procedimiento es el mismo y el nivel de iluminación para cada área es distinta, se debe cumplir con el nivel mínimo de iluminación o bien mejorar el nivel de iluminación, sin verse comprometido por causa de la seguridad de la instalación.

Para determinar los niveles de iluminación en cualquier área, primero es necesario conocer el estándar proporcionado por las entidades especialistas en el tema, y posteriormente analizar los factores que afectan el nivel de iluminación, esto se lleva a cabo por medio de las fórmulas que serán tratadas en este capítulo.

Cabe mencionar que los cálculos pueden emplearse para focos, lámparas y dispositivos LEDs, empleando luminaria o sin luminarias, sólo se requiere tener los datos correspondientes y realizar los ajustes pertinentes como se muestra más adelante.

2.1 Iluminación recomendada

Las actividades que realiza el ser humano requieren de un nivel de iluminación adecuado en el área donde se realiza la actividad, esto es para garantizar que no existirá una fatiga visual con alguna lesión en la visión del usuario a largo plazo o que la condición psicológica del usuario se vea afectada.

Por lo tanto, dependiendo de la actividad a realizar no es recomendable utilizar un nivel iluminación menor en un lugar donde la agudeza visual debe ser alta. Por lo tanto, no es adecuado colocar un nivel de iluminación que generalmente se utilizaría en una oficina en un área industrial, porque esto dificultaría la realización de actividades de gran precisión para el ojo humano, o la colocación de un nivel de iluminación utilizado en la industria en el interior de una casa, ya que sería muy incómodo para sus habitantes, ya que el exceso de iluminación terminaría con el ambiente de comodidad visual afectando psicológicamente al usuario.

Por las razones descritas en el párrafo anterior, los niveles de iluminación fueron determinados por especialistas dedicados a la iluminación como lo menciona Lima Velasco ^[1]: “Tomando en cuenta los diferentes esfuerzos a los que está sometido el ojo humano durante su funcionamiento, rendimiento visual, la asimilación por segundo y hasta las condiciones climatológicas”.

Los niveles de iluminación recomendados son publicados por diversos organismos como: La *Commission Internationale de L'éclairage (CIE)* y la *Illuminating Engineering Society (IES)*. En la Tabla 2.1 se muestran algunos de los valores de iluminación que recomienda la CIE para diversas áreas.

Tabla 2.1 Iluminación recomendada para diversas áreas

Zona	Iluminación	
	General [lux]	Áreas especiales [lux]
Industria de ensamble con trabajos delicados	1500	
Archivo de oficina	200	
Salón de clases	500	
Industria de comida	300	500
Enfermería	300	
Cuartos de una casa	50	200
Baños	100	500
Salas de estar	100	500
Cocina	300	500
Escaleras	100	
Cuarto de trabajo	300	

(Philips Lighting Manual, Quinta edición)

La iluminación en áreas especiales se refiere a las zonas donde se requiere de una iluminación específica para realizar alguna actividad. Por ejemplo:

La luz de cabecera en los cuartos de una casa habitación; la iluminación del rostro en el espejo en un baño público; la zona de inspección de alimentos en la industria, etc.

Los valores de iluminación quedan a consideración del cliente, ya que los valores del CIE son sólo una guía, sin descartar que puedan utilizarse valores más elevados, o valores no inferiores a los recomendados por el CIE.

Otro tema a considerar en la iluminación es la temperatura del color la cual es empleada para referirse a la tonalidad del color que tiene la luz emitida por una lámpara, y su unidad esta dada en grados kelvin [K°] ^[1].

Este factor debe ser considerado en la elección de una fuente de iluminación eléctrica, la elección de la temperatura del color dependerá del propietario del inmueble que quiere hacer los cambios de la iluminación. Esto se encuentra estrechamente ligado al confort visual del cliente y que estará influenciado por su estado de ánimo y otras razones psicológicas cómo comenta Rüdiger Ganslandt ^[2].

La empresa Philips interpreta la temperatura del color de la siguiente forma ^[6]:

- Colores suaves o cálidos: la temperatura es de 2700 °K a 4000 °K y la tonalidad es la presente en los focos incandescentes.
- En colores neutros: su temperatura es de 4100 °K a 5000 °K; y su tonalidad la brindan las lámparas fluorescentes con una luz que tienden al blanco pero un poco amarillenta.
- La temperatura fría se obtiene de 5100 °K a 6500 °K y se observa en las lámparas fluorescentes utilizadas en la oficina.

Los colores cálidos ofrecen un ambiente relajante, mientras que los colores fríos tornan el ambiente más estimulante, ello conduce a usarlos en la industria y en las oficinas. La tonalidad de la luz que proporciona las distintas temperaturas del color, se puede observar en el diagrama cromático del anexo A.1.

En el caso de los LEDs que proporcionan luz blanca, estos pueden proporcionar los tres tipos de temperatura del color, dependiendo del modelo del LED. Aunque, en los LEDs se debe tener presente que la reducción de la iluminación por causa de la temperatura de operación puede ser menor o mayor dependiendo de la temperatura del color del LED, esto se puede observar en el Anexo A.2, en donde la iluminación se

reduce más en los LEDs cuya temperatura del color es blanco frío, pero se debe tener presente que este dato varía dependiendo del fabricante.

También se puede considerar el índice de reproducción cromática o IRC, el cual entre mayor sea este valor, mejor será la tonalidad que se perciba de la materia iluminada. Por ejemplo, en los centros comerciales se utiliza un índice de reproducción cromática superior al 80% para poder reproducir fielmente los colores de las frutas o las carnes y para dar una mayor sensación de frescura, también es utilizado en la cocina de los hogares para dar este mismo efecto. Aunque estas características recaen en el cliente, debe hacerse mención para una mejor elección.

En el caso de los LEDs individuales, el índice de reproducción cromática en algunos casos no es proporcionado de forma directa por el fabricante, aunque por medio de las gráficas de distribución cromática, conocida por los fabricantes de LEDs como gráfica de intensidad relativa vs. Longitud de onda y se encuentra incluida en los datos técnicos del LED. Por medio de esta gráfica se puede conocer las longitudes de onda que reproduce el LED, como el ejemplo que se muestra en la figura 2.1 la gráfica de distribución cromática de la familia LED BXRA-XXXX de la compañía Bridgelux.

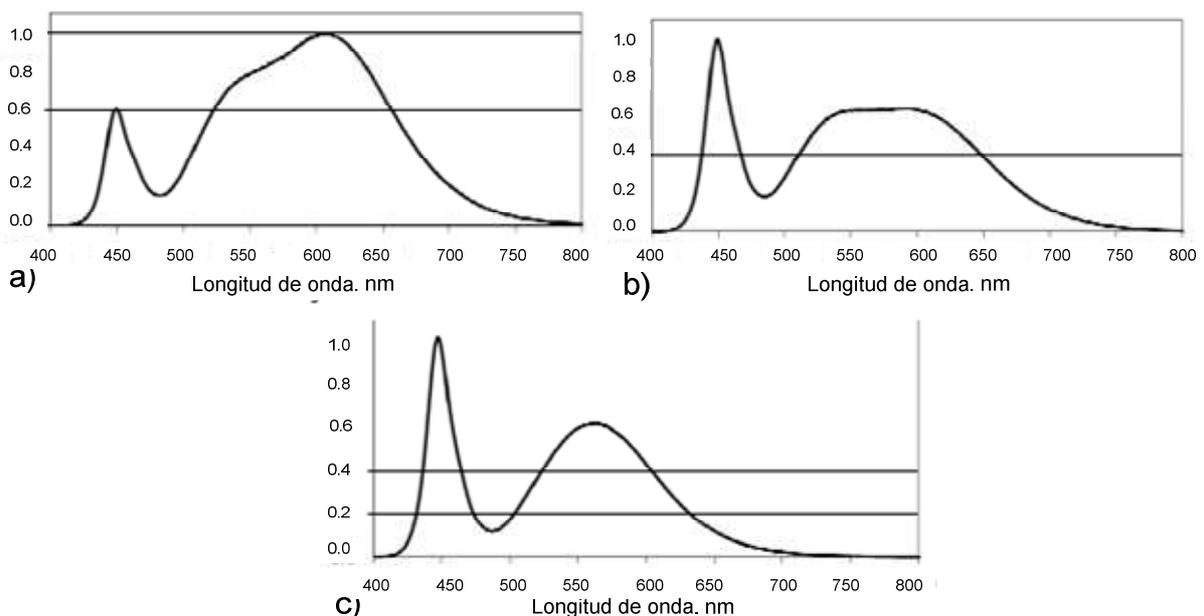


Figura 2.1 Gráficas de distribución cromática para el LED BXRA-XXXX.
a) Blanco caliente; b) blanco neutro; c) blanco frío. (Bridgelux)

En la figura anterior se puede observar que los LEDs de la familia BXRA-XXXX correspondientes a una temperatura del color blanco cálido pueden reproducir una mayor gama de colores, debido a que abarca un mayor número de longitudes de onda, en comparación con los LEDs de temperatura del color blanco frío de la misma familia.

Cabe mencionar que los niveles de iluminación recomendados no dependen del tipo de dispositivo de iluminación empleado, ya que pueden usarse para iluminar un área: los focos, lámparas o dispositivos LEDs. Por otro lado para alcanzar los niveles de iluminación recomendados es necesario determinar el número de dispositivos que proporcionan luz. Para esto es necesario emplear los métodos de cálculo en iluminación que se verán más adelante, y los cuales están ligados a los niveles de iluminación recomendada, aunque si existen otros factores que afectan el nivel de iluminación recomendado como se vera a continuación.

2.2 Factores que afectan la iluminación

Uno de los factores que afectan el nivel de iluminación es la reflexión de la luz por parte de lo objetos que se encuentran en una habitación, ya que todos los objetos que son iluminados absorben una parte de la luz incidente y también la reflejan. Por lo tanto, como lo menciona SIMCLI en sus apuntes de iluminación ^[7], “llegan a ser fuentes adicionales de luz que deben considerarse cuando se calcula la iluminancia“e influyen a tal grado que si no son consideradas estas variantes en los cálculos, generaría un error que se manifestaría en un número mayor de focos o lámparas, ya que como se recordara el nivel de iluminación esta ligado al numero de dispositivos de iluminación.

Pero la reflectancia de las paredes constituye una ventaja al volverse fuente indirecta de luz adicional a la iluminación principal, disminuyendo el número de dispositivos de iluminación necesarios. Por este motivo, se sugiere que los colores de las paredes en lugares cerrados sean lo más claro posible a gusto del cliente, teniendo así, un factor de reflexión más alto de reflexión más alto.

Para determinar este factor, no existe un método preciso sin emplear algún equipo de medición que muestre la reflexión de la pared, como el reflectómetro. En la práctica, con proyectos que no requieren una precisión de la reflexión y a falta de un instrumento

de medición, este dato debe obtenerse de forma visual y estimando la tonalidad de la pared. La empresa Philips propone una ayuda para seleccionar el coeficiente de reflexión a utilizar, con base en el color de la superficie, esta ayuda se muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2.2: Factor de reflexión

Color de Superficie	Factor de reflexión
Claro	70-90
Medio claro	40-60
Oscuro	20-40

(Philips, LAC-online)

Sin embargo, el valor a seleccionar varía dependiendo de la experiencia de la persona, porque cada uno tiene una percepción de la claridad de los colores diferente; por lo tanto, los cálculos pueden variar en este aspecto.

Otro factor que influye directamente en la iluminación es el polvo, el cual esta presente en todas las áreas independientemente de la limpieza que se tenga.

La capacidad del polvo para adherirse a los objetos, lo hace uno de los factores principales que afectan directamente el nivel de iluminación, ya que se puede considerar que al adherirse a las paredes reduce su factor de reflexión. Y al adherirse al dispositivo de iluminación bloquea el flujo luminoso proveniente de este.

En el caso de los LEDs y las lámparas fluorescentes, un factor determinante en el nivel de iluminación es la temperatura, la cual afecta directamente en la reducción o el incremento del flujo luminoso emitido por estos dispositivos, al ser una temperatura elevada o baja, respectivamente. Para los focos incandescentes un incremento en la temperatura del filamento provoca que el flujo luminoso se incremente, aunque esto reduce la duración del filamento.

También se puede considerar como otro factor determinante del nivel de iluminación al voltaje de alimentación, ya que para todos los dispositivos de iluminación, una reducción del voltaje de alimentación implica una reducción del flujo luminoso, por esta

razón se debe asegurar que los niveles de voltaje de alimentación corresponden a los establecidos por los fabricantes de los dispositivos de iluminación.

En lo que respecta al factor de reflexión de las paredes, el polvo y el efecto de la temperatura, estos son empleados para determina el factor de mantenimiento y el coeficiente de utilización, los cuales son utilizados para el calculo de la iluminación.

2.3 Cálculo de la iluminación

Existen diversas formas para el cálculo del número de dispositivos que iluminarán un área, y actualmente en la mayoría de los casos se emplea un software para el diseño de la iluminación, entre los que se encuentran:

-El Dialux en todas sus versiones, que integra la base de datos de la mayoría de las compañías más importantes en iluminación.

-Simcli, elaborado por la Universidad Autónoma de Puebla, en el cual se pueden calcular algunos de los datos que las compañías no proporcionan para el cálculo de la iluminación.

También existen otros software para el cálculo de la iluminación de compañías fabricantes de iluminación, estas sólo traen en su base de datos las características de sus lámparas de la compañía creadora y no se puede cargar una nueva base de datos de lámparas ajenas a las compañías, lo que dificulta su empleo.

En los casos en que no se disponga de un software para determinar el número de dispositivos de iluminación, es necesario hacerlo de forma manual, para esto se debe emplear, ya sea el método de punto por punto o el método de los lúmenes, los cuales conforman la base del cálculo por medio de software de iluminación.

El método de Punto a Punto resulta ser el método más laborioso, ya que se requiere de un gran número de operaciones por el uso de un número de puntos muy grandes y cercanos, para que la intensidad luminosa sea la adecuada en un área determinada.

En este método se emplea la Fórmula 2.1, para calcular la iluminancia en un punto colocado debajo de la fuente de luz.

$$E = \frac{\phi}{d^2} \quad [\text{lux}] \quad 2.1$$

Esta ecuación también se utiliza para calcular la iluminancia en un punto horizontal a la fuente luminosa. Considerando el ángulo en el cual se sitúa el punto, la ecuación resulta:

$$E_h = \frac{I \cos^3 \alpha}{(d \cos \alpha)^2} \quad [\text{lux}] \quad 2.2$$

Como se deben considerar todos los puntos, también se debe emplear la fórmula de iluminancia vertical:

$$E_v = \frac{(I)(\text{Sen} \alpha)(\text{Cos}^2 \alpha)}{(d \text{Cos} \alpha)^2} \quad [\text{lux}] \quad 2.3$$

Pero las ecuaciones del método de los puntos no consideran los factores que influyen en la iluminación y requiere de muchos puntos analizados, haciendo que este método sea demasiado laborioso y tardado para un proyecto de iluminación si se requiere realizar de forma manual.

Por otro lado el Método de los Lúmenes, es más utilizado para proyectos de iluminación por su facilidad y rapidez para poder realizar el cálculo de forma manual, ya que algunas veces se requiere de un cálculo rápido.

En el Método de los Lúmenes se consideran la mayoría de las variables de la habitación, las cuales están contenidas en el coeficiente de utilización y en el factor de mantenimiento, variables que serán analizadas con mayor detalle posteriormente. En el

Método de los Lúmenes se utiliza la fórmula 2.4 con la cual se determina el flujo luminoso total necesario para iluminar un área.

$$\phi_{total} = \frac{(E * l * a)}{(C.U * F.M)} \quad [\text{lm}] \quad 2.4$$

El resultado de la formula 2.4 ayudara a determinar el número de luminarias o lámparas necesarias para iluminar un área, para este caso se emplea la fórmula 2.5:

$$N = \frac{\phi_{total}}{\phi_{Di}} \quad 2.5$$

El flujo luminoso total del dispositivo de iluminación, es proporcionado por el fabricante en los datos técnicos del dispositivo.

En caso que los dispositivos de iluminación sean colocados en luminarias, es necesario conocer el factor de flujo luminoso emitido por la luminaria, el cual es el porcentaje de luminosidad reflejada por la luminaria, y varía con el modelo siendo un dato que proporciona el fabricante. Para el cálculo número de luminarias se emplea la fórmula 2.6:

$$N = \frac{\phi_{total}}{(\phi_{Di} * FfLum)(N_{LL})} \quad 2.6$$

Para el cálculo del número de dispositivos de iluminación, se puede emplear la fórmula simplificada en la que se sustituye la fórmula 2.4 de flujo luminoso total, en la fórmula 2.5 de número de luminarias quedando de la siguiente forma:

$$N = \frac{(l * a * E)}{(\phi_{Di} * C.U * F.M)} \quad 2.7$$

Aunque para el cálculo de la iluminación, ya sea empleando las fórmulas o un software de iluminación, es necesario conocer la dimensión del área a iluminar.

2.3.1 Dimensión del espacio a iluminar y la altura útil

Para obtener las dimensiones del área a iluminar, se puede observar el plano arquitectónico del edificio, fábrica o residencia. El plano arquitectónico proporcionara el largo, ancho y altura del local; sirviendo también, cómo una guía de los espacios que se desea iluminar.

Aunque el plano arquitectónico suele ser proporcionado por el usuario, en ocasiones este no se encuentra disponible y se debe realizar un plano provisional para determinar las dimensiones del local.

La altura útil, permite observar la porción de espacio real que queremos iluminar debido a que no se requiere iluminar por completo la habitación; es decir, hay partes que no requieren de tanta luz, como el techo o el piso, sólo el área de trabajo requiere de una iluminación más uniforme e intensa.

Para calcularla, se requiere conocer la altura del local a iluminar, la altura del plano de trabajo y la altura de la luminaria.

Los datos anteriores servirán para calcular la altura útil de área, la cual, varía en cada sección de la casa utilizando la fórmula 2.8:

$$h_U = h_T - h_t - h_{Di} \quad [m] \quad 2.8$$

La altura de la luminaria es la distancia que hay entre el techo y la fuente de luz. Se sugiere que la luminaria se encuentre lo más próxima al techo para evitar el deslumbramiento que en muchas ocasiones resulta ser algo incómodo para las personas; y en lugares de actividades importantes puede resultar en una distracción.

El deslumbramiento puede corregirse utilizando difusores, debido a que estos provocan una refracción en sus paredes haciendo que la luz no llegue directamente a los ojos, haciendo que el brillo se limite al material del difusor.

Éste puede estar hecho de polímeros plásticos o resinas en forma de una pantalla con prismas dibujados para dejar pasar una luz refractada en el material, o puede ser

de metal en forma de rejilla que funciona cómo una sombra, para que se pueda ver directamente a las luminarias.

Por otro lado, la colocación de las luminarias cerca del techo favorece a disminuir el número de luminarias a utilizar. Lo anterior se ve influido por el índice del cuarto y su respectivo factor de utilización, los cuales serán tratados mas adelante.

Cabe mencionar que en el caso de la iluminación para las áreas especiales, se recomienda que la luminaria este colocado varios centímetros debajo del techo y no embutida en él; porque entre más cerca esté la luminaria al área de trabajo, mayor es la iluminación y por lo tanto, menos focos o lámparas se utilizarán. Con respecto al efecto del deslumbramiento, se deben aplicar las medidas antes mencionadas.

2.3.2 Obtención del coeficiente de utilización

Para utilizar de forma manual la ecuación 2.1 correspondiente al método de los lúmenes, es necesario determinar el coeficiente de utilización, el cual como lo menciona SIMCLI en sus apuntes de iluminación ^[7], es “el porcentaje de flujo luminoso proveniente de una lámpara o luminaria que efectivamente llega hasta el plano de trabajo”.

Generalmente el coeficiente de utilización es proporcionado por el fabricante en una tabla donde se muestran distintos valores de coeficiente de utilización, los cuales dependen del tamaño del cuarto y del factor de reflexión de las paredes, techo y piso de la habitación. Para determinar el valor correcto del Coeficiente de Utilización se emplea el siguiente procedimiento.

Cuando la tabla del coeficiente de utilización esta en función del índice del cuarto, se deben conocer las dimensiones del área a iluminar y la altura útil calculada por medio de la formula 2.8, estos valores deben ser sustituidos en la formula 2.9, para obtener el factor de área (K).

$$K = \frac{l * a}{h_u (l + a)} \quad 2.9$$

Posteriormente se encuentra el valor del coeficiente de utilización por medio de una selección cruzada, en la tabla 2.3 se muestra el ejemplo de una tabla de coeficiente de utilización basada en el índice del cuarto.

Tabla 2.3 Tabla del coeficiente de utilización a partir del índice del cuarto

COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN C.U									
PISO		30%				10%			
TECHO		80%		50%		80%		50%	
PARED		50%	30%	50%	30%	50%	30%	50%	30%
INDICE DEL CUARTO k	0.6	0.33	0.28	0.32	0.27	0.32	0.27	0.31	0.27
	0.8	0.42	0.37	0.40	0.36	0.41	0.36	0.39	0.35
	1.0	0.49	0.43	0.46	0.41	0.46	0.41	0.45	0.40
	1.25	0.55	0.49	0.52	0.47	0.51	0.47	0.49	0.46
	1.5	0.559	0.53	0.56	0.51	0.55	0.51	0.53	0.49
	2.0	0.65	0.60	0.61	0.57	0.6	0.56	0.57	0.54
	2.5	0.70	0.64	0.64	0.60	0.63	0.59	0.6	0.57
	3.0	0.72	0.68	0.66	0.63	0.65	0.61	0.62	0.59
	4.0	0.76	0.72	0.70	0.67	0.67	0.64	0.64	0.62
	5.0	0.79	0.76	0.72	0.70	0.69	0.67	0.66	0.64

(Como planificar con LUZ. Lima Velasco Juan Ignacio)

Suponiendo que el resultado de la fórmula 2.5 sea, K igual a 3; con un reflectancia del piso de 30%, en el techo de 50%, en las paredes de 30 % se realiza una selección cruzada como la mostrada en la tabla 2.3 por las líneas claras interceptadas en el cuadro oscuro y se obtiene un coeficiente de utilización de 0.63. Aun que en caso de que el índice del cuarto se localice intermedio a los valores de la tabla es necesario realizar una interpolación lineal.

En algunos casos los valores de coeficiente de utilización están dados con respecto a la Relación de Cavidad del Cuarto (RCR), si ese es el caso, para obtener la relación de cavidad del cuarto, la habitación debe ser dividida en zonas o cavidades, como se observa en la figura 2.2.

La cavidad del techo abarca desde el techo hasta la luminaria, siendo también la altura de la luminaria; la cavidad del cuarto abarca de la luminaria al plano de trabajo y la cavidad del piso del plano de trabajo al piso o la altura del plano de trabajo.

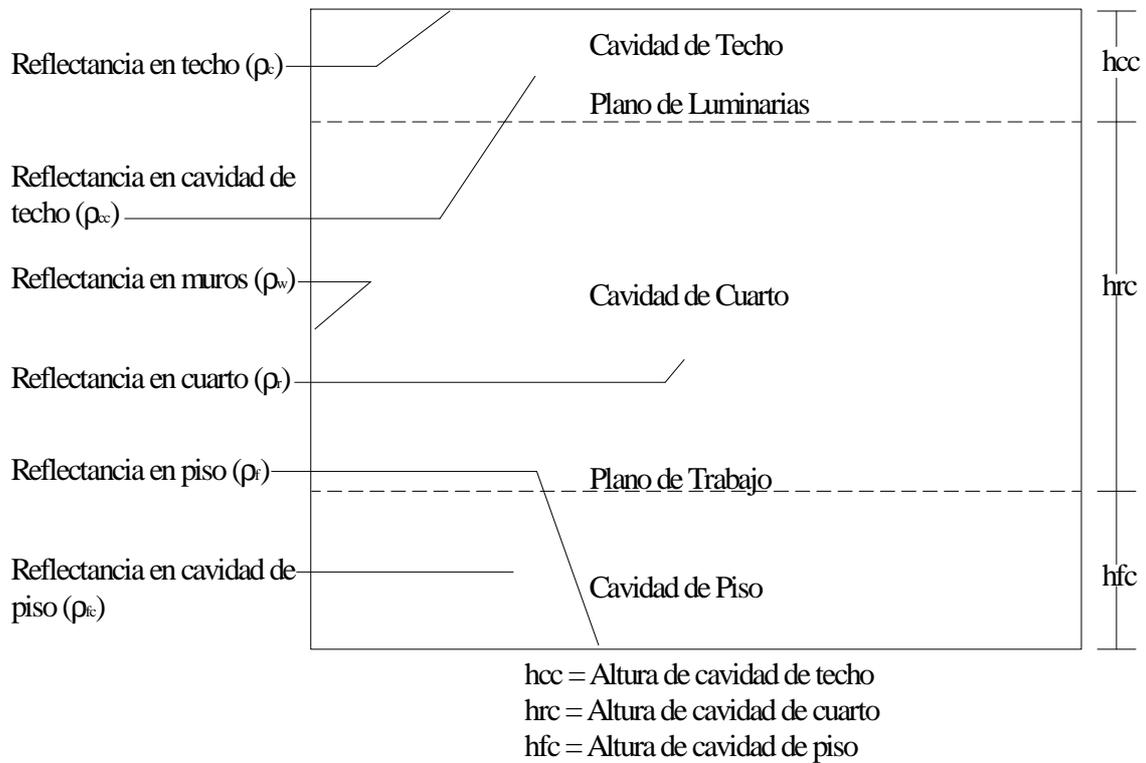


Figura 2.2. Esquema de cavernas (*Apuntes de iluminación Simcli*)

Posteriormente se calcula la altura de la caverna del cuarto, la cual, viene a ser la altura útil ya antes mencionada. Partiendo de este valor se obtiene la relación de la caverna de cuarto mediante la fórmula:

$$RCR = \frac{5h_{rc}(l + a)}{(l)(a)} \quad 2.10$$

También se puede calcular la relación de caverna de techo y la relación de la caverna del piso, pero estos valores no son utilizados para el cálculo de Coeficiente de Utilización con las tablas.

Posteriormente, se emplea la tabla proporcionada por el fabricante en relación al RCR de la misma forma que en el caso de tabla de Coeficiente de utilización en relación al índice del cuarto (K).

Cabe mencionar que en el caso de las tablas de coeficiente de utilización con relación al índice del cuarto, entre mayor sea el valor de K , mas grande es el cuarto. Y en el caso de la tabla de Coeficiente de utilización con relación al RCR , entre menor sea el valor de RCR el cuarto es de mayor tamaño. En tales casos, el coeficiente de utilización que debe ser sustituido en la fórmula 2.7 es mayor, dando como resultado un número de luminaria menor, lo cual se puede utilizar como una comprobación de lo referido en el apartado 2.3 con relación a la altura de la luminaria respecto del techo.

Aunque los datos esenciales son proporcionados por el fabricante para realizar el cálculo del número de dispositivos de iluminación empleando el método de los lúmenes, existen casos como el de los LEDs en los que el coeficiente de utilización no se proporciona; pero es posible calcularlo por medio de ecuaciones que han sido recopiladas por la Illuminating Engineering Society of North America IESNA [3].

Para calcular el C.U. de esta forma, se emplean los cálculos correspondientes al RCR , con lo que el cuarto es dividido en zonas o cavidades cómo se observa en la figura 2.2. Es importante delimitar dónde comienza cada cavidad debido a que del factor de forma de cada cavidad depende el cálculo correcto.

Debe tomarse en cuenta que en las cavidades dispuestas en la figura 2.2, algunas de las paredes son de origen virtual y no representan una superficie física concreta, ya que en la práctica, algunas de las secciones de las paredes e incluso paredes completas de la cavidad no son reales. Para tales casos, se considera que la pared virtual existe físicamente. Comprender lo anterior es necesario para completar los cálculos cuando el fabricante no proporciona el Coeficiente de utilización.

En esta etapa de los cálculos, se puede obtener la reflectancia efectiva de la cavidad del techo y del piso, por medio de la formula 2.11.

$$\rho = \frac{\rho_B \rho_W f \left[2 \frac{A_B}{A_W} (1-f) - f \right] + \rho_B f^2 + \rho_W \left(\frac{A_B}{A_W} \right) (1-f)^2}{1 - \rho_B \rho_W \left(\frac{A_B}{A_W} \right) (1-f)^2 - \rho_W \left[1 - 2 \left(\frac{A_B}{A_W} \right) (1-f) \right]} \quad 2.11$$

Para la obtención de la reflectancia base, se debe definir para cuál cavidad se está obteniendo la reflectancia efectiva; si es para el techo, la reflectancia base será la del techo y si es para el piso se toma como reflectancia base la del piso.

El Área de la Base, es el área del techo o del piso, dependiendo de la base de referencia seleccionada para el cálculo. El área de la base se obtiene utilizando la fórmula 2.12, la cual es la formula del área del rectángulo; pero dado que la medida del techo y el piso para en una habitación generalmente son simétricas entre si, puede calcularse sólo una y utilizarse para el cálculo de las dos reflectancias efectivas por medio de la siguiente fórmula.

$$A_B = l * a \quad [m^2] \quad 2.12$$

En el área de las paredes de la cavidad se utiliza nuevamente la fórmula del área del rectángulo; recordando que una cavidad esta constituida por algunas paredes virtuales, se tomara cómo la suma del área de las cuatro paredes, ya sean reales o virtuales quedando la fórmula 2.13, para el área de las paredes de la cavidad del techo como:

$$A_{WT} = 2(l * h_{Di}) + 2(a * h_{Di}) \quad [m^2] \quad 2.13$$

Y para el área de las paredes de la cavidad del piso, sólo se cambia la altura de la luminaria por la altura del plano de trabajo quedando:

$$A_{WP} = 2(l * h_t) + 2(a * h_t) \quad [m^2] \quad 2.14$$

El factor de forma de la cavidad del techo y del piso, se obtiene dependiendo de la cavidad base seleccionada y empleando la formula 2.15, recordando que la cavidad base es la del techo o la del piso.

$$f = \frac{2}{\pi xy} \ln \left[\frac{(1+x^2)(1+y^2)}{(1+x^2+y^2)} \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{2}{\pi xy} (1+x^2)^{\frac{1}{2}} \arctan \left[\frac{y}{(1+x^2)^{\frac{1}{2}}} \right] + \frac{2}{\pi y} (1+y^2)^{\frac{1}{2}} \arctan \left[\frac{x}{(1+y^2)^{\frac{1}{2}}} \right] - \frac{2}{\pi x} \arctan(y) - \frac{2}{\pi y} \arctan(x) \quad 2.15$$

Las variables x y y de la fórmula anterior se obtienen utilizando las fórmulas 2.16 y 2.17, debiendo obtenerse x y y para el techo y para el piso, ya que la reflectancia efectiva se calculará para las dos cavidades.

$$x = \frac{\text{largo de la cavidad base}}{\text{altura de la cavidad}} \quad 2.16$$

$$y = \frac{\text{ancho de la cavidad base}}{\text{altura de la cavidad}} \quad 2.17$$

El largo y ancho de la cavidad son las obtenidas del plano arquitectónico de la casa y se traduce cómo el largo y el ancho de cada habitación en caso de que las áreas sean simétricas entre si.

Por otra parte, si el techo y el piso son simétricos entre sí, pero se observa la presencia de una viga de soporte, se recomienda que la luminaria quede por debajo de la altura de la viga; y en el caso de que la viga sobresalga demasiado del techo se recomienda que se tome como dos áreas distintas de una habitación, como se observa en la figura 2.3.

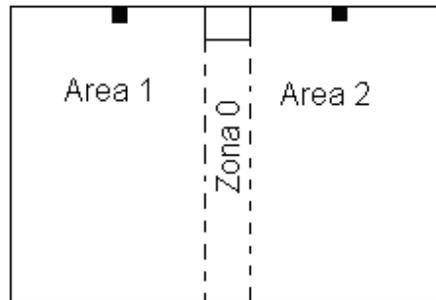


Figura 2.3 División de la habitación con presencia de vigas
(Luis Felipe Palomeque Chacón)

La zona 0 mostrada en la figura 2.3 es el espacio debajo de la viga al cual no se le pueden agregar luminarias, pero debido a la reflexión de la luz en esta sección la iluminación será uniforme. La iluminación en la zona 0 se puede calcular por medio del método de los puntos en caso de ser requerido.

En el caso de que la superficie del techo no se encuentre de forma horizontal, como se ejemplifica en la figura 2.4

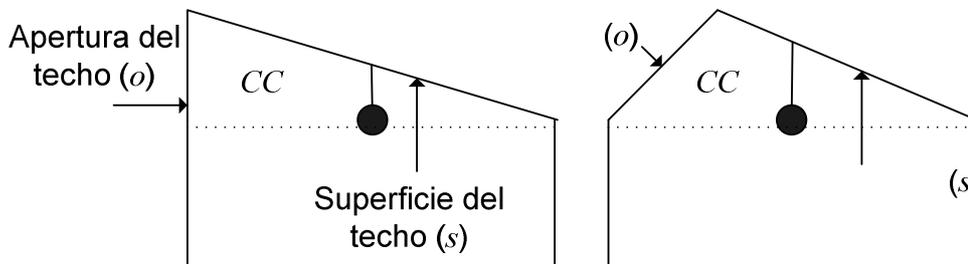


Figura 2.4 Ejemplificación de techos no horizontales (Luis Felipe Palomeque Chacón)

Para este caso se debe emplear la siguiente fórmula para el cálculo de la reflectancia efectiva del techo:

$$\rho_{CC} = \frac{\rho_T}{\frac{A_S}{A_O} - \rho_T \left(\frac{A_S}{A_O} - 1 \right)} \quad 2.18$$

Para el cálculo de la reflectancia promedio de la cavidad del piso cuando el techo no es horizontal al piso, se siguen los procedimientos concernientes a la fórmula 2.11 vista con anterioridad en este apartado.

El siguiente paso es el cálculo del flujo zonal, que se obtiene con base a la intensidad luminosa de la fuente de luz y a la constante zonal mediante Tabla 2.4:

Tabla 2.4 Constante zonal

Zona	Ángulo	K _Z
1	5	0.095
2	15	0.283
3	25	0.463
4	35	0.628
5	45	0.774
6	55	0.897
7	65	0.993
8	75	1.058
9	85	1.091
10	95	1.091
11	105	1.058
12	115	0.993
13	125	0.897
14	135	0.774
15	145	0.628
16	155	0.463
17	165	0.283
18	175	0.095

(IESNA Handbook, novena edición)

Los valores anteriores son sustituidos en la siguiente fórmula:

$$\phi_{ZONAL} = I_Z * K_Z \quad [lm] \quad 2.19$$

Para tener una mejor visualización de los ángulos correspondientes a la tabla de constante zonal, en la figura 2.5 se muestra la posición que los ángulos ocupan en un punto de luz, de forma física.

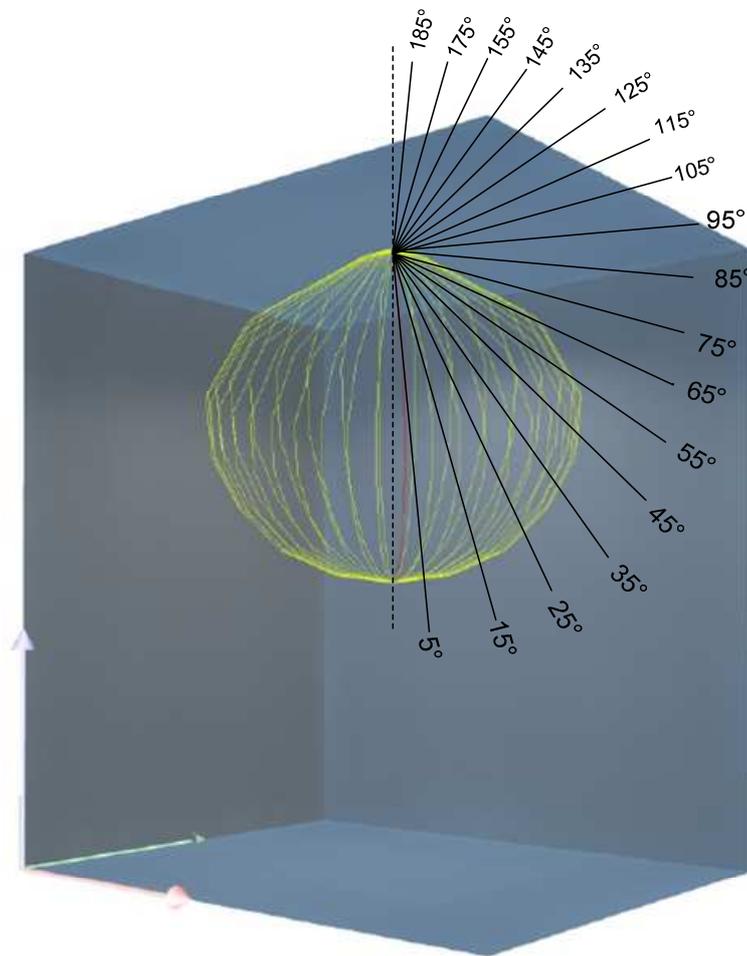


Figura 2.5 Representación física de los ángulos de la tabla de constante zonal
(Luis Felipe Palomeque Chacón)

Para obtener la intensidad en cada uno de los ángulos, se debe conocer la forma en que se lee la gráfica de distribución luminosa que es proporcionada por el fabricante.

A continuación se observa el siguiente ejemplo.

Un LED de la marca SunLedUsa, con número de identificación XZCW10X95W que tiene una intensidad luminosa de 16 cd y cuya gráfica de distribución luminosa se muestra en la figura 2.6, con un flujo luminoso base de 1 lm y que se requiere encontrar la intensidad luminosa a un Angulo de 30°:

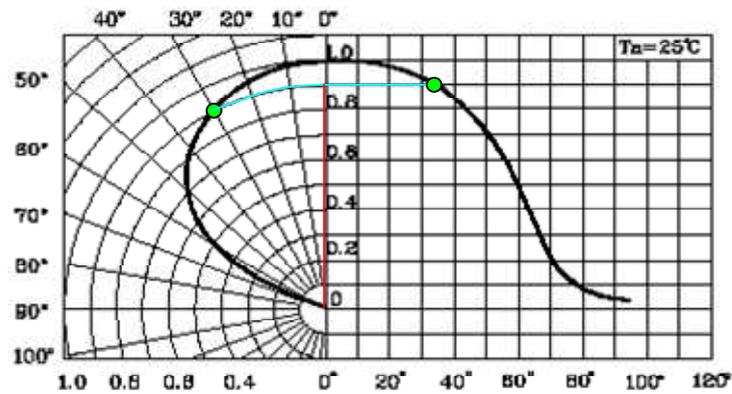


Figura 2.6 Gráfica de distribución luminosa del LED XZCW10X95W (SunLedUsa)

Cabe mencionar que la gráfica de distribución luminosa se puede encontrar en múltiples presentaciones; una, en forma de coordenadas polares, otra en plano cartesiano y como combinación de ambas, mostrado en la figura 2.6. También la escala que representa la intensidad luminosa* puede estar dada en porcentajes de la intensidad luminosa o directamente por la intensidad luminosa dividida entre mil lúmenes

En el ejemplo se requiere encontrar la intensidad luminosa a 30°. Por lo tanto, se debe ubicar en la posición de los ángulos para el caso de las coordenadas polares y en las abscisas en el plano cartesiano, ubicando el ángulo de 30° como se observa en la figura 2.6; y siguiendo hacia las ordenadas donde se observa que para el Ángulo de 30° ésta se sitúa en 0.92, debido a que esta gráfica está dada en porcentajes de la intensidad luminosa†, se multiplica este valor por la intensidad luminosa total.

$$I_{30^\circ} = 0.92 * 16cd = 14.72$$

* La escala en coordenadas lineales generalmente está colocada en el eje de las ordenadas y en el caso de las coordenadas polares, está colocada en el centro del plano.

† En caso de que la escala que representa la intensidad luminosa esté dada en cd/klm, para obtener la intensidad luminosa real sólo se necesita multiplicar el valor encontrado por mil lúmenes.

De esta forma se obtiene la intensidad luminosa para los ángulos que se requiera conocer. El flujo total emitido por el dispositivo de iluminación es calculado con la sumatoria de los flujos zonales, cómo se observa la fórmula 2.20.

$$\phi_{Di-T} = \sum_{n=1}^{18} \phi_{zonal} \quad [lm] \quad 2.20$$

En la fórmula 2.20 claramente se observa que es el flujo emitido por la luminaria; pero si la lámpara utilizada no se encuentra empotrada en una luminaria, esta fórmula daría cómo resultado el flujo total de la lámpara.

Para obtener el flujo luminoso hacia arriba, se suma el flujo luminoso a partir de la zona 10 hasta la zona 18.

$$\phi_{up} = \frac{1}{\phi_{Di}} \sum_{n=10}^{18} \phi_{zonal} \quad [lm] \quad 2.21$$

Y para el flujo hacia abajo, se realiza la sumatoria del flujo luminoso de la zona 1 a la zona 9:

$$\phi_{dawn} = \frac{1}{\phi_{Di}} \sum_{n=1}^9 \phi_{zonal} \quad [lm] \quad 2.22$$

La componente directa del plano de trabajo, como lo menciona SIMCLI en sus apuntes de iluminación ^[7], se refiere a “la fracción de flujo hacia a bajo de la luminaria que incide directamente sobre el plano de trabajo” y si no se utiliza una luminaria, se transformaría en el flujo hacia abajo de la lámpara.

Para calcular la componente directa, primero se obtiene el multiplicador zonal, realizando el producto de la relación de cavidad del cuarto por las constantes de multiplicador zonal que se observan en la tabla 2.5.

Tabla 2.5. Constantes de multiplicador zonal

Zona (N)	A	B
1	0	0
2	0.041	0.98
3	0.070	1.05
4	0.100	1.12
5	0.136	1.16
6	0.190	1.25
7	0.315	1.25
8	0.640	1.25
9	2.10	0.80

(IESNA Handbook, novena edición)

Las constantes A y B se sustituyen en la siguiente fórmula.

$$K_{GN} = e^{-A*RCR^B} \quad 2.23$$

Se sustituye el valor en la ecuación 2.24 la cual corresponde a la componente directa y se refiere a la fracción del flujo luminoso que incide directamente en el plano de trabajo.

$$D_G = \frac{I}{(\phi_{dawn})(\phi_{Di})} \sum_{n=1}^9 K_{GN} \phi_N \quad 2.24$$

Con el valor de la relación de cavidad del piso RCR se procede a calcular el factor de forma entre la cavidad del techo y piso:

$$f_{cc-fc} \cong 0.026 + 0.503e^{-(0.27)(RCR)} + 0.47e^{-(0.119)(RCR)} \quad 2.25$$

La fórmula anterior servirá para calcular los parámetros de la relación de reflectancia de la cavidad del cuarto y de la cavidad del techo y piso, cuyas formulas se muestran a continuación.

$$C_0 = C_1 + C_2 + C_3 \quad 2.26$$

$$C_1 = \frac{(1 - \rho_W)(1 - f_{cc \rightarrow fc}^2)RCR}{2.5\rho_W(1 - f_{cc \rightarrow fc}^2) + (RCR)(f_{cc \rightarrow fc})(1 - \rho_W)} \quad 2.27$$

$$C_2 = \frac{(1 - \rho_{cc})(1 + f_{cc \rightarrow fc})}{1 + (\rho_{cc})(f_{cc \rightarrow fc})} \quad 2.28$$

$$C_3 = \frac{(1 - \rho_{fc})(1 + f_{cc \rightarrow fc})}{1 + (\rho_{fc})(f_{cc \rightarrow fc})} \quad 2.29$$

Teniendo los valores previamente medidos y calculados de la habitación, se procede a implementar los resultados de las ecuaciones anteriores, para el cálculo del coeficiente de utilización de la lámpara a emplear en el proyecto de iluminación.

$$C.U = \frac{2.5\rho_W C_1 C_3 (1 - D_G)(\phi_{dawn})}{RCR(1 - \rho_W)(1 - \rho_{fc})C_0} + \frac{\rho_{cc} C_2 C_3 (\phi_{up})}{(1 - \rho_{cc})(1 - \rho_{fc})C_0} + \left[1 - \frac{\rho_{fc} C_3 (C_1 + C_2)}{(1 - \rho_{fc})C_0} \right] * \frac{D_G(\phi_{dawn})}{1 - \rho_{fc}} \quad 2.30$$

Cómo las ecuaciones anteriores requieren de un cálculo minucioso y una especial atención para no cometer un error en las operaciones. Estos pueden realizarse de forma manual o con la ayuda del software Microsoft Excel o algún otro software que pueda realizar este cálculo; y así, minimizar los errores y agilizar las operaciones, tomando en cuenta el introducir los valores y las fórmulas con sumo cuidado para no errar en el resultado.

2.3.3 Obtención del factor de mantenimiento

El factor de mantenimiento o *Light Loss Factor* (LLF) nos indica la depreciación de la intensidad luminosa durante todo el período de operación de la luminaria e incluye factores en los que no se tiene el control y los que sí, cómo lo señala la IESNA ^[3].

En los factores no controlables se encuentran la reducción de la luz por efecto de la temperatura; la disminución del voltaje en la lámpara, en el cual, entra la selección adecuada del balastro, si este no es el adecuado existe una disminución del flujo luminoso.

En los casos donde se utilizan luminarias, éstas deben ser reemplazadas cuando pasa su tiempo de vida debido a los factores ambientales que van degradando la reflexión de las paredes de las luminarias.

Dentro de los factores no controlables también se encuentra la disminución del flujo luminoso a través de sus horas de uso, también conocida cómo *Lamp lumen Depreciation* (LLD), este valor es proporcionado por el fabricante en tablas o en graficas. En el caso de los LEDs es proporcionado generalmente en una grafica conocida como grafica de tiempo de vida vs. degradación de flujo luminoso.

Cabe mencionar que cuando la degradación de flujo luminoso es del 70% o menor, se recomienda que los dispositivos de iluminación sean reemplazados ^[3].

Dentro de los factores controlables se encuentran: La presencia de polvo que se acumula por la estática que genera la luminaria *Luminaries Dirt Depreciation* (LDD) y la presencia de suciedad en las paredes conforme pasa el tiempo, el *Room Surface Dirt Depreciation* (RSDD).

Para obtener el RSDD se observa en la siguiente gráfica el nivel de suciedad; se selecciona el período en que se realiza el mantenimiento; y se estima el porcentaje de depreciación por suciedad aproximado para ese tiempo.

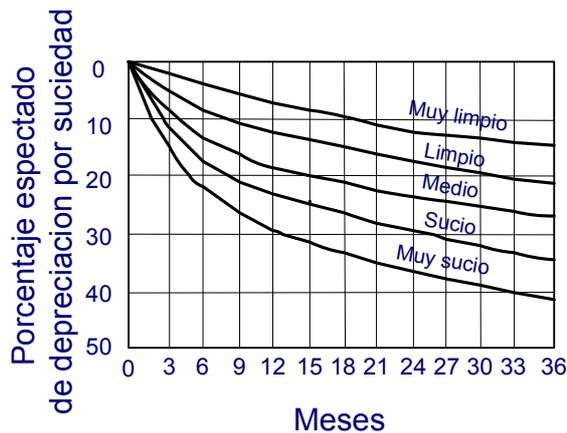


Figura 2.7 Gráfica de porcentaje de suciedad. (IESNA *lighting handbook*, novena edición)

Después de haberse determinado el porcentaje se dirige a la tabla de RSDD mostrada en el Anexo B.1; se selecciona el tipo de iluminación con que se trabaja; se posiciona en la columna del porcentaje de depreciación por suciedad antes obtenido; y con el RCR se obtiene el valor de RSDD por selección cruzada. En caso de que los valores no se encuentren en el rango se debe emplear la interpolación.

El LLF se obtiene por medio del producto de la depreciación luminosa de la lámpara; la depreciación por suciedad de la luminaria; la depreciación de las paredes y todas las pérdidas que puedan localizarse en la iluminación cómo lo indica la IESNA ^[3].

Estos valores son calculados en laboratorios especializados en iluminación, mediante pruebas constantes en las que la lámpara es sometida a pruebas destructivas, en un ambiente controlado a una temperatura constante para determinar la depreciación de la intensidad luminosa a lo largo de su vida útil y es proporcionada en una gráfica de vida útil.

En las pruebas de suciedad en la luminaria se realizan pruebas en diferentes ambientes con polvo y suciedad, pero puede obtenerse de forma estimada por medio de la fórmula 2.31:

$$LDD = e^{-At^B} \quad 2.31$$

Siendo:

t .- El tiempo en años, por ejemplo: 2 años 6 meses serían 2.5 años

A y B .- Constantes dadas en la Tabla 2.6:

Tabla 2.6: Factores de cálculo para el LDD

Categoría de Mantenimiento de luminaria	B	A				
		Muy limpio	Limpio	Medio	Sucio	Muy sucio
I	0.69	0.038	0.071	0.111	0.162	0.301
II	0.62	0.033	0.068	0.102	0.147	0.188
III	0.70	0.079	0.106	0.143	0.184	0.236
IV	0.72	0.070	0.131	0.216	0.314	0.452
V	0.53	0.078	0.128	0.190	0.249	0.321
VI	0.88	0.076	0.145	0.218	0.284	0.396

(IESNA Handbook, novena edición)

La categoría de la luminaria se refiere a las distintas características de ésta y puede encontrarse en el Anexo B.2. El LDD también puede obtenerse por medio de sus gráficas, las cuales, son mostradas en el Anexo A.3, que son obtenidas de por medio de los cálculos anteriores.

Para tomarse cómo una guía en la determinación del nivel de suciedad se puede considerar lo siguiente:

- Locales muy limpios en las salas de cirugía de los hospitales, donde se llevan a cabo limpiezas periódicas con lapsos de mantenimiento cortos; porque se requiere que el lugar se encuentre lo más estéril posible.

- Los lugares limpios con un mantenimiento constante regular como, algunas industrias, oficinas y en algunas casa.
- En los lugares con limpieza media se pueden considerar, la cocina de los hogares y las zonas exteriores.

Los locales sucios y muy sucios se encuentran donde no existe un mantenimiento constante.

La determinación de la limpieza de los locales se realiza a criterio de las personas, considerando los factores influyentes de los alrededores, la presencia de polvo, humedad, etc.

Posteriormente, los datos obtenidos de las variables controlables y no controlables son multiplicados en si para obtener el factor de mantenimiento o LLF.

2.3.4 Distribución de los dispositivos de iluminación

No tendría sentido el cálculo del número dispositivos de iluminación si son colocados de forma arbitraria. Se deben de distribuir equitativamente en el techo de la zona para que la intensidad de la iluminación sea realmente aprovechada ^[4].

Para determinar el número de dispositivos de iluminación a lo ancho y a lo largo del área, se buscan números que multiplicados entre sí, dé aproximadamente el número total de dispositivos.

Por ejemplo, en un local se necesitan en total de seis lámparas sin luminarias en un área de 3m por 1.5m; por lo tanto, a lo largo estarían ubicadas tres y a lo ancho dos, estos números multiplicados entre si dan un total de seis. De esta forma, se encuentra el esparcimiento de las lámparas.

En los casos en que el número de dispositivos de iluminación sea muy grande y se necesite encontrar el número aproximado de estos a lo largo y a lo ancho del área considerada y que se realice de una forma más rápida, se pueden emplear las fórmulas proporcionadas por la compañía Philips ^[6], las cuales, se muestran a continuación.

Para calcular el número aproximado de dispositivos de iluminación a lo largo:

$$N_L = l \left(\frac{N}{(l * a)} \right)^{1/2} \quad 2.32$$

Y para el número de dispositivos de iluminación a lo ancho se utiliza:

$$N_A = a \left(\frac{N}{(l * a)} \right)^{1/2} \quad 2.33$$

Cabe mencionar, que el empleo de estas fórmulas asegura la distribución equitativa en el techo, pero no aseguran que el número de dispositivos de iluminación calculado coincida con las lámparas distribuidas en el techo.

Para comprobar lo anterior y siguiendo con el ejemplo del local de 3m por 1.5m con 6 luminarias, utilizando las últimas fórmulas anteriores, se tendría que $N_L = 3.465$ y $N_A = 1.73$.

Como se puede apreciar, si se redondean los dos resultados al inmediato superior, se tendría para lo largo cuatro lámparas y para lo ancho dos, dando un total de ocho; por lo tanto, se determina que si se obtiene el número de lámparas a lo ancho y a lo largo con las fórmulas 2.32 y 2.33, se debe redondear al número inmediato, ya sea superior o inferior y acercar el resultado de estas fórmulas al número dispositivos de iluminación calculados*.

Lo importante es que el número de dispositivos de iluminación sea mayor o igual al obtenido por la fórmula 2.7. De otra forma se estaría reduciendo la iluminación, lo cual, se puede comprobar despejando de la fórmula 2.7, la iluminancia:

$$E = \frac{(N)(\phi_{Di} * C.U * F.M)}{(l * a)} \quad 2.34$$

* Existen casos en que el empleo de las formulas 2.32 y 2.33 incrementan en exceso el numero de luminarias, por esta razón solo se deben tomar como una guía para encontrar la distribución correcta del numero de luminarias.

Otra forma de calcular la distribución de los dispositivos de iluminación es la descrita en el manual Westinghouse ^[5], donde se recomienda que el número total dispositivos de iluminación o de luminarias calculadas sea divisible por el número de filas, por ejemplo:

$$\frac{6}{2} = 3$$

Cómo se observa, no existe un método específico para determinar el número de dispositivos de iluminación a lo largo y a lo ancho, pero se debe hallar un número equitativo que vaya de acuerdo con las longitudes del área a iluminar.

Para obtener la separación entre los centros de los dispositivos de iluminación y luminarias, es un procedimiento más específico en el cual se considera el ancho y el largo entre el número de dispositivos de iluminación o luminarias colocadas a lo largo y ancho del área.

Para la separación entre dispositivos de iluminación o luminarias a lo ancho del área se emplea la siguiente fórmula:

$$S_A = \frac{a}{N_A} \quad 2.35$$

Para la separación entre dispositivos de iluminación o luminarias a lo largo del área se emplea la fórmula 2.36:

$$S_L = \frac{l}{N_L} \quad 2.36$$

Y para la distancia de dispositivos de iluminación, es la mitad de la separación de los centros de los dispositivos de iluminación, como se observa en las fórmulas 2.37 y 2.38.

Para el ancho del local:

$$a' = \frac{S_A}{2} \quad 2.37$$

Para el largo del local:

$$b' = \frac{S_L}{2} \quad 2.38$$

En la siguiente figura, se muestra un ejemplo de cómo se distribuyen dispositivos de iluminación o luminarias y cómo se localizan las distancias calculadas en el plano arquitectónico para seis lámparas:

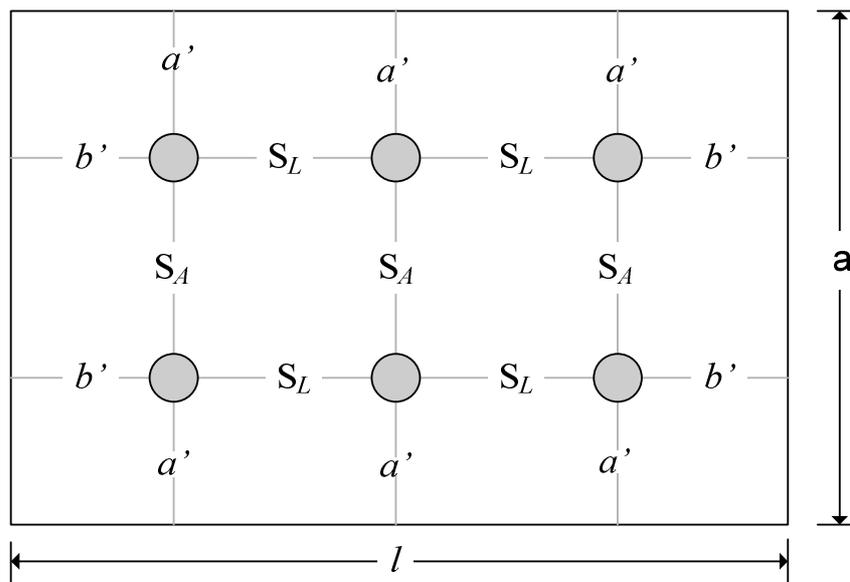


Figura 2.8. Ejemplo de distribución de luminarias (Luis Felipe Palomeque Chacón)

El cálculo de la distribución es el último procedimiento para realizar un proyecto de iluminación, y debe ser aplicado para cada una de las habitaciones o zonas que conforman la casa, la oficina o la industria.

Los cálculos mostrados hasta aquí pueden ser empleados no solo para la iluminación convencional, sino además son aplicables para la iluminación con dispositivos LED, y de los cuales serán tratados en el siguiente capítulo.

REFERENCIAS

- [1] LIMA VELASCO, Juan Ignacio. *Tecnología aplicada en la capacitación y aplicación de los métodos de Alumbrado*. IPN, CECYT No.3, México.1986. p 168.
- [2] GANSLANDT, Rüdiger y HOLFMAN, Harald. *Manual: como planificar con luz*. Editorial Vieweg, edición Erco. España.
- [3] IESNA, *Lighting Handbook, Reference and Application*. 9 th edition. New york, 2000.
- [4] Philips Lighting, *Lighting Manual*, Fifth edition, Netherlands, 1993.
- [5] Westinghouse Electric Corp. *Manual de Alumbrado*. Mediacena Editora Mexicana S.A de C.V, México.1969

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- [6] PHILIPS. *Cursos LAC online*, Brazil.
<http://www.luz.philips.com.mx/sActionLacOnline.do?par=1131:3>
Año de consulta 2010
- [7] SIMCLI. *Apuntes de iluminación Simcli*. Instituto Tecnológico de Puebla
<http://www.simcli-iluminacion.com/apuntes.html>. Año de consulta. 2011

Capítulo III. Iluminación LED

En este capítulo se emplearán las fórmulas descritas en el apartado anterior para encontrar el número de LEDs necesarios en la iluminación de las habitaciones de una casa y se proporciona información referente a los LEDs, considerando los factores que influyen en la vida útil del LED.

Debido a que los LEDs son elementos que proporcionan luz, un proyecto de iluminación que los emplea se debe basar en los métodos usados para otros dispositivos de iluminación, como focos incandescentes y lámparas fluorescentes. Por ello, se debe encontrar la distribución en una habitación y teóricamente la cantidad de iluminación obtenida por el arreglo de los LEDs, teniendo que analizar las habitaciones de la casa a la que se aplicará el proyecto.

Cabe mencionar que para esta tesis el cálculo de la iluminación solo se tomara para la iluminación general de cada habitación, ya que la iluminación específica requiere de otro proceso de cálculo utilizando el método de punto a punto.

3.1 Selección del LED

Debido a una gran variedad de dispositivos existentes en el mercado, el diodo emisor de luz (LED) debe ser seleccionado con sumo cuidado, debido a que sus características varían dependiendo del fabricante.

Siendo un dispositivo que emite luz, como todas las lámparas y focos, los LEDs tienen un flujo luminoso característico, así como también los definen sus características eléctricas.

Comercialmente se pueden encontrar LEDs que trabajan a voltajes pequeños como 3.2 V con una corriente que va de los 350 mA a 1 A, los cuales por su baja potencia consumida no generan mucho calor, también los hay de más de 9.5 V y menos de 40 V con una corrientes de 250 mA a más de 1 A, aunque para estos se debe considerar que cuando mayores sean los valores de alimentación se requiere de dispositivos de disipación de mayor volumen.

Para realizar la selección del LEDs se tomarán como muestra los LEDs, ASMT-Ax31-Nxx00 de Avago Technologies, la familia AADG18080QR412S/3x de Kingbright y la familia BXRA-xxxx de Bridgelux. En la Tabla 3.1 se observan las características luminosas, eléctricas y térmicas para estos LEDs, mostrando los valores típicos de operación.

Tabla 3.1 Características de LEDs muestra.

Familia LED	Temperatura del color	ϕ [lm]	Voltaje [V]	Corriente [mA]	Potencia [W]	R_{θ}^* [°C/W]	Imagen
ASMT-Ax31-Nxx00	Frío	100	3.2	350	1.12	10	
	Neutro	100					
	Cálido	80					
AADG18080 QR412S/3X	Frío	160	4.6	700	3.22	7	
	Neutro	140					
	Cálido	140					
BXRA-X **	Frío	450	9.5	500	4.75	1.4	
		880	12.7	700	8.89	0.8	
		2200	16.2	1500	24.3	0.5	
	Neutro	440	8.9	600	5.34	1.0	
		1020	12.2	1050	12.81	0.7	
		1530	18.3	1050	19.215	0.5	
	Cálido	440	9.5	700	6.651	1.0	
		930	12.2	1050	12.81	0.7	
		1370	18.3	1050	19.215	0.5	
* Para los LEDs ASMT y AADG esta resistencia térmica es de la junta al metal slug, para el BXRA la resistencia térmica es de la junta al casco de aluminio del MCPCB.							
** Solo se tomaron muestras con flujo luminoso bajo, medio y alto debido a la variedad de flujo luminoso de los LED de esta familia							

Si la selección del LED se toma desde la perspectiva del flujo luminoso que proporcionan los LEDs, por medio de la fórmula 2.7 se puede observar que el flujo luminoso del dispositivo de iluminación es el que condiciona el número de dispositivos a utilizar.

Por lo tanto, si se emplean LEDs cuyo flujo luminoso es elevado, el número de dispositivos empleados será menor, lo que constituye una ventaja al momento de ser colocados físicamente en el techo.

Adicional a la selección por flujo luminoso, se debe considerar la resistencia térmica del dispositivo, si la resistencia térmica es baja el calor será transmitido al ambiente de mejor forma y la temperatura interior del LED será baja, lo que permitirá que el flujo luminoso no sufra un decremento severo por causa de la temperatura de operación del LED. Lo anterior se puede comprobar fácilmente por medio de la fórmula 1.4 con

relación a la temperatura juntura y a la temperatura ambiente, despejando la temperatura de juntura de la fórmula 1.4, queda.

$$R_{\theta j-amb} = \frac{(T_J - T_{amb})}{P_D} \quad \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right] \quad 3.1$$

Despejando la temperatura de juntura de la fórmula 3.1, queda:

$$T_J = (R_{\theta j-amb} * P_D) + T_{amb} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad 3.2$$

Considerando una temperatura ambiente de 25°C, la cual es una temperatura base para la realización de pruebas, y la resistencia térmica mostrada en la tabla 3.1 sea de la juntura al ambiente, se tendría que la temperatura de juntura para los LEDs muestreados serian los siguientes:

Tabla 3.2 Temperaturas de juntura a una temperatura ambiente de 25°C

Familia LED	Temperatura del color	Potencia [W]	R_{θ} [°C/W]	T_J [°C]
ASMT-Ax31-Nxx00	Frío	1.12	10	36.2
	Neutro			
	Cálido			
AADG18080QR 412S/3X	Frío	3.22	7	47.54
	Neutro			
	Cálido			
BXRA-xxxx	Frío	4.75	1.4	31.65
		8.89	0.8	32.112
		24.3	0.5	37.15
	Neutro	5.34	1.0	30.34
		12.81	0.7	33.967
		19.215	0.5	34.607
	Cálido	6.651	1.0	31.651
		12.81	0.7	33.967
		19.215	0.5	34.6075

Observando las características de flujo luminoso LEDs de la tabla 3.1 y temperatura de juntura de la tabla 3.2, se puede determinar que los LEDs más adecuados para la instalación son los de la familia BXRA, por que proporcionan un alto flujo luminoso y la reducción del flujo luminoso por causa de la temperatura interna del LED es menor.

Aunque no se debe olvidar que uno de los propósitos de la aplicación LEDs es que existe un ahorro de energía, la cual es producto de la potencia consumida por estos y para conocer de forma estimativa la potencia consumida, se desarrolló la fórmula 2.7 para determinar el número de LEDs necesarios en una habitación de una dimensión de 6 m por 3 m, considerando que el coeficiente de utilización y el factor de mantenimiento sean ideales, obteniéndose la tabla 3.3.

Posteriormente se multiplica el número de LEDs por la potencia que consumen, dando como resultado la potencia total para cada LED muestra. Los resultados se han colocado en la tabla 3.3, con la descripción potencia total.

Tabla 3.3 Potencia consumida de los LEDs muestra.

Familia LED	Temperatura del color*	Flujo luminoso [lm]	Potencia [W]	N**	Potencia total [W]
ASMT-Ax31-Nxx00	Cálido	80	1.25	8	10
	Neutro	100		6	7.5
AADG18080Q R412S/3X	Neutro	140	3.22	5	16.1
	Frío	160		4	12.88
BXRA-xxxx	Frío	450	4.75	2	9.5
		880	8.89	1	8.89
		2200	24.3	1	24.3
	Neutro	440	5.34	2	10.68
		1020	12.81	1	12.68
		1530	19.215	1	19.215
	Cálido	440	6.651	2	13.302
		930	12.81	1	12.81
		1370	19.215	1	19.215
* No se a considerado a los LEDs de la tabla 3.1 con características similares					
**Los valores de esta columna se han redondeado al inmediato superior					

De lo tratado anteriormente, se puede determinar que los LEDs muestra, con mayor flujo luminoso, consumen más energía. Considerando que en esta tesis se pretende mantener el tiempo de vida prospectado por los fabricantes de los LEDs, al utilizarlos de forma individual, es importante considerar también el consumo energético ya que es una de las características que ha beneficiado la implementación del LED.

Por lo tanto en esta tesis se empleara el LED cuya potencia consumida sea menor, y el cual pertenece a la familia de LEDs ASMT-Ax31-Nxx00 de la compañía Avago en las temperaturas del color, blanco neutro y blanco frío.

La ventaja de tener dos LEDs seleccionados con el mismo consumo energético y diferente temperatura del color, permitirá ofrecer al usuario dos opciones para su confort visual.

3.2 Influencia de la temperatura en el flujo luminoso del LED seleccionado

Posterior a la selección del led es necesario analizar con más detalle una de las variables que afectan directamente al rendimiento del LED, la temperatura interna de operación, ya que ésta afecta directamente al flujo luminoso emitido por el LED.

Para obtener el efecto que tiene la temperatura sobre la intensidad luminosa del LED, es necesario contar con la grafica de Intensidad Luminosa vs. Temperatura Ambiente, que es proporcionada por el fabricante y las temperaturas correspondientes del área donde se colocaran los LED.

Considerando la temperatura ambiente del interior de una casa varía constantemente dependiendo del mismo ambiente, se deben tomar muestras de las temperaturas durante el día, pero específicamente en el tiempo en que se estima que se encenderá la iluminación interior.

La prueba de temperatura en las habitaciones se efectuó del 9 de enero al 27 de febrero del 2011 a las 17:00 horas, cada domingo, ya que era el día de la semana en que el cliente podía estar presente al momento de realizar la toma de las lecturas, los resultados obtenidos se muestran en el Anexo B.3.

Considerando que la temperatura del ambiente varía continuamente se obtuvieron los datos de las temperaturas de los últimos 5 años, de la Red Meteorológica del Área Metropolitana (RETMET)^[1].

En este caso se utilizaran las temperaturas registradas a las 17:00 horas y las 18:00 horas para el horario de verano, introduciendo estos datos en el Software Excel se obtuvo que la temperatura máxima alcanzada del 2006 al 2010, fue de 31.5 °C, el 07 de mayo del 2010.

Ya que la vida útil de los LED puede extenderse hasta 100.000 horas aproximadamente, se tomara en cuenta el incremento en la temperatura posible para esta duración.

Datos publicados por el Instituto Nacional de Ecología, estiman que el incremento de la temperatura entre el 2020 y 2080 será de 2 a 4 grados.

Debido a que en un cálculo a largo plazo se deben considerar las condiciones extremas para que no exista ningún problema en el futuro por lo que se empleará el incremento de 4°C sumado los 31.5°C mencionados anteriormente, por lo tanto se estima que la temperatura dentro de 25 años será de 35.5°C.

Realizando las operaciones pertinentes, por medio de una regla de tres se puede estimar la temperatura que alcanzarán las habitaciones para el tiempo considerado, utilizando como base la temperatura más alta registrada en el periodo de prueba, siendo la del día 20 de enero del 2011(ver Anexo B.3), quedando:

Tabla 3.4: Temperatura estimada a 25 años en grados Celsius (°C)

Temperatura Ambiente	Sala	Comedor	Escaleras	Pasillos 1, 2 y 3	Cuarto 1	Cuarto 2	Cuarto 3	Cuarto 4
28.3	23.2	23.0	23.8	23.8	26.3	25.2	25.6	25.6
35.5	29.102	28.852	29.736	29.736	32.991	31.611	32.113	32.113

La zona del baño y la cocina, no se incluyeron en la tabla 3.4 debido a que se han considerado como zonas especiales ya que las temperaturas alcanzadas al momento

de cocinar o de bañarse sufren un incremento, por esta razón se tomaron independientemente estas temperaturas.

En el momento de llevarse acabo las acciones de cocinar y bañarse, el día 6 de marzo del 2011 a las 17:00 se tomaron muestras de temperatura, obteniendo los siguientes resultados: la temperatura máxima alcanzada en el baño fue de 33°C y en la cocina de 25°C cuando la temperatura exterior es de 26.9°C.

Aplicando la regla de tres para determinar la temperatura en la cocina, se tiene que la temperatura aproximada dentro de 25 años es de 32.993°C.

En el caso del baño esta temperatura puede considerarse indeterminada, ya que en caso exista un incremento en la temperatura atmosférica el o los clientes regularan la temperatura a la hora de utilizar la regadera, por lo tanto si perciben que hay calor su reacción será de utilizar el agua más fresca reduciendo o manteniendo la temperatura de la habitación, por lo tanto la temperatura máxima empleada será la actual de 33°C.

Para las áreas exteriores*, debido que existe un influencia directa con la temperatura ambiente se toma como referencia la temperatura más alta registrada a la hora 19:00 sin horario de verano y 20:00 en horario de verano, siendo de 26.8 al cual se le sumaran los cuatro grados extra de temperatura, resultando en 30.8°C.

Para facilitar la localización dentro de la tesis de las temperaturas de las zonas especiales, éstas serán colocadas en la tabla 3.5.

3.5 Temperaturas en las zonas especiales

Zona	Temperatura [°C]
Cocina	32.993
Baño	33
Exterior	30.8

* Las áreas exteriores son: la parte delantera de la casa, la cochera, la zote huela, el balcón y el jardín

Ya teniendo las distintas temperaturas se procede a utilizar la gráfica Intensidad Luminosa vs. Temperatura Ambiente. Pero en este caso la gráfica esta en función de la Temperatura de Juntura como se puede observar en el Anexo A.4.

Debido a que no se conoce con certeza la temperatura de Juntura que alcanza el LED es necesario calcularla, tomando en cuenta que familia LED ASMT-Ax31-Nxx00 debe ser montada en una base PCB para poder ser manipulada.

En el mercado internacional se pueden encontrar diversas bases para LEDs con disipador, pero entre menor sea la resistencia térmica es mejor para la conducción de calor del LED, por esta razón se selecciono la MCPCB de la empresa Bergquist que tiene una resistencia térmica de 4.5 °C/W, siendo escogida la línea Lumiled mostrada en el Anexo C.1, aunque no fue fabricado específicamente para los LEDs de Avago las dimensiones y forma del LED coinciden.

Observando la nota de aplicación 5313 proporcionada por Avago [2], en la cual se especifica el método a seguir para el cálculo de la base del LED con disipador de calor, se obtiene la fórmula de la resistencia térmica de la juntura del LED al ambiente*.

$$R_{\theta J - amb} = R_{\theta J - ms} + R_{\theta pcb - Al} + R_{\theta Al - amb} \left[\frac{^{\circ}C}{W} \right] \quad 3.3$$

Considerando que el LED operará con una potencia baja, no se le adicionaran más dispositivos de disipación de calor. Solo si la temperatura interna es muy alta, pone en riesgo la integridad del LED. Por lo tanto la resistencia térmica del disipador al medio ambiente no será considerada y la resistencia térmica del MCPCB al disipador pasa a ser la resistencia térmica del MCPCB al ambiente quedando la siguiente fórmula.

$$R_{\theta J - amb} = R_{\theta J - ms} + R_{\theta mcpcb - amb} \left[\frac{^{\circ}C}{W} \right] \quad 3.4$$

* Método descrito en el apartado 1.4

Sustituyendo la fórmula 3.1 en la fórmula 3.2 y despejando la temperatura de juntura se obtiene:

$$T_J = \left(R_{\theta J - ms} + R_{\theta mcpcb - amb} \right) P_D + T_{amb} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad 3.5$$

Para obtener la potencia disipada por el LED se emplea la fórmula 1.5, conociendo el I_F de las especificaciones, el cual es de 350 mA y empleando el voltaje típico de operación de 3.2 V indicado por el fabricante. Se ha considerado emplear los valores típicos para evitar el sobrecalentamiento que se pudiera producir al emplear un valor de alimentación mayor y por otro lado asegurar que el LED se mantenga por encima del límite del voltaje mínimo de operación.

Sustituyendo los valores anteriores, se tiene como resultado de la fórmula 1.5 que la potencia disipada por los LEDs es de 1.12 W.

$$P_D = 350\text{mA} * 3.2\text{V} = 1.12\text{W}$$

De las especificaciones eléctricas del LED se toma el valor de la resistencia térmica de la juntura al metal slug ^[2] del LED a 350 mA, siendo de 10 °C/W, sustituyendo este valor junto con la resistencia térmica del MCPCB, la potencia disipada de 1.12 W y la temperatura ambiente estimadas dentro de 25 años para cada área de la casa de las tablas 3.4 y 3.5, en la fórmula 3.3, se obtienen los valores de la temperatura de juntura colocados en la tabla 3.6.

Ya que se tienen las temperaturas de juntura de los led se procede a obtener la salida relativa de luz por medio de la gráfica *Salida Relativa de Luz vs. Temperatura de Juntura* o *Relative Light Output vs. Junction Temperature*, que se encuentra en los datos técnicos del LED en el Anexo C.2.

Con las temperaturas de junta previamente calculadas, se obtiene la salida de luz a las diversas temperaturas ambiente para el LED como se observa en la ampliación 25:1 de esta gráfica en la figura 3.1 para la luz blanca.

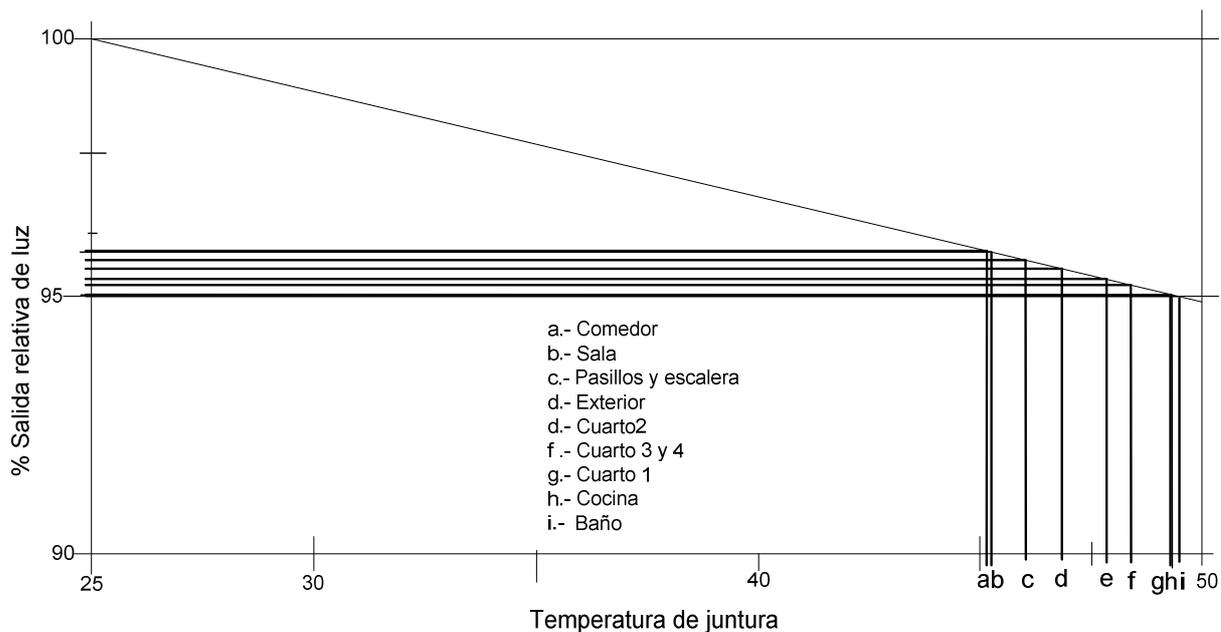


Figura 3.1 Ampliación 25:1 de la una sección de la gráfica de porcentaje relativo de luz

Como se puede observar en la figura 3.1, se encuentran proyectadas las líneas de las distintas temperaturas, de esta forma se obtienen los valores del porcentaje relativo de salida de luz colocados en la tabla 3.6. Los cuales multiplicados por el flujo luminoso total emitido por el LED seleccionado, el cual es de 100 lm, proporcionarán el flujo luminoso empleado en la fórmula 2.7 del método de los lúmenes y cuyo resultado se puede observar en la tabla 3.6.

Tabla 3.6: Temperaturas de juntura y salida relativa de luz

Habitación	T_J [°C]	% relativo de Salida de luz	Flujo luminoso emitido por el LED [lm]
Sala	45.342	95.69	95.69
Comedor	45.092	95.72	95.72
Baño	49.24	94.99	94.99
Cocina	49.233	95.01	95.01
Pasillos 1,2,3	45.976	95.58	95.58
Escaleras	45.976	95.58	95.58
Cuarto 1	49.231	95.02	95.02
Cuarto 2	47.353	95.27	95.27
Cuarto 3	48.353	95.18	95.18
Cuarto 4	48.353	95.18	95.18
Zonas exteriores	47.04	95.45	95.45

De los resultados anteriores, se comprueba que el rendimiento de los LED esta ligado en gran medida a la temperatura ambiente y a la potencia disipada por el led, y debe tomarse en cuenta que este decremento en la intensidad luminosa posteriormente se vera influenciado por el tiempo de vida del LED, como se verá más adelante.

3.3 Cálculo de número de LEDs a utilizar

Utilizando las fórmulas del capítulo anterior se obtiene el número de LEDs necesarios para una adecuada iluminación en cada una de las secciones de la casa siguiendo paso a paso los procedimientos y así lograr un calculo más exacto para la distribución de los LEDs.

Para realizar los cálculos se deben obtener los datos necesarios, las dimensiones del lugar, la obtención de la temperatura ambiente, la temperatura aproximada a la que operará el LEDs, el coeficiente de utilización y el Factor de Mantenimiento o Light Lost Factor.

3.3.1 Dimensión de las habitaciones y confort visual

Las dimensiones de las habitaciones se tomaron del plano arquitectónico de la casa y este es aportado por el cliente o en caso de que no se cuente con el, se tomarán manualmente como se aprecia en el Anexo D.1-a y D.1-b.

El tipo de iluminación que se empleará será de clase directa para todas las habitaciones, ya que se emplearía un número de LEDs menor que en las otras clasificaciones de la iluminación, las cuales se pueden observar en el anexo B.4

En los casos de la altura de las áreas de trabajo, estas fueron tomadas de forma manual, quedando la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Alturas de áreas de trabajo

Objeto	Altura [m]
Mesa cocina	0.72
Mesa comedor	0.77
Sillón de la sala	0.50
Mesa cuarto 1	0.68
Mesa Cuarto 2	0.70
Mesa cuarto 3	0.75
Mesa Cuarto 4	0.72
Mesa del balcón	0.60
Mesa Pasillo-1	0.93
Mesa Pasillo-2 y Pasillo-3	0.90
Zona Baño	0.50
Zona lavadero	0.50
Zona cochera	0.50

Para determinar la altura que tendrá el LED con respecto al techo, se requiere de una evaluación más intensa sobre los efectos que tendría una altura determinada en la disipación del calor. En el caso de estudio solo se empleará una altura de 10 cm, con la cual se considera que se favorece el intercambio de calor del MCPCB con el aire.

Las especificaciones ya conocidas para el confort visual de cada habitación y respecto a las características de la temperatura del color e indicando el grado de

limpieza aproximada que tiene cada habitación, con el objetivo de la tabla 2.1 de iluminación recomendada, se han obtenido los valores de la tabla 3.8.

Tabla 3.8: Especificaciones de cada habitación

Sección	Temperatura	Iluminación recomendada General	Limpieza del cuarto
Baño	Neutro	100 lux	Medio
Sala	Neutro	100 lux	Limpio
Comedor	Neutro	100 lux	Limpio
Cocina	Neutro	300 lux	Medio
Cuarto1	Neutro	100 lux	Limpio
Cuarto2	Neutro	100 lux	Limpio
Cuarto3	Neutro	100 lux	Limpio
Cuarto4	Neutro	100 lux	Limpio
Pasillo 1, 2,3	Neutro	100 lux	Limpio
Escaleras	Neutro	100 lux	Limpio
Zonas exteriores	Neutro	50 lux	medio

De acuerdo a la Tabla anterior se prefiere una temperatura del color neutra para el LED, debido a que proporciona una luz que tiende al amarillo con la cual se siente más comodidad en el ambiente. Esto justifica que los focos de LEDs ofrecidos en el Programa de Crédito para la Adquisición de Lámparas LEDs del FIDE pertenezcan a una temperatura de color cálida.

Con respecto a la limpieza de las habitaciones, realizando una aclaración respecto al baño y a la cocina, se tomó el grado de limpieza media, no por falta de limpieza, sino por los distintos residuos que se pudieran producir.

En la cocina como existe una fuente de calor que produce humo, y al cocinar los alimentos, se genera otro tipo de suciedad comúnmente conocido como cochambre y que puede llegar hasta las lámparas.

En el baño, el vapor que se produce por el agua caliente al condensarse en las lámparas atrapa el polvo y al evaporarse nuevamente deja las partículas de polvo adheridas a las lámparas.

En el caso de la iluminación del jardín, para efectos de esta tesis no se tomará en cuenta, ya que por ser una iluminación decorativa se considera que es del tipo específica.

3.3.2 Cálculo del coeficiente de utilización

Debido a que los led son componentes electrónicos que en conjunto pueden formar fuentes luminosas de gran potencia, generalmente en su forma individual los fabricantes no proporcionan tablas de coeficiente de utilización, por lo tanto es necesario emplear los pasos descritos en el tema 2.3.2 para calcularlo con la ayuda del software Microsoft Excel, en el cual se insertaron todas las fórmulas para obtener el Coeficiente de Utilización.

Para utilizar esta aplicación la hoja de Excel es llamada Calculadora de Coeficiente de Utilización, previamente obtienen los valores de la intensidad cuyo nombre es intensidad luminosa por zonas como se mostró en el apartado 2.3.2.

Empleando la gráfica de la curva de radiación para la luz blanca, neutra y calida o grafica de *Radiation Pattern for Cool White, Neutral White and Warm White* que se encuentra en los datos técnicos del LED en el Anexo C.2, la cual es la gráfica de distribución luminosa del LED utilizado y cuyos resultados se pueden apreciar en la tabla 3.6 en la descripción intensidad luminosa normalizada, posteriormente estos resultados son multiplicados por la intensidad luminosa total.

La empresa Avago estableció para sus LEDs que la intensidad luminosa total se obtiene multiplicando 0.318 por el flujo luminoso total, por lo tanto para el LED seleccionado que tiene un flujo total de 100 lm le corresponde una intensidad luminosa total de 31.8 cd. Los resultados de correspondientes a la intensidad luminosa por zonas se muestran en la tabla 3.9.

Tabla 3.9 intensidad luminosa del LED por zonas

Ángulo	Intensidad luminosa normalizada	Intensidad luminosa por zonas
5	0.998	31.736
15	0.98	31.164
25	0.945	30.051
35	0.88	27.984
45	0.83	26.394
55	0.78	24.804
65	0.7	22.26
75	0.45	14.31
85	0.05	1.59
95	0	0

Los valores de la intensidad luminosa por zonas de la tabla anterior fueron insertados en la hoja de Excel de Coeficiente de utilización, en la sección de la constante zonal, así también se debe insertar el flujo luminoso total del led obtenido de la tabla 3.1 y cuyo valor es de 100 lm.

Posteriormente se deben insertar las dimensiones de las áreas que se quiere calcular de forma individual en la sección correspondiente de la hoja de Coeficiente de utilización.

Las dimensiones son obtenidas del plano de la casa mostrado en el Anexo D.1-a y D.1-b, así como la altura de las áreas de trabajo de la Tabla 3.7 y la altura de los LEDs, que será de 10cm como se menciona en el apartado 3.4.1.

Solo falta insertar el Factor de Reflexión de las paredes de las habitaciones, los cuales fueron obtenidos con la ayuda de la Tabla 2.2 y los resultados se pueden observar en la Tabla 3.10. El resultado de las operaciones para calcular el coeficiente de utilización se muestra en la misma tabla.

Tabla 3.10: Factor de reflexión, flujo luminoso y coeficiente de utilización

Sección	Factor de reflexión	RCR	C.U.
Sala	70 50 30	4.719	0.738
Comedor	70 50 30	3.917	0.814
Baño	70 50 50	9.149	0.473
Cocina	70 50 50	4.406	0.798
Pasillo-1	70 50 50	6.071	0.666
Pasillo-2	70 50 50	9.545	0.446
Pasillo - 3	70 50 50	9.545	0.446
Cuarto 1	70 50 30	4.272	0.778
Cuarto 2	70 50 30	4.085	0.797
Cuarto 3	70 50 30	4.367	0.766
Cuarto 4	70 50 30	4.776	0.727
lavadero	70 50 15	6.793	0.569
Cochera	70 50 15	5.45	0.653
Balcón	70 50 50	6.913	0.588
Nota: En esta tabla se omiten las siguientes zonas exteriores por requerir un cálculo diferente: exterior de la casa, escaleras y tendedero.			

Los valores del RCR utilizados para calcular el coeficiente de utilización, fueron generados automáticamente por la hoja de Coeficiente de utilización, estos resultados serán empleados posteriormente para el cálculo del factor de mantenimiento, por lo tanto es conveniente anotarlos.

3.3.3 Cálculo del factor de mantenimiento

Ya encontrado uno de los parámetros utilizados en la fórmula para el cálculo del número de lámparas, se debe obtener ahora el factor de mantenimiento. En algunos de los lugares dedicados a la venta de focos LEDs utilizan el factor de mantenimiento como unidad por falta de una norma para la iluminación de los LEDs en México, pero en los países europeos, que ya tienen una mayor experiencia en el manejo de LEDs, especifican que el factor de mantenimiento se encuentra entre el 75 al 80% ^[3].

Aunque para obtener un cálculo más específico para la aplicación se seguirán los procedimientos del apartado 2.3.3, como se verá a continuación.

Para calcular el Lamp Lumen Depreciation o LLD es necesario observar la gráfica de tiempo de vida de los LED, en el Anexo A.4 se puede apreciar que la degradación del flujo luminoso es relativamente alta, aproximadamente de 74% a 100'000 horas de trabajo, debido a que las prueba aplicadas a los LED para determinar el tiempo de vida se realizó con una temperatura T_j de 301 °C, el tiempo de vida menor con una degradación muy grande.

Como se puede observar, la temperatura de juntura a la que fue elaborada la grafica de tiempo de vida, se encuentra próxima a la temperatura de máxima operación y como se mencionó anteriormente la degradación del flujo luminoso es muy grande y la modificación de la gráfica de tiempo de vida del LED o un cálculo aproximado del tiempo de vida a la temperatura de las habitaciones, no se puede realizar, ya que no se cuenta con datos de laboratorio a estas temperaturas. Aunque se está conciente que el tiempo de vida a una temperatura menor del LED es mayor.

Cabe mencionar que el método aplicado para determinar el tiempo de vida de los LEDs es un método que proporciona un estimado del tiempo de vida, mediante un cálculo basado en pruebas de laboratorio elaboradas para los LEDs. En el anexo E.1 se muestra el procedimiento a seguir.

Los fabricantes generalmente colocan la advertencia de que el tiempo de vida calculado no representa el tiempo de vida actual de LED y solo debe ser tomado como una referencia, ya que en las pruebas de laboratorio no son consideradas todas las variables, por lo tanto la determinación del tiempo de vida real del LED no se puede realizar.

Ya que el tiempo de vida útil real del LEDs no se puede determinar, la degradación del flujo luminoso de la grafica del tiempo de vida proporcionada por el fabricante solo será tomada como referencia.

Por lo tanto se empleará la degradación del flujo luminoso de 74% a 100'000 horas, ya que es el valor al tiempo de vida estimado más elevado, este valor será utilizado como el LLD de todas las habitaciones.

Para obtener el valor del Luminaria Dirt Depreciation Factor (LDD) se seleccionara la categoría de mantenimiento de la luminaria utilizando el Anexo B.2 como guía, en este caso se determinó que el LED es de nivel I, ya que no posee ningún aditamento reflector.

Previamente se estableció el grado de limpieza para cada habitación como se observa en la tabla 3.5, posteriormente se observan las gráfica de LDD mostrada en el Anexo A.3 y posicionándonos en el nivel seleccionado se obtiene el valor de LDD.

Considerando que el LDD puede calcularse de una forma más precisa, que al emplear las tablas, se hará uso de este procedimiento, en este caso para obtener el valor del LDD se utilizara la fórmula 2.31 y la tabla 2.6 en lugar de las gráficas de LDD.

Tomando en consideración la disminución de la intensidad luminosa debido a la temperatura y la degradación normal por el transcurso del tiempo, se compensará este aspecto con la implementación de un mantenimiento con un lapso de tiempo corto, para no sobredimensionar la instalación de la iluminación, considerando para los lugares limpios un mantenimiento de cuatro meses para las áreas de la planta alta y pasillo 3, y de cinco meses para la planta baja.

Calculo para 4 meses.

$$LDD_{4mes} = e^{-(.071) * (0.333)^{(0.69)}} = 0.968$$

Calculo para 5 meses

$$LDD_{5mes} = e^{-(.071) * (0.416)^{(0.69)}} = 0.962$$

Y para las zonas con suciedad media se tomara un mantenimiento de 2 meses, a excepción del baño y el Balcón, que se tomara de 1 mes obteniendo:

Calculo para 1 mes.

$$LDD_{1mes} = e^{-(0.111) * (0.083)^{(0.69)}} = 0.98$$

Calculo para 2 meses.

$$LDD_{2mes} = e^{-(0.111)(0.25)^{(0.69)}} = 0.958$$

El Room Surface Dirt Depreciation Factor (RSDD) se obtiene por medio de la tabla de RSDD colocada en el Anexo B.1, para utilizarla primero se debe observa la Figura 2.7 en la cual se determinara el porcentaje esperado por la depreciación por suciedad en las paredes.

Seleccionando un periodo de 36 meses o 3 años, para los ambientes limpios, se obtienen un valor de 21.5 y para los ambientes medios, un mantenimiento cada 2 años se obtiene un resultado de 23 % de la depreciación por suciedad.

Teniendo en cuenta que el tipo de iluminación requerida es directa, y contando con los Radios de Cavidad del Cuarto (RCR) de cada habitación*, se debe realizar una interpolación para obtener los valores adecuados de la tabla de RSDD.

Para la sala que tiene un RCR de 4.719, con un porcentaje por la depreciación de suciedad de 21.5, se ubica en la tabla de RSDD de la forma mostrada en la tabla 3.11.

* Tabla 3.9

Tabla 3.11. Ejemplificación de la interpolación en la tabla de RSDD

Reflectancias del techo		20%	21.5%	30%
RCR	4	0.95		0.92
	4.719	a	c	b
	5	0.94		0.91
Nota : Las áreas sombreadas corresponden a valores que no se requiere calcular				

Siendo 4.92 y 22 los valores para los que se quiere encontrar el RSDD y a, b, c los valores a encontrar; utilizando la fórmula de interpolación lineal se encontrarán esos valores.

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0) \quad 3.6$$

Primero se encontrará el valor de (a) y consecutivamente (b)

$$a = 0.95 + \frac{0.94 - 0.95}{5 - 4} (4.719 - 4) = 0.943$$

$$b = 0.92 + \frac{0.91 - 0.92}{5 - 4} (4.719 - 4) = 0.913$$

Ya calculados a y b se calculará el valor de c, para facilitar la visualización se reacomodará el orden de la tabla 3.11 quedando la tabla 3.12.

3.12 Visualización de la tabla de RSDD para la interpolación

Reflexión de las paredes	RCR		
	4	4.719	5
20%	0.95	0.943	0.94
22%		c	
30%	0.92	0.913	0.91
Nota : Las áreas sombreadas corresponden a valores que no se requiere calcular			

Empleando nuevamente la fórmula 3.6 se obtiene el valor correcto de RSDD para la sala:

$$c = 0.949 + \frac{0.913 - 0.943}{30 - 20} (21.5 - 20) = 0.938$$

Realizando el producto del LDD, LLD, RSDD, queda un factor de mantenimiento (LLF) para la sala:

$$LLF = LDD * LLD * RSDD \quad 3.7$$

Sustituyendo en la fórmula anterior se obtiene un LLF de:

$$LLF = (0.962)(0.74)(0.938) = 0.668$$

De esta forma se obtienen los valores para las otras secciones y cuyos resultados han sido colocados en la tabla 3.13.

Tabla 3.13 Factor de mantenimiento (LLF)

Sección	RCR	LLD	LDD	RSDD	LLF
Sala	4.719	0.74	0.962	0.938	0.668
Comedor	3.917	0.74	0.962	0.946	0.673
Baño	9.149	0.74	0.98	0.908	0.658
Cocina	4.406	0.74	0.958	0.937	0.664
Pasillo-1	6.071	0.74	0.968	0.935	0.67
Pasillo-2	9.545	0.74	0.968	0.918	0.658
Pasillo-3	9.545	0.74	0.968	0.918	0.658
Cuarto 1	4.272	0.74	0.968	0.943	0.675
Cuarto 2	4.085	0.74	0.968	0.945	0.677
Cuarto 3	4.367	0.74	0.968	0.942	0.675
Cuarto 4	4.776	0.74	0.968	0.938	0.672
Lavadero	6.793	0.74	0.958	0.923	0.654
Cochera	5.45	0.74	0.958	0.931	0.66
Balcón	6.913	0.74	0.98	0.928	0.673

Cabe mencionar que la degradación del flujo luminoso por efecto de la temperatura no se ha tomado en cuenta en los cálculos del factor de mantenimiento (LLF), debido a que ya se ha sido contemplado en el flujo luminoso del LED a la temperatura de la habitación.

Ya obtenido los valores del coeficiente de utilización y el factor de mantenimiento se procede a calcular el número de LEDs necesarios para una iluminación general de las habitaciones.

3.3.4 Iluminación de las habitaciones

Con los valores del coeficiente de utilización y factor de mantenimiento, calculados anteriormente, se obtiene el número de LED que se necesitaran para iluminar de forma general cada una de las habitaciones en forma general, en la cual se empleará la fórmula 2.7.

El primer cálculo se realiza para el área del Baño, aunque puede tomarse cualquier área, recordando la disminución del flujo luminoso por causa del incremento de temperatura (33°C). Para el LED se tiene un flujo luminoso total de 94.9 lm, el cual es

calculado multiplicando el flujo luminoso total por el valor de la Tabla 3.3 correspondiente al baño; sustituyendo los datos en la fórmula 2.29 se obtiene:

$$N = \frac{(3m * 1.55m * 100lux)}{(94.99lm * 0.658 * 0.473)} = 15.729 \text{ LEDs}$$

El número de LEDs debe ser superior al obtenido, si tomamos valores inferiores disminuiría la iluminación, pero para determinar el número correcto de LEDs se estimara la posible la distribución de estos en el techo, utilizando las fórmulas 2.32 y 2.33.

A lo largo del área del baño estarán colocados

$$N_L = 3m \left(\frac{15.729}{(3m * 1.55m)} \right)^{1/2} = 5.517 \text{ LEDs}$$

Sobre el ancho de la sección 2 estarán:

$$N_A = 1.55m \left(\frac{15.729}{(3m * 1.55m)} \right)^{1/2} = 2.851 \text{ LEDs}$$

Como ya se mencionó en el tema 2.3.4 el redondeo del número de LEDs a lo ancho y a lo largo, deben ser lo más cercano al número calculado y por lo tanto el número de LEDs utilizados para iluminar el baño será de 18. Con una distribución de 6 LEDs a lo ancho y 3 a lo largo.

Posterior mente se calcula la distancia a la que estarán separados con respecto uno del otro los LEDs con ayuda de las fórmulas 2.35 y 2.36:

$$S_L = \frac{3m}{6} = 0.5m$$

$$S_A = \frac{1.55m}{3} = 0.517m$$

En la separación del LED con respecto a la pared se utilizan las fórmulas 2.37 y 2.38:

$$a' = \frac{0.517m}{2} = 0.258m$$

$$b' = \frac{0.5m}{2} = 0.25m$$

Observando la figura 2.8, se obtiene la distribución de los LEDs mostrada en el anexo D.2, para la zona baño.

Para calcular el número de LEDs para las demás habitaciones se siguen el mismo procedimiento, dando como resultado la tabla 3.14.

Tabla 3.14 Resultados de los cálculos de números de LEDs de cada habitación

Sección	N Calc.	N_L Calc.	N_A Calc.	N_L real	N_A real	N real	S_L [m]	S_A [m]	a' [m]	b' [m]
Sala	34.993	6.77	5.169	7	5	35	0.664	0.71	0.355	0.332
Comedor	34.241	7.084	4.833	7	5	35	0.733	0.7	0.35	0.366
Baño	15.729	5.517	2.851	6	3	18	0.5	0.517	0.258	0.25
Cocina	93.498	12.77	7.323	12	8	96	0.436	0.375	0.188	0.218
Pasillo-1	16.178	4.89	3.309	6	3	18	0.5	0.677	0.338	0.25
Pasillo-2	10.784	4.447	2.425	4	3	12	0.688	0.367	0.183	0.344
Pasillo-3	10.784	4.447	2.425	4	3	12	0.688	0.367	0.183	0.344
Cuarto 1	33.081	6.583	5.025	7	5	35	0.664	0.71	0.355	0.332
Cuarto 2	34.929	7.155	4.882	7	5	35	0.747	0.7	0.35	0.374
Cuarto 3	31.322	7.398	4.234	7	5	35	0.741	0.594	0.297	0.371
Cuarto 4	27.42	6.233	4.399	6	5	30	0.708	0.6	0.3	0.354
Lavadero	22.129	5.034	4.396	6	4	24	0.5	0.655	0.328	0.25
Cochera	30.338	6.486	4.677	7	5	35	0.594	0.6	0.3	0.297
Balcón	18.268	4.881	3.742	5	4	20	0.6	0.575	0.288	0.3

De esta forma se obtuvieron el número de LEDs para la mayoría de zonas interiores. Cabe resaltar que las siguientes áreas no fueron calculadas: fachada inferior de la casa, escaleras, jardín, tendedero. El método de los lúmenes no puede ser utilizado ya que no existe un techo en el cual se pueda realizar la distribución correcta de los LEDs quedando como opción el método de los puntos.

3.3.5 Iluminación de zonas exteriores

Para calcular la iluminación del área de la fachada inferior de la casa se emplea el método de los puntos, el cual será utilizado en esta tesis con fines demostrativos, para que se comprenda como se utiliza. Ya que para el cálculo de la iluminancia total, se requiere un número de puntos de prueba muy grande. En este caso solo se emplearan los localizados debajo de los led como se observa en la figura 3.2; para un mejor cálculo se recomienda el uso de un software de iluminación.

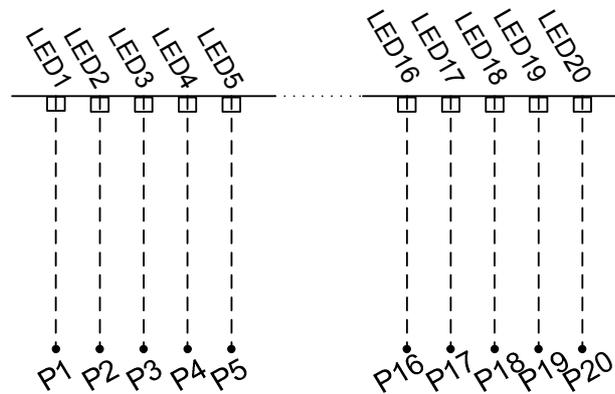


Figura 3.2 Puntos de prueba

Aun que el método de los puntos solo servirá para indicarnos la iluminación que se obtendrá y no el número de LEDs necesarios para obtener la iluminación. Es posible calcular este número de LEDs necesarios para una determinada distancia además de la distancia que tendría un LED de otro. Para esto se emplean la ley los catetos para la tangente y una fracción del ángulo de apertura del LED el cual esta representado por la letra griega α :

$$tg \alpha = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{cateto adyacente}} \quad 3.8$$

Despejando el cateto opuesto queda:

$$\text{cateto opuesto} = (tg \alpha) (\text{cateto adyacente}) \quad 3.9$$

La resolución de la fórmula anterior dará como resultado la longitud del lado del triangulo ubicado frente al Angulo α , viéndolo de otra forma indicará la distancia que habrá entre LEDs como se observa en la figura 3.3.

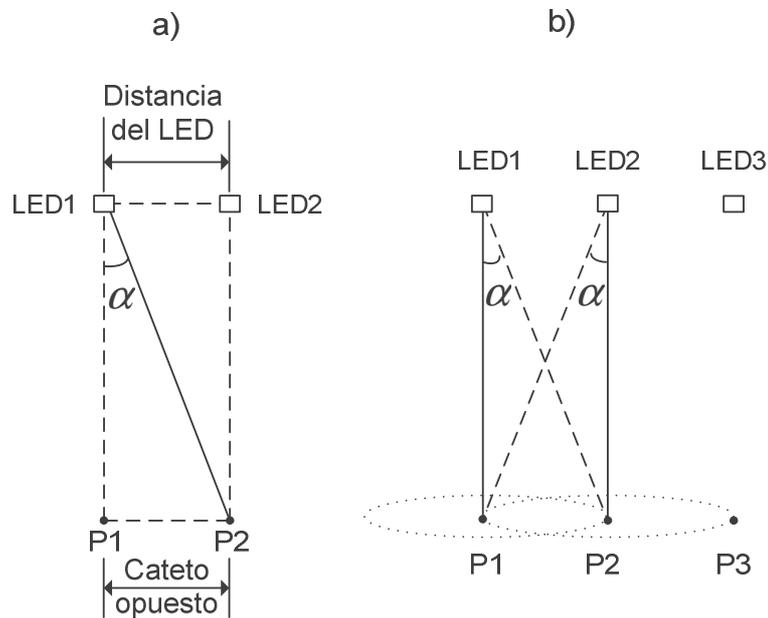


Figura 3.3 a) Distancia entre led, b) Distancia entre LEDs desde otra perspectiva (Luis Felipe Palomeque Chacón)

Ya conociendo este dato, solo falta saber cuantas veces puede dividirse la longitud de la zona donde se colocara la iluminación, esto puede expresarse por medio de la siguiente fórmula:

$$N = \frac{W - \% \text{tolerancia}}{(tg \alpha)(\text{catetoadyacente})} \quad 3.10$$

El porcentaje de tolerancia es una medida de seguridad para los LEDs, debido a que éstos serán colocados en una marquesina y existe el riesgo de que la lluvia llegue a los LEDs provocando que se dañe. Por esta razón es necesario contemplar esta tolerancia, pero su utilización depende del diseño de la marquesina, del juicio del diseñador y de la aplicación que se le dará a la fórmula, como se verá más adelante.

De esta forma se estima el número de LED para una longitud determinada. Para corroborar que efectivamente el número de LEDs proporcionara la iluminación adecuada se deben emplear las fórmulas del método de los puntos, con la ayuda del Teorema de Pitágoras, como se muestra a continuación para el área exterior de la casa.

Esta área tiene una longitud de 6.5m, para este caso se dejara una tolerancia del 0.4%, en este caso se tomara que el LED se encuentra a una 5cm por debajo de la marquesina, y debido a que el objetivo principal de la iluminación exterior es proporcionar seguridad a la casa se tomara una distancia del punto de luz hacia debajo de 1 m, lo que proporcionara una iluminación para el reconocimiento de personas a distintas alturas, en la figura 3.4 se muestran las distintas distancias a encontrar.

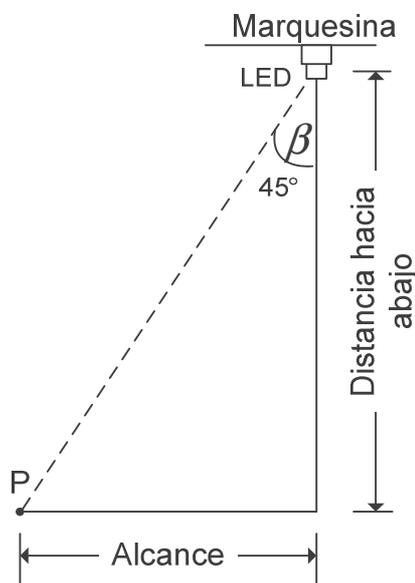


Figura 3.4 Distancia entre el LEDs y un punto cualquiera
(Luis Felipe Palomeque Chacón)

En este caso como se mencionó anteriormente se manejará una distancia de 1 m partiendo del foco de luz, el ángulo en el que esta posicionado el foco de luz (β) se empleara de 45° para tener uniformidad en la zona, faltando encontrar tan solo el alcance que tendrá la iluminación y la distancia que existe entre el punto P y el foco de luz (F); para encontrar el alcance basta con emplear la ley de los catetos para el coseno que es:

$$\text{Cos}\beta = \frac{\text{cateto adyacente}}{\text{hipotenusa}} \quad 3.11$$

Despejando el cateto y sustituyendo los valores, el alcance del LED será de:

$$\text{CatA}dy = \text{Cos}\beta * \text{hipot} = \text{Cos}45 * 1m = 0.707m$$

A pesar de que 0.707m pareciera ser poco alcance, se debe recordar que el haz de luz esta partiendo de un punto cero (P), por lo tanto este valor no representa el alcance real que se tendrá, aunque para fines demostrativos se empleará este valor. Ahora solo falta encontrar la distancia del punto P con respecto a F. Utilizando el teorema de Pitágoras se puede resolver fácilmente este punto el cual da un resultado de:

$$\text{distF} - \text{P} = \sqrt{(1m)^2 + (0.707m)^2} = 1.225m$$

Observando la gráfica de distribución luminosa del LED(anexo C.2), se selecciona el porcentaje de iluminación para un ángulo determinado, el cual queda a criterio del diseñador, sin embargo, considerando que entre más pequeño es este ángulo será mayor la iluminación obtenida, considerando también que será mayor el número de LEDs a utilizar. Para este caso se tomara el ángulo α de 15°.

Sustituyendo los valores en la fórmula 3.10 se obtiene que el número de LEDs para iluminar el área exterior es de:

$$N = \frac{6.5 - 0.4\%}{(\text{tg}15^\circ)(1.225)} = \frac{6.24}{0.328} = 19.024 \approx 20 \text{ LEDs}$$

Ya que se calculó el número de LEDs necesarios para iluminar la parte exterior de la casa, es conveniente encontrar la iluminación aproximada que se obtendrá de estos LEDs para comprobar que en realidad se está proporcionando la iluminación adecuada.

Para esto se requiere de calcular la iluminancia en distintos puntos, como se mencionó anteriormente solo se tomarán los puntos ubicados debajo de cada LED, como se observa en la figura 3.2, empleando las fórmulas 2.1 y 2.2.

Para determinar la variable de intensidad luminosa de las fórmula 2.1 y 2.2, se deben multiplicar la intensidad luminosa total del LED con la intensidad luminosa normalizada para un ángulo determinado*, el factor correspondiente al LLD y el porcentaje de salida relativa de luz a la temperatura del área. Resultando en la siguiente fórmula.

$$I_{\alpha} = (I)(I_{norm})(LLD)(\% \text{ salida relativa de luz}) \quad [\text{Cd}] \quad 3.12$$

Ya conociendo esta fórmula, para obtener la intensidad luminosa proporcionada por el LED se debe obtener la intensidad luminosa para un punto ubicado debajo del LED, el cual en la gráfica de distribución luminosa del LED estaría ubicado a un ángulo de 0°

Observando la gráfica de distribución luminosa obtenida de los datos técnicos del LED en el Anexo C.2, se obtiene, para un ángulo de 0° la intensidad luminosa normalizada y que tiene un valor de 1.00, con el LLD de 74%, el cual a sido determinado previamente en el apartado 3.4.3. Con el porcentaje de salida relativa de luz de 95.45%, mostrado en la Tabla 3.6 y empleando la fórmula 3.12, se obtiene:

$$I_{\alpha} = (31.8\text{cd})(1)(74\%)(95.45\%) = 22.461 \text{ cd}$$

Posteriormente se aplica la fórmula 2.1 quedando como resultado de la iluminación para un punto P ubicado debajo del LED:

$$E = \frac{22.461\text{cd}}{(1.225\text{m})^2} = 14.968 \text{ lux}$$

* Para obtener este valor se emplea la grafica de distribución luminosa proporcionada por el fabricante

Por lo tanto en todos los puntos ubicados debajo de los LEDs se tendrá una iluminación de 14.968 lux. A este resultado se le sumara la iluminación proporcionada por los otros puntos, por ejemplo:

Al punto P1 se le sumara la iluminancia de los LEDs D2, D3, D4, D5,..., D19, D20, para que obtener la iluminación total en ese punto.

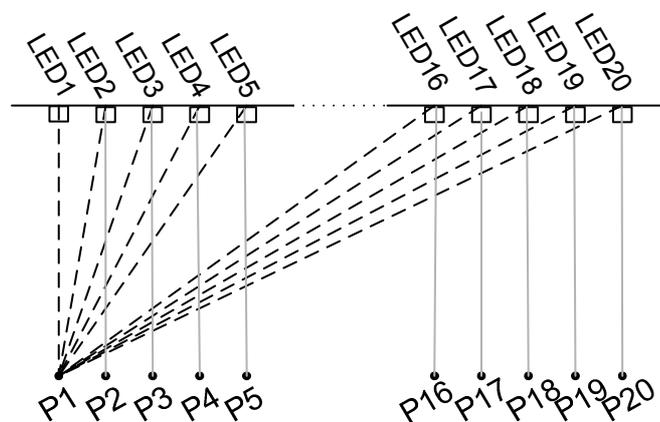


Figura 3.5 Ejemplo de la influencia de los LEDs en los puntos P
(Luis Felipe Palomeque Chacón)

Para obtener estos valores se recurre nuevamente al Teorema de Pitágoras y a la ayuda de la fórmula 2.2, recordando de cálculos anteriores que los LEDs se encuentran a 0.328m uno del otro. Para la influencia del D2 con respecto a P1 se tiene que este está ubicado a 0.328 m del D1 y el punto P1 está a 1.225 m del D1, por lo tanto por el teorema de Pitágoras se obtiene la distancia de P1 con respecto a L2.

$$dist_{LED2-P1} = \sqrt{(1.225m)^2 + (0.328m)^2} = 1.268m$$

Y se encuentra a un ángulo de:

$$\theta = \arccos\left(\frac{1.225}{1.268}\right) = 14.984^\circ$$

Observando la gráfica de distribución luminosa se obtiene que para este ángulo la intensidad luminosa normalizada es de 0.982, con LLD de 74% y una salida relativa de luz de 95.45%. Empleando la fórmula 3.12 se obtiene.

$$I_{\alpha} = (31.8\text{cd})(0.982)(74\%)(95.45\%) = 22.08\text{cd}$$

Sustituyendo este resultado en la fórmula 2.2 se obtiene:

$$E_h = \frac{(13.248\text{cd})(\cos 14.984^\circ)^3}{[(1.268\text{m})(\cos 14.984^\circ)]^2} = 13.248 \text{ lux}$$

Para obtener la iluminancia que incide sobre el punto P de los otros LEDs solo es necesario repetir los pasos anteriores, estos resultados se han colocado en la tabla 3.15.

Tabla 3.15 Resultados de iluminancia a distintas distancias

Distancia D1- DX		Distancia DX a P1 [m]	Angulo de incidencia	Intensidad normalizada	Intensidad luminosa [cd]	Iluminancia DX a P1 [lux]
D1-D1	0	1.225	0	1	22.461	14.968
D1-D2	0.328	1.268	14.984	0.982	22.057	13.248
D1-D3	0.656	1.39	28.237	0.944	21.203	9.668
D1-D4	0.984	1.571	38.739	0.867	19.474	6.155
D1-D5	1.312	1.795	46.999	0.822	18.463	3.908
D1-D6	1.62	2.031	52.915	0.789	17.722	2.591
D1-D7	1.968	2.318	58.13	0.756	16.981	1.669
D1-D8	2.296	2.602	61.901	0.733	16.464	0.837
D1-D9	2.624	2.896	64.976	0.711	15.97	0.806
D1-D10	2.952	3.196	67.48	0.678	15.229	0.571

Tan solo falta encontrar la iluminancia total en cada uno de los puntos P para esto se debe realizar la suma de cada una de las luminancias de los LED hacia los puntos.

Debido a que la distribución de los LEDs es en forma simétrica los valores de la iluminancia de los LEDs restantes se pueden sacar de la tabla anterior, resultando la tabla de suma de iluminancia total de los puntos P mostrada en el Anexo B.5.

Para calcular el número de LEDs en la escalera se emplea el método anterior, y para conocer la iluminación se emplean los mismos pasos anteriores, tomando en consideración los escalones y la posición que ocupa el LED en forma diagonal.

Utilizando el teorema de Pitágoras se conoce la distancia del LED al punto P como se observa a continuación.

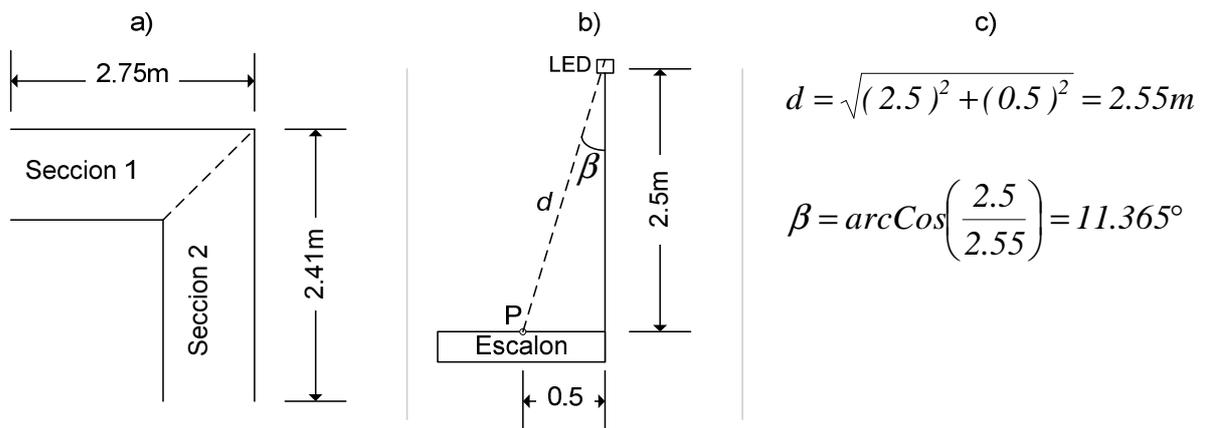


Figura 3.6 a) División de la escalera; b) Distancia del LED a un punto en el escalón; c) Resultado del teorema de Pitágoras para el dibujo a y Angulo de posición del led.

Como se puede observar en la Figura 3.6a, en este caso la zona se dividió en secciones para facilitar el cálculo, también se debe considerar que la altura a la que será colocado el LED es de 2.5 como se ve en la Figura 3.6b, se deberá seleccionar un ángulo α menor para que el cálculo de iluminancia resulte satisfactorio, este ángulo se situara a 10° . El ángulo β con que será fijado el led a la pared es de 11.35° .

Por lo tanto, en la escalera se necesitarán un total de 17 LEDs para iluminar, los cuales estarán colocados en la sección 1:

$$N_{seccion1} = \frac{3.717}{\text{tg}10 * 2.5} = 8.432 \approx 9$$

Y en la sección 2:

$$N_{seccion2} = \frac{3.472}{\text{tg}10 * 2.5} = 7.876 \approx 8$$

Para el área del tendedero, en este caso se empleará una iluminación proveniente de dos lugares diferentes colocados en los extremos de los lasos para tender, esto para evitar la interrupción de la iluminación por la ropa que se encuentre colgada, quedando para esta zona lo siguiente.

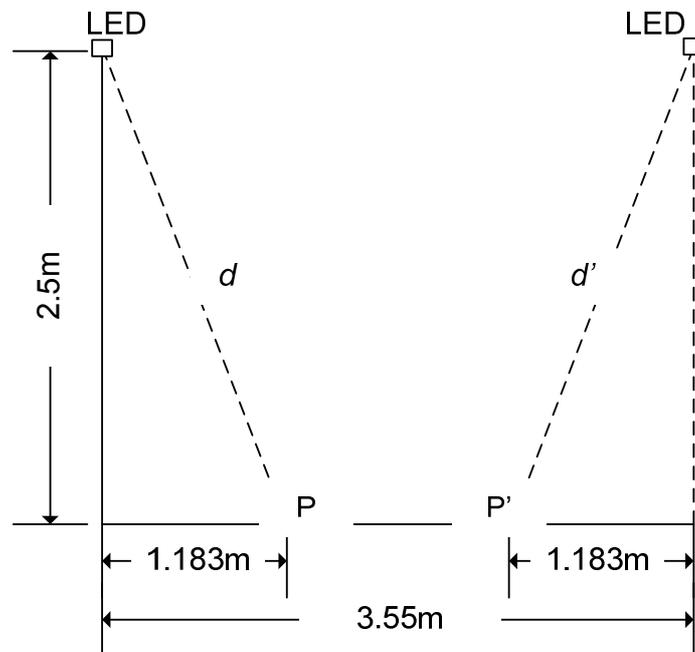


Figura 3.7 Vista frontal de la zona tendedero (Luis Felipe Palomeque Chaón)

De la figura anterior se tiene que el punto p se encuentra a 1.183m de la pared y el foco de luz se posicionada a 2.5 m con respecto al piso, por lo tanto se tiene que la distancia entre estos dos puntos es de:

$$d = d' = \sqrt{(2.5\text{m})^2 + (1.183\text{m})^2} = 2.766\text{m}$$

Considerando que el punto P se encuentra a una distancia mayor que el LED, el ángulo α será de 5° , por lo tanto empleando la fórmula 3.10 se tiene:

$$N_{\text{seccion2}} = \frac{1.183\text{m}}{\text{tg}5^\circ * 2.5\text{m}} = 5.409 \approx 6 \text{ LEDs}$$

Por lo tanto para esta última área se requieren de 12 LEDs. Ya que se tienen el total de LEDs necesarios para cada área de la casa y se observó la influencia que tiene la temperatura ambiente y la potencia disipada por el led, solo falta determinar la forma en que será alimentada esta instalación, la capacidad de la fuente y una parte esencial, la selección de un regulador de voltaje adecuado para preservar la integridad de los LEDs.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- [1] Red Meteorológica del Área Metropolitana (RETMET). *Base de datos*.
http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/productos/basesdedatos/bd_redmet.php
Año de consulta 2011.
- [2] AVAGO TECHNOLOGIES, *Application Note 5313*. 2010
<http://www.avagotech.com/docs/AV02-1958EN> Año de consulta 2011.
- [3] ZEMPER. Iluminación publica con LEDs.
<http://www.zemper.com/menu-productos/led-luminaria-leds-alto-brillo-iluminar-con-led-iluminacion/iluminacion-urbana-iluminacion-vial-iluminacion-publica/>
Año de consulta 2011.

Capítulo IV. Selección de los elementos de la instalación eléctrica

En este capítulo se realiza la selección de los elementos que operan en la instalación que energizará los LED, desde la selección de los dispositivos de regulación de la energía, hasta la selección del dispositivo de almacenamiento de energía, incluyendo el calibre del conductor para alimentar la instalación y los dispositivos de protección de sobre corriente.

Ya obtenido el número de elementos LED a utilizar en la instalación de iluminación, es momento de calcular los elementos de los cuales estará compuesta la nueva instalación eléctrica, la cual se pretende sea mas segura que la instalación eléctrica convencional.

Para lograrlo se debe seleccionar la mejor forma de regular el voltaje proveniente de la fuente de almacenamiento de energía, ya que de esto depende la supervivencia de los LEDs. Es importante recordar del capítulo anterior, que el incremento en la temperatura debido al calor generado por la operación normal del LED con la adición de la temperatura ambiente reduce el flujo luminoso que proporciona el LED.

Por otro lado, se debe obtener la energía consumida por los reguladores de voltaje, este es un dato que servirá para determinar la capacidad de la fuente de alimentación para la iluminación y posteriormente la selección del sistema que recargara esta fuente de energía.

También es necesaria la determinación del calibre adecuado del conductor, ya que de las caídas de voltaje, depende el correcto funcionamiento de la instalación de iluminación.

4.1 Regulación de la energía

La elección de un regulador de voltaje adecuado para la alimentación de los LEDs, tendrá como función principal, incrementar la vida útil de los LEDs, ya que los alimentara con los valores estipulados por el fabricante, procurando que el regulador o LED driver, no genere una gran cantidad de calor para mantener el nivel de seguridad.

Aunque los reguladores están diseñados para soportar temperaturas muy altas, es necesaria la disipación adecuada de la temperatura debido a que no solo pudiera provocar lesiones por quemadura, sino también se destruiría el regulador.

Pero al seleccionar un regulador de voltaje, es necesario considerar la caída de tensión. En toda instalación eléctrica la caída de tensión es un factor importante, con la cual se asegurara la operación correcta del equipo o en este caso de la iluminación.

La NOM-001-SEDE-2005 en el apartado 210-19a especifica que solo permite un margen de caída de tensión del 3% para una instalación convencional, por lo tanto solo se permite una caída de tensión de 3.6 Volts en una instalación de 120 Volts ^[1].

Considerando que la instalación propuesta operara a un voltaje menor, es necesario dejar en claro los efectos negativos que tendría una caída de tensión en la instalación.

Por esta razón se ha calculado la caída de tensión en un conductor por medio de la fórmula 4.1 ^[2].

$$V = (I)(r * L) \quad 4.1$$

Para una longitud del conductor tipo alambre de 100m^{*}, considerando la resistencia de los conductores del Anexo B.6, para los conductores más empleados en una instalación eléctrica convencional, los cuales son los calibres 14, 12 y 10, para destinitos valores de corriente.

Los resultados de la fórmula 4.1 se encuentran en el Anexo B.7, donde se aprecia que a mayor corriente la caída de tensión es mayor en los conductores de menor calibre.

Debido a la falta de una regulación para una caída de tensión a bajo voltaje, se tomara como referencia la caída de tensión permitida para una instalación eléctrica, la cual es de 3% de la energía suministrada. Esta caída de tensión influirá en los elementos que regularán el voltaje de los LEDs como se verá continuación.

4.1.1 Selección del regulador de voltaje

En la selección del tipo de regulador es importante considerar los valores de la alimentación que tendrá el LED, ya que de estos valores depende la potencia en forma de calor que disipará el regulador.

Adicional a lo anterior, se debe considerar la caída de tensión en la instalación, la cual resultará contrarrestada si el circuito funciona a una corriente mínima como se vio

^{*} Se ha tomado como referencia el conductor tipo alambre debido a que posee una resistencia menor que el conductor tipo cable.

con anterioridad. Por lo tanto, utilizando las leyes de Kirchoff, se determina que los LEDs deberán ser conectados en configuración serie como se observa en la figura 4.1, ya que en serie los voltajes se suman y las corrientes permanecen constantes.

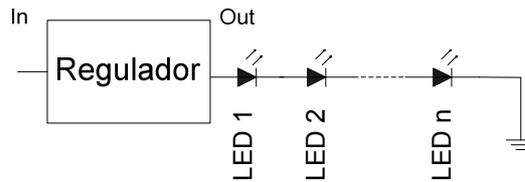


Figura 4.1 Configuración serie para los LEDs
(Luis Felipe Palomeque Chacón)

También es necesario considerar el tipo de alimentación del regulador. Como se recordará, se puede tener una alimentación de corriente alterna o de corriente directa. Aunque considerando que con una alimentación de corriente alterna, la resistencia del conductor se incrementa debido al efecto de la frecuencia en la alimentación, incrementando la caída de voltaje, para la alimentación de los LED es mejor aplicar una alimentación en corriente directa, la cual se puede obtener de baterías, las cuales funcionan como una fuente de reserva en caso de la interrupción del suministro eléctrico.

En la selección del regulador de voltaje, es conveniente determinar los valores de voltaje a la entrada y salida mínimos, para que el regulador funcione adecuadamente y no exista un riesgo para la supervivencia de los LEDs.

Para determinar el voltaje mínimo a la entrada del dispositivo de regulación, es necesario considerar en conjunto dos aspectos, la caída de voltaje del conductor y el porcentaje de reducción del voltaje proveniente del banco de almacenamiento (V_B), quedando la siguiente fórmula.

$$V_{mR} = V_{bateria} - [(V_{bateria})(V_B)] - [(V_{bateria})(V_C)] \quad 4.2$$

Para emplear la fórmula anterior se tomará como referencia distintos valores de voltaje de la batería, considerando la facilidad de encontrar cargadores de baterías que proporcionan voltajes de 12 V, 24V, 36V y 48 V, por consiguiente se emplearán estos valores para determinar el voltaje mínimo a regular.

El porcentaje de caída de voltaje permisible del conductor es de 3% y el porcentaje de reducción de voltaje proveniente del banco de almacenamiento es de 12.5%, este es definido por el fabricante de los elementos que componen el banco de almacenamiento, tema que será tratado posteriormente.

Sustituyendo los datos anteriores en la fórmula 4.2, para un voltaje de la batería de 12 V se obtiene:

$$V_{mR} = 12V - [12V(12.5\%)] - [12V(3\%)] = 10.14V$$

Considerando 24 Volts de entrada de tiene

$$V_{mR} = 24V - [24V(12.5\%)] - [24V(3\%)] = 20.28V$$

Y para un voltaje de 36 Volts se tiene

$$V_{mR} = 36V - [36V(12.5\%)] - [36V(3\%)] = 30.42V$$

Con un voltaje de la batería de 48 volts.

$$V_{mR} = 48V - [48V(12.5\%)] - [48V(3\%)] = 40.56V$$

Ya que se ha obtenido el valor mínimo a regular regular, la selección del regulador de voltaje mas adecuado depende de las características de dicho regulador. En la tabla 4.1 se presentan distintos reguladores de voltaje con diferentes características, obtenidas de los datos técnicos proporcionados por el fabricante.

Tabal 4.1 Reguladores de voltaje

Regulador	Fabricante	Tipo	Voltaje máximo soportado [V]	Voltaje de Dropout [V]	Corriente máxima [A]
LM338	Nacional semiconductor	Regulable	40	3*	5
L7824	ST Microelectronics	No regulable	40	2 **	1
L4973	ST Microelectronics	Regulable	55	0.2 **	3.5

* Valor calculo, por medio de la fórmula 1.2
** Valor obtenidos de los datos Técnicos del fabricante

Observando la tabla 4.1, se tienen dos tipos de reguladores, uno de salida estable y dos de salida regulable. El dispositivo de salida regulable, presenta una ventaja frente al que tiene una salida estable, ya que este ultimo presenta una salida de voltaje limitada por los valores de salida establecidos de fabrica y en el caso del regulador de salida regulable, la variación de los niveles de voltaje lo hacen una mejor opción, por lo tanto se descarta el regulador L7824.

Así también de la tabla 4.1, se tiene que todos los reguladores soportan una corriente elevada, por lo tanto, el funcionamiento del LED no se vera comprometido debido a la corriente. Del voltaje soportado en lo que respecta al regulador LM338, este no soporta el voltaje del banco de almacenamiento de 48V, pero aun puede ser utilizado con el resto de los valores de la fuente de alimentación.

Aunque la característica más importante a considerar en el regulador, es el voltaje de Dropout, ya que de esto depende la supervivencia del LED, al existir un riesgo de no regulación, en caso de que el voltaje del banco de almacenamiento se vea reducido.

Por lo tanto un regulador con un voltaje de Dropout inferior es el elemento más adecuado en caso de existir una reducción en el voltaje de la fuente de alimentación, por lo tanto el regulador más adecuado es el L4973. Cabe mencionar que el grado de seguridad que proporciona un regulador con un Dropout bajo será comprobado posteriormente.

Para determinar que el voltaje máximo a la salida del regulador L4973, se debe analizar el regulador desde el punto de vista del voltaje de Dropout., por lo tanto al valor de voltaje mínimo a regular se le debe restar el voltaje de dropout, quedando la siguiente fórmula.

$$V_r = V_{mR} - V_{Dropout} \quad [V] \quad 4.3$$

Empleando el voltaje de Dropout del regulador L4973 y la fórmula 4.3 se ha obtenido la tabla 4.2, a los distintos valores de alimentación.

Tabla 4.2 Voltaje máximo a la salida del regulador L4973

Voltaje de alimentación [V]	Voltaje Mínimo a regular [V]	Voltaje máximo a la salida [V]
12	10.14	9.94
24	20.28	20.08
36	30.42	29.92
48	40.56	40.36

Los resultados del voltaje máximo a regular de las tablas 4.2, indica cual es el valor máximo al que se puede regular la salida de voltaje del regulador, considerado el voltaje mínimo de regulación.

Lo cual indica que, en caso de que el voltaje máximo sea superado, el regulador dejara de funcionar y permitirá el paso del voltaje proveniente del banco de almacenamiento; el caso contrario indica que, si el voltaje del banco de almacenamiento se encuentra por debajo del voltaje mínimo a regular, de igual forma el regulador de voltaje dejara de cumplir su función.

Ahora bien es necesario determinar el voltaje de entrada mas adecuado, considerando que entre mayor sea el numero de dispositivos LEDs conectados en serie, la caída de voltaje en el conductor será menor, como se menciona al inicio de este apartado, para esto es conveniente basarse en el numero de LEDs soportados por el regulador.

4.1.1.1 Numero de LEDs soportados por el regulador.

Para encontrar el número de LEDs que serán alimentados por el regulador de voltaje seleccionado, recordando que estos deben estar colocados en serie, es necesario dividir el voltaje de la salida del regulador entre el voltaje de operación de LED, quedando la siguiente fórmula

$$n = \frac{V_r}{V_{LED}} \quad 4.4$$

Recordando que el voltaje del LED, a sido fijado previamente en el apartado 3.3 a un valor de 3.2 Volts y sustituyendo los voltajes mínimos a regular obtenidos previamente en la fórmula 4.4, se obtiene el numero LEDs soportados por el regulador en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Numero de LEDs soportados a distintos voltajes de salida del regulador

Voltajes de alimentación [V]	Voltaje máximo de la salida [V]	Numero de LED soportados
12	9.94	3
24	20.08	7
36	29.92	11
48	40.36	12

Nota. Los resultados de esta tabla han sido aproximados al inmediato inferior, ya que en caso de elegir un número de LEDs mayor se requeriría de un voltaje más elevado para alimentar los LEDs.

Como se puede apreciar, un voltaje de alimentación mas elevado permite que sea conectado un mayor numero de LEDs en serie, por lo tanto el voltaje del banco de almacenamiento será fijado en 48 V. Aunque se pueden utilizar los otros valores de voltaje para alimentar los LEDs, se requiere de una conexión en paralelo de un mayor número de LEDs, lo que incrementa la corriente que circula en el conductor.

Para calcular el número de reguladores que se estarán empleando para cada habitación, es necesario dividir el número de LEDs de la habitación entre el número de LEDs que puede soportar el regulador, expresándose mediante la siguiente fórmula.

$$M = \frac{N}{n} \quad 4.5$$

Tomando como ejemplo la iluminación en el cuarto 1, el cual tiene 35 LEDs y sustituyendo los valores anteriores en la fórmula 4.5 se obtiene que para el cuarto1 se necesitaran:

$$M = \frac{35}{12} = 2.916 \approx 3 \text{ reguladores}$$

De esta forma se obtienen el número de reguladores necesarios para regular los voltajes de cada habitación, los cuales se encuentran colocados en el anexo B.8 en la descripción, numero de reguladores.

4.1.1.2 Eficiencia del Regulador

Otra cuestión a considerar sobre el regulador, es la eficiencia con la que trabaja, ya que dependiendo de esta será la descarga del banco de almacenamiento. Para calcular la eficiencia, se considera la siguiente fórmula utilizadas por la compañía National Semiconductor para el cálculo de la eficiencia, la cual se muestra a continuación.

$$\eta = \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) (100\%) \quad 4.6$$

La potencia de salida de la fórmula anterior esta dada por la formula 4.7

$$P_{in} = V_{out} * I \quad [w] \quad 4.7$$

Y la potencia de entrada se obtiene por la fórmula 4.8

$$P_{in} = P_{out} - P_{Perdida} \quad [\text{W}] \quad 4.8$$

La potencia perdida se encuentra de la siguiente forma.

$$P_{perdida} = (V_{in} - V_{out})(I) \quad [\text{W}] \quad 4.9$$

Aplicando las fórmulas, de la 4.6 a la 4.9, se obtiene los siguientes resultados.

$$P_{out} = (40.36\text{V})(350\text{mA}) = 14.126\text{W}$$

$$P_{perdida} = (36\text{V} - 24\text{V})(350\text{mA}) = 2.674\text{W}$$

$$P_{in} = 14.126\text{W} + 2.674\text{W} = 16.8\text{W}$$

$$\eta = \left(\frac{14.126\text{W}}{16.8\text{W}} \right) (100\%) = 84.093\%$$

Del resultado anterior se obtiene una eficiencia de transformación de energía de 84.093% lo que indica que el 15.907 % de la energía será transformada en calor, aunque debido a que la recarga del banco de almacenamiento requiere de un nivel mayor de voltaje, el valor de este puede alcanzar los 49.8 Volts como se vera mas adelante.

Por esta razón es necesario recalcular la eficiencia del regulador para este voltaje no permanente, ya que debe ser considerado para el cálculo de la disipación de calor, obteniendo:

$$P_{out} = (40.36V)(350mA) = 8.4W$$

$$P_{perdida} = (49.8V - 40.36V)(350mA) = 3.304W$$

$$P_{in} = 14.126W + 3.304W = 17.43W$$

$$\eta = \left(\frac{14.126W}{17.43W} \right) (100) = 81.044\%$$

Como un dato adicional, se conoce de los datos técnicos que el regulador L4973 puede soportar una corriente de 3.5 Amper, por lo tanto se puede colocar un circuito en paralelo como se observa en la siguiente figura 4.2, el cual consume una corriente de 700mA.

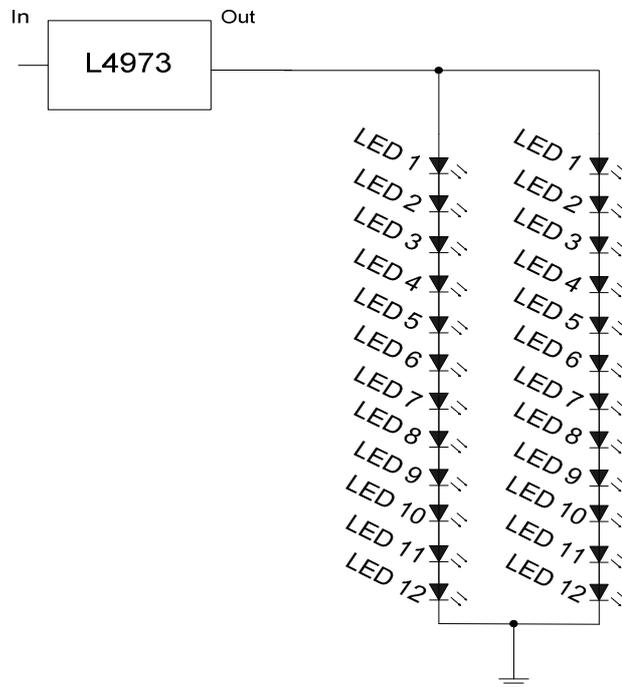


Figura 4.2 Conexión de LEDs en paralelo (Luis Felipe Palomeque Chacón)

Aunque se debe considerar un incremento en las pérdidas del regulador como se observa en el resultado de la fórmula 4.9, para una corriente de 700mA.

$$P_{perdida} = (48V - 40.36V)(0.7A) = 5.348W$$

Como se puede apreciar en el resultado anterior, un incremento en el número de componentes en paralelo elevará la potencia perdida del regulador, lo que incrementa su temperatura. De esta forma se comprueba lo mencionado anteriormente, siendo necesario seleccionar adecuadamente el valor de la corriente soportada por el regulador, basado en la carga.

De lo anterior se establece para esta tesis, que el regulador será sometido a una corriente de 350mA, para evitar el sobrecalentamiento del regulador.

Ya establecido el número reguladores a emplear, y la eficiencia que tendrá el regulador seleccionado, es necesario considerar la conexión eléctrica con los otros componentes esenciales para realizar la adecuada regulación del voltaje.

4.1.2 Conexión eléctrica del regulador

En el apartado anterior se observo que se puede utilizar el regulador L4973 para reducir el voltaje proveniente de las baterías a un nivel que puede ser utilizado por el LED sin dañarlo.

Ahora se debe conocer cómo será la conexión en la *Printed Circuit Board* o PCB en el cual será montado, aunque primero es necesario calcular las resistencias para regular la corriente de alimentación de los LEDs, y la forma más adecuada para disipar la energía.

4.1.2.1 Regulación de la salida de voltaje del regulador

En el caso del regulador L4973, el cual a sido seleccionado para alimentar a los LEDs, el fabricante proporciona en los datos técnicos el valor de los componentes que deben ser utilizados para armar el circuito de evaluación de este regulador, en el anexo C.3 se muestran los datos técnicos concernientes al L4973 y en la figura 1 de este anexo, se pueden observar los elementos que se utilizan para el regulador L4973.

Requiriéndose solo el cálculo de las resistencias R3 y R4 para posicionar el voltaje máximo a salida del regulador, el cual está indicado en la tabla 4.4 para una alimentación de 48V.

Para calcular las resistencias R3 y R4 el fabricante proporciona la siguiente fórmula para este regulador.

$$V_{out} = 3.3 + 3.3 \left(\frac{R3}{R4} \right) \quad [V] \quad 4.10$$

Para hallar el valor de las resistencias que proporcionen un voltaje de 40.36 V se despeja de la fórmula anterior la resistencia R3, obteniendo.

$$R3 = \left(\frac{V_o - 3.3}{3.3} \right) R4 \quad [\Omega] \quad 4.11$$

Considerando que la resistencia R4 puede ser seleccionada de forma arbitraria, se tomara como un resistencia de 4.7 KΩ como lo muestra el fabricante en los datos técnicos del anexo C.3. Sustituyendo el valor del voltaje mínimo a regular, el cual de la tabla 4.3, se tiene que es de 40.36 para un voltaje de entrada de 48 V y el valor de la resistencia R4, se obtiene el siguiente resultado.

$$R3 = \left(\frac{40.36V - 3.3}{3.3} \right) 4.7K\Omega = 52.782 \Omega$$

Por lo tanto para la resistencia R3 se debe tener un valor de 52.728 [KΩ], el cual se puede obtener al colocar una resistencia variable.

4.1.2.2 Regulación de la corriente del LED

Para regular la corriente que va a circular por el LED, es necesario colocar una resistencia en serie con los LEDs, la cual será la resistencia de regulación.

De forma sencilla se calcula el valor de la resistencia de regulación, utilizando la ley de kirchoff para voltajes, teniendo para el circuito completo que alimenta a los 12 LED en serie, como los mostrados en la figura 4.1, las siguientes formulas:

$$I_{LED} = I_{LED1} = I_{LED2} = I_{LEDn} \quad [A] \quad 4.12$$

$$V_T = \sum_{n=1}^{12} V_{LEDn} \quad [V] \quad 4.13$$

Como se observa el voltaje es el que se divide y la corriente es la que permanece igual, por lo tanto es posible regular la corriente que pasará a través de los LEDs al colocar una resistencia R entre la salida del regulador y el ánodo del primer LED como se observa en la Figura 4.3.

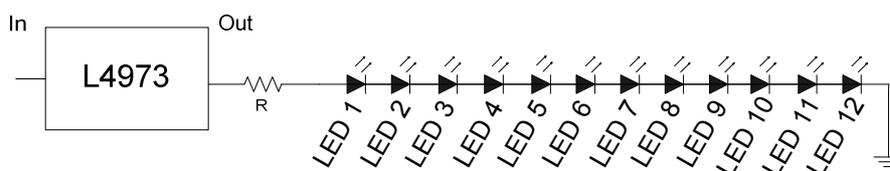


Figura 4.3 Conexión en serie de los 12 LEDs con la resistencia reguladora
(Luis Felipe Palomeque Chacón)

Agregando a la fórmula 4.13 una caída de voltaje provocada por una resistencia, se tiene:

$$V_T = V_R + \sum_{n=1}^{12} V_{LEDn} \quad [V] \quad 4.14$$

Estableciendo como requerimiento, que los voltajes en cada LED sea el mismo, se tiene que la ecuación 4.14, queda de la siguiente forma:

$$V_T = V_R + 12V_{LED} \quad [V] \quad 4.15$$

Ahora despejando el voltaje de la resistencia de regulación V_R se tiene que:

$$V_R = V_T - 12V_{LED} \quad [V] \quad 4.16$$

Sustituyendo la ley de ohm para el V_R en la fórmula 4.16 se obtiene.

$$IR = V_T - 12V_D \quad 4.17$$

Y despejando R se obtiene la fórmula para calcular la resistencia reguladora de corriente.

$$R = \frac{V_T - 12V_D}{I} \quad [\Omega] \quad 4.18$$

De la fórmula anterior se conocen los siguientes parámetros para realizar el cálculo.

- Voltaje total = 40.36V
- Corriente = 350mA
- Voltaje del LED = 3.2V

Una vez que se tienen todos los datos, se procede a calcular la Resistencia reguladora R utilizando la fórmula 4.18 y se tendrá un valor de:

$$R = \frac{40.36V - (12 * 3.2V)}{350mA} = 5.6\Omega$$

Este valor de resistencia es comercial, por lo tanto se requiere determinar la potencia que soportará. Para calcular ésta potencia se emplea la fórmula de potencia en relación a la corriente y la resistencia.

$$P = I^2 R \quad [W] \quad 4.19$$

Empleando la fórmula anterior se tiene que la potencia disipada por el elemento resistivo es de 0.686W.

$$P = (350\text{mA})^2 (5.6\Omega) = 0.686\text{W}$$

Del resultado anterior se obtiene que la resistencia de 5.6 Ω debe ser de una potencia de $\frac{3}{4}$ W.

Cabe mencionar que en algunos casos el numero de LEDs alimentados por el regulador no será el establecido, esto se puede observar en uno de los reguladores de las áreas sala, comedor, cuarto 1, cuarto 2, cuarto 3, cochera y balcón, alimentan solo a 11 LEDs, se recomienda variar el voltaje de salida del regulador a un valor adecuado para los LEDs, para esto se siguen los procedimientos del apartado 4.1.2.1.

Ya con los valores de las resistencias encargadas de la regulación del voltaje y la corriente, es conveniente determinar la conexión en el circuito impreso PCB

4.1.2.3 Diagrama del circuito impreso

Para el diseño de la PCB se debe emplear un software para el diseño de la PCB como el OrCad, Protel, el Eagle, PCB Wizard entre otros. Para este caso se empleará el software Eagle, ya que es más utilizado en la Facultad de Estudios Superiores Aragón.

Utilizando diagrama esquemático de los componentes mostrados en el anexo C.3 en la figura 1, se obtiene el diagrama de la placa mostrado en la Figura 4.4.

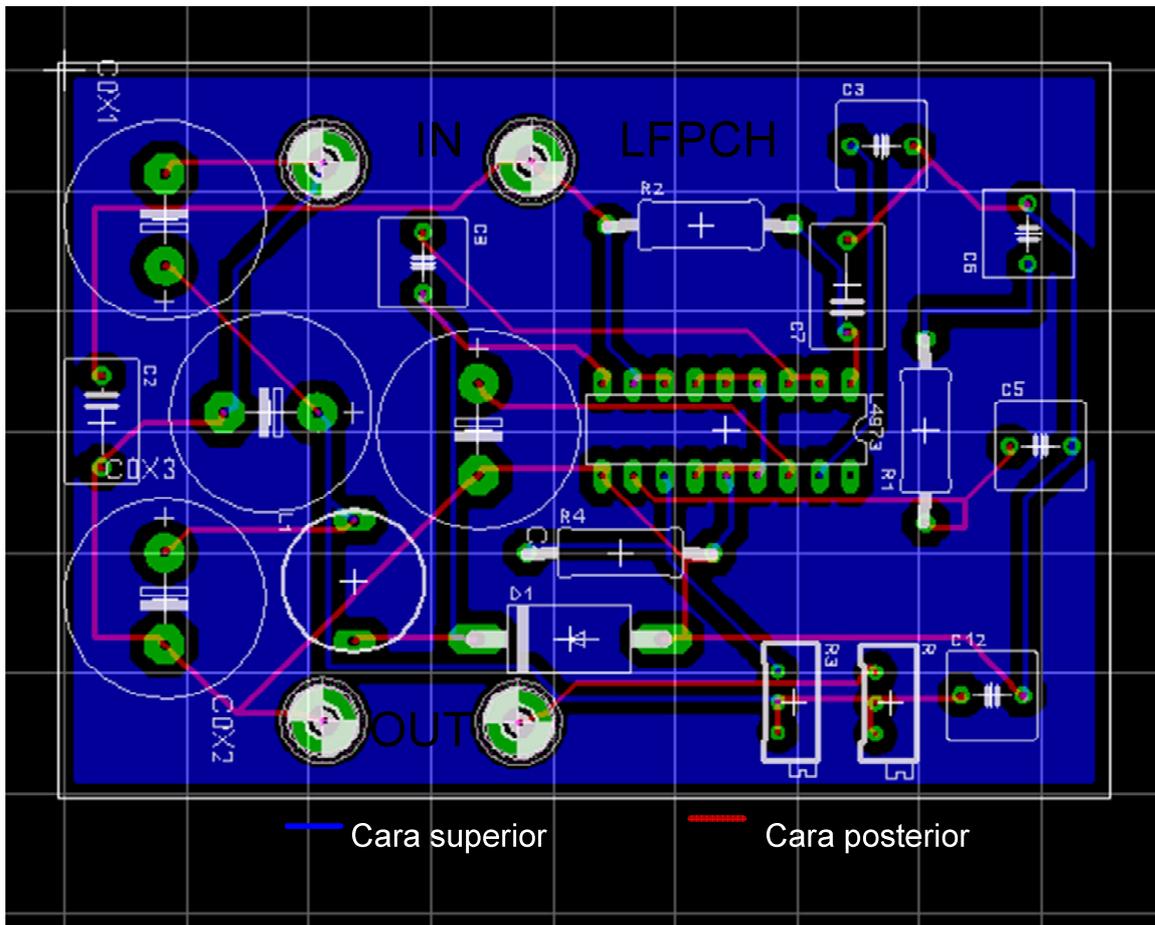


Figura 4.4 Diagrama de la PCB para el montaje del L4973 (Luis Felipe Palomeque Chacón)

La figura 4.4, tiene una dimensión de 8.5cm por 6 cm para la PCB en la cual será grabado el circuito por ambos lados de la PCB. Por lo tanto el circuito del regulador no ocupara mucho espacio al ser colocado en el techo de la vivienda, pero debe considerarse que por estética debe ser cubierto con un pequeño gabinete plástico con aberturas que permitan la circulación de aire en el interior.

Ya que se ha seleccionado el tipo de regulador y se ha determinado la configuración de la conexión de los LEDs, es conveniente determinar el tipo de batería que se encargara de suministrar energía a la instalación de iluminación

4.2 Banco de almacenamiento

El banco de almacenamiento como se menciona anteriormente estará constituido por baterías, para una aplicación de almacenamiento de energía, se requierele baterías de ciclo profundo, las cuales pueden ser descargadas varias veces en su totalidad, pero esto no es recomendado por los fabricantes, debido a que entre mayor sea la profundidad de la descarga menores son los ciclo de vida que puede soportar.

Para realizar la selección del tipo de batería que conformara el banco de almacenamiento, es necesario conocer la potencia consumida por los reguladores

4.2.1 Potencia total consumida por el regulador

En los cálculos anteriores se obtuvo el regulador de salida regulable más adecuado, a continuación se calculará la potencia total consumida de todos los reguladores conectados a los LEDs, este cálculo es necesario para poder estimar la capacidad del banco de almacenamiento.

Para realizar este cálculo es necesario tener una aproximación de las horas que trabajará la iluminación en cada una de las habitaciones, para esto se consultó al propietario una aproximación del numero de horas que permanece activa la iluminación por cada habitación como se puede observar en el Anexo B.8 en la descripción horas de operación. Estos datos serán empleados para realizar el cálculo de los Watt-hora consumidos.

Tomando como ejemplo la zona de la sala, la cual necesita tres reguladores, recordando que cada regulador consume una potencia de 16.8 Watts, la cual es la potencia total de la entrada al regulador analizada en el tema 4.1.1.2. Por lo tanto se multiplica el número de reguladores por la potencia de entrada obteniendo que se consume un total de 50.4W.

$$P_{total} = (16.8W)(3) = 50.4W$$

Que multiplicado por las horas de trabajo descrita para esta zona en el Anexo B.8 da como resultado:

$$P_{Wh} = (50.4W)(6h) = 302.4Wh$$

Para obtener los resultados de las otras habitaciones se emplea el mismo procedimiento, obteniendo los resultado del Anexo B.8 en la descripción potencia consumida en Watts-hora y cuyo resultado total será empleado en el siguiente apartado para dimensionar el banco de almacenamiento.

4.2.2 Selección del banco de almacenamiento y tiempo de vida de la batería

Consultando la base de datos de los distribuidores de productos para energías renovables, se observó que se importan principalmente a México baterías de dos empresas, Rolls Battery y Trojan, de las empresas que se encuentran más cercanas al área metropolitana se seleccionaron las baterías que tienen una mayor capacidad de almacenamiento, las cuales las características que mas importan son mostradas en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Baterías de ciclo profundo en el mercado mexicano

Fabricante Modelo	Voltaje [V]	Carga [Ah] a 20horas	Capacidad de reserva a 25Amper	Características de mantenimiento
Rolls Battery S-530	6	400	870minutos	Mínimo mantenimiento y recarga de agua
Trojan Battery T-145	6	260	530minutos	Mínimo mantenimiento y recarga de agua

Como se observa los dos modelos de batería tienen el mismo voltaje y tienen las mismas características de mantenimiento, aunque difieren en su capacidad de

almacenamiento, debido a que se maneja una carga en la instalación de iluminación de 2688 Wh al día la cual fue obtenida del anexo B.8, se recomienda la utilización de la batería S-530 ya que esta posee una mayor capacidad de almacenamiento y por consiguiente la profundidad de la descarga será menor y el tiempo de vida de la batería se incrementará.

Para determinar el tiempo de vida es necesario conocer la carga almacenada de la batería, para determinar la carga almacenada se debe consultar los datos técnicos de la batería S-530, los cuales se muestran en el anexo C.4, como se puede observar la carga almacenada está determinada por la corriente suministrada por el cargador de baterías.

Como se recordará, la fuente de alimentación se estableció en un voltaje de 48Volts, por lo tanto se utilizara una configuración en serie en las baterías para obtener este nivel de voltaje.

Cabe mencionar que el voltaje del banco de baterías al ser recargado, debido a que al realizar la carga de las baterías se requiere de un voltaje mayor, por lo tanto el voltaje de la batería se incrementa como lo ejemplifica la anotación 507 de la compañía Rolls Battery ^[2], el voltaje al 100% de la carga será de aproximadamente 49.8 V.

Aunque este voltaje solo se utilizara para calcular la máxima potencia consumida por el regulador de voltaje y su eficiencia ya que se requiere de conocer el medio de disipación de calor más adecuado, para los demás cálculos se utilizaran 48 V, ya que no se conoce con certeza cuanto se decrementa el voltaje de la batería al utilizarse.

Para recargar los niveles de voltaje del banco de baterías a 48V, se encontró que el cargador de la compañía LESTER Electrical modelo 26070, mostrado en el anexo C.5, es el más adecuado.

Aunque este cargador de baterías proporciona una corriente de carga de 17 A y por lo tanto del anexo C.4 se obtuvo que la carga almacenada es de aproximadamente 412 Ah.

En Anexo B.8 se puede observar la carga total que consumen los LEDs conectados al regulador de voltaje es de 2688 Wh. Debido a este dato se encuentra en Watt-hora y los valores de la carga almacenada se encuentran en Amper-hora, la carga almacenada

en la batería se debe convertir a Watt-hora, para que los cálculos sean más sencillos. Para esto se debe multiplicar el voltaje del banco de baterías por la carga almacenada, y se tienen:

$$\text{Carga en W - h} = 48\text{V} * 400\text{Ah} = 19776\text{Wh}$$

Ya con esta conversión se determina el porcentaje de descarga de las baterías a causa de la carga consumida por los LEDs, por medio la regla de tres se obtiene para un banco de baterías de 48V con 400 A.

$$\% \text{ descarga} = \frac{100\% * 2688\text{Wh}}{19776\text{Wh}} = 13.592\%$$

Observando el anexo A.5, se puede estimar los ciclos de vida para la batería S-350 que corresponde a la serie 4000, con el porcentaje de descarga del 14%, el ciclo de vida superior a 2000 ciclos, que divididos entre 365 días dan como resultado*:

$$t_{\text{vida}} = \frac{2000}{365} = 5.479\text{años}$$

Lo que indica que la duración de la batería será la máxima prospectada por el fabricante bajo condiciones normales de operación. Aunque es necesario determinar el límite de energía utilizable en caso de que el suministro eléctrico sea suspendido y la batería deba hacer uso de la energía de reserva.

* Un ciclo corresponde a una carga y descarga, por lo tanto se está considerando que la batería se carga y descarga cada día.

4.2.3 Limite de energía utilizable

Siguiendo las indicaciones del fabricante para una correcta operación de la batería; su voltaje debe mantenerse como mínimo en 1.75Volts por celda. Si la batería S-350 tiene tres celdas de 2 Volts daría como resultado que el porcentaje de voltaje mínimo por celda es de 12.5%.

Si el voltaje de las baterías en serie es de 48 Volts, el voltaje mínimo al que puede llegar este arreglo es de 42 Volts. Observando las especificaciones de la batería S-530 colocadas en el Anexo C.4, puede proporcionar una capacidad de 25 Amperes por 870 minutos*, sin que el voltaje baje más del 12.5%. Realizando la conversión a Amper-hora se obtiene:

$$(25A)(870\text{min}) = 21750A.\text{min} \left(\frac{1\text{hora}}{60\text{min}} \right) = 362.5Ah$$

Al multiplicar el voltaje total del arreglo de la batería se obtiene la capacidad en watt-hora.

$$(48V)(362.5Ah) = 17400Wh$$

Y si la carga consumida es de 2688 Wh al día, podemos determinar los días que puede estar el banco de baterías sin alimentación en caso de que el la red eléctrica falle:

$$\frac{17400Wh}{2688Wh} = 6.473\text{días}$$

De esta forma se puede asegurar que el banco de baterías puede soportar 6.473 días sin recibir alimentación, en una situación crítica y sin exponerse a un desgaste irreversible.

* Este valor es proporcionado por el fabricante en los datos técnicos y comúnmente es colocado como capacidad de reserva

4.2.4 Energía consumida por el cargador

Siendo que esta tesis esta enfocada al estudio de la seguridad de la instalación, es necesario contemplar la energía que consume la instalación propuesta, para verificar que la instalación es amigable con el medio ambiente, ya que de esto de pende la determinación de sustentabilidad, la cual será tratada posteriormente.

Debido a que la instalación de iluminación recibe energía de las baterías el consumo de energía total recae en la fuente de alimentación de las baterías y es en el cargador de las baterías donde se deben basar los cálculos de la potencia total consumida. Para esto el fabricante indica que se debe dividir la energía consumida entre la eficiencia.

Asumiendo que el banco de baterías se encuentra descargado a la profundidad de carga consumida por los LEDs y se requiere que banco de baterías retorne a la carga completa, primero se debe obtener la eficiencia a la que trabaja el cargador, este dato es proporcionado por el fabricante en los datos técnico.

Aunque, pudiera ser calculado de forma manual, pero se recurriría del conocimiento de todos los componentes involucrados en la regulación del voltaje, pero como se desconocen estos parámetros se utilizara el valor dado por el fabricante.

Como se recordara, anteriormente se determino que el cargador de baterías de la compañía Lester electrical modelo 26070, mostrado en el anexo C.5, es el mas adecuado para recargar el banco de baterías.

Para este cargador de baterías, el fabricante a proporcionado un valor de eficiencia de 85%, ya que se tiene este valor se procede a realizar la división de la potencia consumida entre la eficiencia del cargador.

Recordando que la potencia total consumida por los reguladores es de 2688 Wh, se realiza la operación correspondiente para obtener la potencia total consumida por el cargador.

$$P_{Total} = \frac{2688Wh}{0.85} = 3162.353Wh$$

De esta forma se determina para la instalación, el consumo total de energía en un día de operación, este valor servirá en caso de que se requiera de un análisis más minucioso de la eficiencia de la nueva instalación.

4.3 Selección del cableado de la iluminación

La distribución de la electricidad en un área techada, ya sea la industria, oficinas y en viviendas se realiza por medio de los conductores de distintos calibres. De forma básica, los conductores son seleccionados partiendo de la potencia consumida por los equipos que son conectados a la red eléctrica.

Partiendo de la determinación de la potencia consumida total se procede seleccionar el calibre del conductor dependiendo de la capacidad de corriente que puede soportar. Para esto se debe conocer la corriente demandada por los equipos conectados a la línea eléctrica, por medio de la fórmula de potencia eléctrica:

$$P = IV \quad [W] \quad 4.20$$

La cual despejando la corriente queda:

$$I = \frac{P}{V} \quad [A] \quad 4.21$$

Posteriormente, el resultado de la fórmula 4.21 es dividido entre la corriente máxima permisible del conductor para obtener el número de circuitos derivados en la instalación, quedando:

$$C = \frac{I}{I_p} \quad 4.22$$

Posteriormente, en el caso de que los conductores seleccionados sean colocados en tubo Conduit, es necesario considerar que la capacidad de conducción esta limitada por la temperatura como lo enuncia Enríquez Harper ^[2], de tal manera que al ser colocados en una tubería, se debe ser muy cuidadoso con el número de conductores alojados en ella.

Siendo prescindible dejar un espacio dentro de la tubería que permita la libre manipulación del conductor y el intercambio de temperatura del conductor hacia el aire, a esto se le conoce como factor de relleno y es obtenida por medio de la fórmula 4.23:

$$F = \frac{a}{A} \quad 4.23$$

De lo anterior, la NOM-001-SEDE-2005 establece que el factor de relleno que debe considerarse para todo tipo de conductores colocados dentro del tubo Conduit son los siguientes:

Tabla 4.5 Factor de relleno para todo tipo de tubo Conduit

Número de conductores	Factor de relleno
1	53
2	31
+2	40

(NOM-001-SEDE-2005)

Para seleccionar el diámetro del tubo Conduit a emplear, el área del tubo de la fórmula 4.23 se despeja y se tiene:

$$A = \frac{a}{F} \quad [\text{mm}^2] \quad 4.24$$

Con el resultado de la fórmula 4.24, se observa el diámetro del tubo conduit y se selecciona el valor más cercano superior al resultado calculado. Los diámetros comerciales del tubo conduit se muestran en el Anexo B.9.

De lo anterior, se tiene para iniciar la selección del conductor, la potencia demandada por los LEDs para cada habitación en el anexo B.8, en la descripción, potencia en Watts.

Con base en esta demanda de potencia, se calcula la corriente que será demandada para alimentar los LEDs, aunque para este caso no se recomienda utilizar la fórmula 4.21, ya que el voltaje proveniente de las baterías es variable y al utilizado en la fórmula 4.21 daría valores erróneos de corriente, siendo que la corriente en alimentara los LEDs será constante.

Conociendo que por cada regulador pasa una corriente de 350mA se puede realiza la multiplicación de la corriente por el número de reguladores, ya que estos reguladores serán colocados en paralelo y por ellos pasa una corriente igual. Con base en lo anterior se obtiene para el área de la sala una corriente demandada de:

$$I_{sala} = (350mA)(3) = 1.05A$$

Siguiendo los pasos anteriores se calcularon los resultados mostrados en la tabla del Anexo B.10, sumando los valores de corriente de cada una de las plantas se tiene que para la planta baja la corriente demandada es de 8.75 A y para la planta alta 6.65A

Posteriormente se selecciona la capacidad de corriente para los circuitos derivados, que de la NOM-001-SEDE-2005 Artículo 210-23a, la cual describe que la corriente para un circuito derivado de iluminación en viviendas puede ser de 15 A y 20 A.

Considerando que la instalación funciona a un voltaje inferior a 120V, la corriente descrita por la norma, no puede ser utilizada, ya que se provocaría una caída de voltaje mayor a los 3% especificados para la nueva instalación, por esta razón se debe determinar la capacidad de corriente adecuada que puede pasar por el conductor.

Despejando la corriente de la fórmula 4.1, se puede determinar la corriente permisible para la nueva instalación y con este resultado determinar el calibre mas

adecuado del conductor. Queda la fórmula 4.25 con la corriente despejada de la siguiente forma.

$$I = \frac{V}{[(r)(L)]} \quad [A] \quad 4.25$$

La longitud del conductor se puede obtener midiendo la longitud de la tubería, utilizando una guía de cable; otro método es utilizar un localizador de cableado y de forma externa medir la longitud. En el Anexo D.3-a y D.3-b se muestran las distintas longitudes del tubo conduit.

Para obtener la longitud total del cableado, del anexo D.3-b se tomaron la longitud del tubo al punto más lejano de alimentación (pasillo -3), considerando la distancia de los apagadores.

Ya que no se conoce con certeza la ubicación del banco de baterías, debido a que para determinar el lugar real se requiere de un estudio de suelos efectuado por un ingeniero civil, se tomara como punto inicial el tablero de protecciones de los circuitos derivados. El cual estará ubicado en el balcón, como se muestra en el Anexo D.4. Para su colocación es necesario realizar unos ajustes físicos en la pared y la adición de un tramo de tubería en la planta alta que interconecte este circuito, el cual es mostrado en el Anexo D.3-b como una línea punteada.

La alimentación de la planta baja se tomara de la misma ubicación, bajando por un tubo conduit hacia una de las cajas de conexiones de la fachada baja, que ya se encuentran instaladas, como se puede apreciar en el Anexo D.3-a.

Las protecciones se encontraran a una altura no mayor a 2 m como lo especifica la NOM-001 en el artículo 380-8 a.

Con base a las longitudes del tubo conduit y tomando como referencia una altura de 2 m del tablero de protecciones, se calcula que la distancia que debe recorrer el conductor es de 28.38m, distancia a la cual se le adicionara 20% correspondiente a

dobleces y empalmes como lo menciona Enríquez Harper ^[2], y se multiplicar por dos considerando el conductor neutro, obteniendo una longitud del conductor de.

$$L = [28.38\text{m} + 20\%]2 = 68.112\text{m}$$

Considerando que los conductores tipo alambre presentan una resistencia menor como se puede observar en Anexo B.6, se emplearán los de conductores de este tipo en los más utilizados en una instalación interior de vivienda.

Por otro lado se debe considerar el valor de resistencia de cada conductor a la temperatura máxima de operación, ya que ésta varía con la temperatura. En el Anexo C.6 se muestran las características de un conductor THWN/THHN, de la marca VIAKON, la cual para este tipo de aislante tiene una temperatura máxima de operación de 90°C. Para obtener la resistencia del conductor a esta temperatura se ha utilizado la fórmula que viene al final de la tabla del Anexo B.6 y los resultados se han colocado en la Tabla 4.6 en la descripción resistencia.

Recordando que la caída de voltaje permisible es de 3% el voltaje de las baterías y la longitud del conductor al punto mas lejano a alimentar es de 68.112 m, se sustituyen sus valores en la fórmula 4.19 obteniendo el valor de la corriente que puede pasar por el conductor, sin que el voltaje se reduzca mas de 3%, los resultados se muestran en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6 Corriente permisible en los conductores

Conductor	Resistencia [Ω/m]	Corriente [A]
14	10.589×10^{-3}	1.996
12	6.637×10^{-3}	3.185
10	4.162×10^{-3}	5.08

De la tabla anterior se determinó que el calibre mas adecuado para la instalación es el numero 10 con una corriente máxima permitida de 5.08 Amperes.

Sustituyendo los valores de la corriente máxima que conducirá el conductor al emplear los LED y la corriente máxima permitida para evitar una caída de voltaje, en la fórmula 4.22 se obtiene el siguiente número de circuitos:

- Recordando que en la planta baja la corriente es de es de 8.75 Amperes obtenidos del anexo B.10, resulta un número de circuitos de.

$$C = \frac{8.75A}{5.08A} = 1.722 \approx 2 \text{ circuitos}$$

- Y para la planta alta la cual maneja una corriente de 6.665 A, se obtiene.

$$C = \frac{6.65A}{5.08A} = 1.309 \approx 2 \text{ circuitos}$$

Por lo tanto de los resultados anteriores se tiene la distribución de la instalación de iluminación del diagrama unifilar del Anexo D.5, con la corriente de cada circuito derivado.

Para verificar que la tubería de la instalación anterior, pueda soportar el calibre del conductor seleccionado se empleara la Fórmula 4.24 y de la Tabla 4.5 se obtiene un factor de relleno de 40%, ya que en el tubo se encontraran varios conductores, como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 4.7 Número de conductores por planta de la casa

Zona	Planta baja	Planta alta	Calibre del conductor
Instalación de iluminación	4	4	10
Instalación de fuerza	2	2	10

En el Anexo C.6 se presenta la tabla de dimensiones de los conductores marca VIAKON, de donde se tomó el diámetro exterior aproximado del conductor, para determinar el área que ocupara dentro del tubo conduit. Por medio de la fórmula del área de una circunferencia se determina que este conductor ocupa un área de:

$$A = \frac{\pi(4\text{mm})^2}{4} = 12.566\text{mm}^2$$

El área del conductor, multiplicada por el número de conductores dentro del tubo conduit, dará como resultado el área total ocupada. La cual es de 75.396mm^2 para cada una de las plantas

$$(6)(12.566\text{mm}^2) = 75.396\text{mm}^2$$

Empleando la fórmula 4.24 se obtiene un tubo conduit para la planta baja de:

$$A = \frac{75.396\text{mm}^2}{0.4} = 188.49\text{mm}^2$$

En el Anexo B.9 se observan las dimensiones comerciales del tubo conduit, por lo tanto para el resultado anterior, se debe emplear un tubo de $\frac{3}{4}$ ". Y para la planta alta se tiene.

$$A = \frac{59.488\text{mm}^2}{0.4} = 148.72\text{mm}^2$$

En donde se puede emplear un tubo de $\frac{1}{2}$ " o de $\frac{3}{4}$ ", pero se sugiere que sea de $\frac{3}{4}$ " para manipular de una forma más cómoda el cableado.

De la instalación eléctrica real, se tiene que esta se encuentra embutida en el concreto y se utilizo un tubo conduit de PVC flexible de $\frac{3}{4}$ ", por lo tanto para este caso un rediseño de la configuración de la tubería no es necesario.

En el caso los conductores que alimenta desde el regulador de voltaje hacia los LEDs, estos también se deben seleccionar considerando una caída de voltaje como se observo anteriormente.

Sin embargo dado que la corriente que se circula por estos conductores es mínima, el factor determinante de la caída de voltaje en el conductor es la longitud, la cual por causa de la distribución de los LEDs en el área del techo, hace evidente que el diseñador de la instalación debe emplear una longitud del conductor mínima.

4.4 Selección de los elementos de protección de sobre corriente

La selección de los elementos de protección contra sobre corriente, de acuerdo con la NOM-001-SEDE-2005 en el artículo 240-1, indica que la protección contra sobre corriente de los conductores debe ser instalada de tal forma que interrumpa el flujo eléctrico en caso de falla, para evitar el sobrecalentamiento del conductor.

Para calcular la corriente de falla por corto circuito, se puede utilizar la fórmula 4.25, utilizando los parámetros del conductor seleccionado, los cuales con:

- Alimentación: 48V
- Longitud del conductor: 68.112 m
- Resistencia del conductor: $4.162 \times 10^{-3} \left[\frac{\Omega}{m} \right]$

Sustituyendo los valores anteriores en la fórmula 4.25, se obtiene una corriente de falla de:

$$I = \frac{48V}{\left[\left(4.162 \times 10^{-3} \frac{\Omega}{m} \right) (68.112m) \right]} = 169.323A$$

Considerando que los dispositivos de interrupción automáticos, están diseñados para desconectar el circuito a un intervalo de tiempo, determinado por la corriente de falla ^[2]. Por lo tanto no es recomendable utilizar estos dispositivos de protección para el circuito analizado en esta tesis.

Por lo tanto es mejor utilizar fusibles, para que el circuito se abra instantáneamente al ocurrir una falla. Conociendo del anexo D.5 que, en la planta baja se tienen dos circuitos derivado por los cuales pasaran 4.55 A y 4.2 A, por lo tanto se utilizara un fusible de 5 A. De la planta alta se tienen un circuitos derivados que conducirá 2.45 A, para el cual se empleara un fusible de 3.15 A y para el circuito con 3.15A se empleara un fusible de 4 A.

Para el circuito alimentador, que está colocado entre el banco de batería y las protecciones de los circuitos derivados, debe colocarse un fusible de 20 A como se muestra en el diagrama unifilar del anexo D.5

Ya obtenidos los valores de todos los componentes que integran la instalación de iluminación, es necesario determinar si esta cumple con el objetivo principal, realizando una evaluación de la seguridad de la instalación.

REFERENCIAS

- [1] DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION, *NOM-001-SEDE-2005*. Estados unidos mexicano, 2005.
- [2] HARPER Enríquez, *El ABC de las instalaciones eléctricas residenciales*. Editorial Limusa. México, 1998

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- [2] ROLLS BATTERY. *Note 509, Battery Charging and Systems*
<http://www.rollsbattery.com/content/product-troubleshooting>. Año de consulta 2011.

Capitulo V Evaluación de la seguridad

En este capitulo se evaluará la seguridad entre una instalación de iluminación con focos incandescentes, con focos fluorescentes y con LEDs en los aspectos siguientes: calor generado, riesgo de incendio y contaminantes nocivos.

5.1 Temperatura de operación

Para definir si efectivamente la instalación analizada es segura y que los componentes que la integran no alcanzan temperaturas que pongan en riesgo la instalación y cumplir con el objetivo planteado, se debe llevar a cabo una evaluación de la temperatura alcanzada de los componentes que integran la instalación analizada.

Para observar con más detalle el efecto de la temperatura, se realizará una comparación con la instalación convencional, en cuanto a la temperatura que alcanza el conductor y la temperatura de operación del LED comparado con la temperatura alcanzada por el foco incandescente y el foco fluorescente compacto.

5.1.1 Riesgo de incendio al utilizar los dispositivos de iluminación

Determinar si la temperatura alcanzada por la iluminación con LED es efectivamente es menor que la temperatura alcanzada por el foco incandescente es necesario comparar el calor despedido por los focos incandescentes y los fluorescentes compactos.

Para esto, se realizó un pequeño experimento, en el cual se tomaron las temperaturas de dos muestras de focos, el foco incandescente Osram de 60 W y el foco ahorrador de General Electric tipo Helicoidal de 15 W modelo FLE15HT3/2/SW.

El experimento se llevó a cabo en una habitación cerrada para evitar corrientes de aire y simular una casa vacía en temporada vacacional, el experimento tubo inicio a las 7:48 AM del día 5 de agosto de 2011 con una temperatura de ambiente en la habitación de 21 °C causado por la iluminación en ese instante, como instrumento de medición se empleo un multímetro digital marca Truper modelo MUT-33 y la sonda termopar incluida.

Los resultados de las temperaturas arrojados a intervalos de 5 minutos para los focos fueron colocados en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Resultados del experimento de temperaturas.

Foco	1 minuto de operación	5 minutos de operación	10 minutos de operación	15 minutos de operación	20 minutos de operación
Incandescente	127 °C	175°C	176 °C	176°C	176 °C
Ahorrador	36°C	55 °C	57 °C	58 °C	58 °C

Como se puede observar el foco ahorrador no alcanza ni la mitad de la temperatura del foco incandescente, cabe mencionar que los resultados fueron influenciados por las pequeñas corrientes de aire provocadas por los pequeños movimientos corporales hechos al tomar las lecturas.

Para comprobar el riesgo existente de un incendio se colocó un trozo de hoja de libreta común sobre el foco incandescente, la exposición del papel a la temperatura del foco incandescente fue de 30 minutos a la máxima temperatura alcanzada en la tabla 5.1 y el resultado se muestra en la figura 5.1.



Figura 5.1 Daño causado por el calor del foco incandescente
(Luis Felipe Plomeque Chacón)

En la cual se pueden observar los efectos producidos por la alta temperatura del foco, lo que puede interpretarse como un provocador de incendio, y en parte es razonable ya que entre los consejos de los bomberos se encuentra, el no colocar ningún objeto flamable sobre el foco ^[3]. Por otro lado se repitió el mismo experimento con el foco ahorrador obteniendo la figura 5.2.



Figura 5.2 Efecto de la temperatura causado por el foco ahorrador
(Luis Felipe Palomeque Chacón)

Y se observa en la Figura 5.2, no existe un daño visible causado por el calor del foco ahorrador.

Para Comparar los resultados anteriores con la temperatura alcanzada por el LED, se tomará como punto critico la temperatura del MCPCB, ya que este elemento es el encargado de la disipación de calor y por lo tanto en esta zona es donde se presenta una mayor temperatura.

De la fórmula 1.4, con referencia a la resistencia térmica del MCPCB al ambiente, se obtiene:

$$R_{\theta_{amb-MCPCB}} = \frac{(T_{MCPCB} - T_{amb})}{P_D} \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right] \quad 5.1$$

Sustituyendo la fórmula anterior en la fórmula 3.4 y despejando la temperatura del MCPCB, se obtiene la fórmula 5.2.

$$T_{MCPCB} = [(R_{\theta J - amb}) - (R_{\theta J - ms})]P_D + T_{amb} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad 5.2$$

Para resolver la fórmula anterior, se tienen los siguientes datos:

$$R_{\theta J - amb} = 14.5 \frac{\Omega}{^{\circ}\text{C}} ; R_{\theta J - ms} = 10 \frac{\Omega}{^{\circ}\text{C}} ; P_D = 1.12\text{W}$$

Como temperatura ambiente, se utilizará la temperatura más alta alcanzada por la habitación, la cual se encuentra en la tabla 3.5, la cual es de 33°C correspondiente a la zona del baño.

Sustituyendo los valores anteriores en la fórmula 5.2 se obtiene que la temperatura alcanzada por el MCPCB es de.

$$T_{MCPCB} = \left(14.5 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} - 10 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right) (1.12\text{W}) + 30^{\circ}\text{C} = 35.04^{\circ}\text{C}$$

Del resultado anterior se observa una diferencia notable, en comparación con la temperatura del foco incandescente y una diferencia de 22.96 °C con respecto al foco ahorrador de 15 W.

Por lo tanto se comprueba que la implementación de los LEDs en cuanto a la temperatura de operación es segura, ya que éste genera una cantidad menor de calor al operar. Aunque es necesario determinar la temperatura de operación del conductor a la corriente máxima que circula por él.

5.1.2 Temperatura alcanzada por el conductor

Para tener una referencia de la temperatura alcanzada por el conductor se empleara la fórmula 1.3, la cual como se menciona en el apartado 1.4, es utilizada para determinar la temperatura de los conductores en las instalaciones subterráneas. Aunque esta fórmula puede proporcionar una referencia sobre la temperatura alcanzada por el conductor.

Para realizar la comparación entre el conductor utilizado para alimentar una instalación convencional utilizando focos incandescentes y el conductor utilizado en la instalación estudiada. Primero se requiere obtener la corriente máxima que pasa por el conductor.

Para esto se tiene que la carga de alimentación esta dada por 13 focos incandescentes de 100W en la planta baja, lo que da una carga de la iluminación de

1300 W. para la planta alta se tienen 11 focos incandescentes de 100W, lo que da una carga de 1100W de la iluminación.

Por medio de la fórmula 4.21 se obtiene la corriente que pasa por el conductor de la planta baja cuando la instalación de iluminación opera al voltaje de 120V suministrado por la red eléctrica, con una carga de 1300W, lo que da como resultado el paso una intensidad de corriente de.

$$I = \frac{1300W}{120V} = 10.833A$$

Y para la planta baja con la misma alimentación, con una carga de 1100W, se tiene

$$I = \frac{1100W}{120V} = 9.165A$$

Conociendo que el conductor utilizado en esta instalación es de calibre 12 marca ViaKon, de los datos técnicos mostrados en el anexo C.6, se obtiene que la máxima corriente permisible para este conductor es de 25°C soportando el aislamiento una temperatura máxima de 90°C.

Sustituyendo la temperatura ambiente mas alta de que hay en las habitaciones, la cual corresponde a la zona baño con una temperatura de 33°C, en la fórmula 1.3, así también los valores antes obtenidos, se tiene como referencia una temperatura de conductor en la planta baja de.

$$\theta = 33^{\circ}\text{C} + \left[(90^{\circ}\text{C} - 33^{\circ}\text{C}) \left(\frac{10.833\text{A}}{40\text{A}} \right)^2 \right] = 37.181^{\circ}\text{C}$$

Y para la planta alta.

$$\theta = 33^{\circ}\text{C} + \left[(90^{\circ}\text{C} - 33^{\circ}\text{C}) \left(\frac{9.165\text{A}}{40\text{A}} \right)^2 \right] = 35.992^{\circ}\text{C}$$

Cabe señalar que el dato de la temperatura ambiente, solo corresponde a la temperatura ambiente de la habitación y no a la temperatura ambiente dentro de la canalización, aunque se recuerda que el empleo de la fórmula 1.3 en esta tesis solo es con fines de referencia.

Para la instalación estudiada se tiene del anexo D.5, en los circuitos correspondientes a la planta baja, el paso de corriente con un valor de, 4.55 A y 4.2 A; para la planta alta el valor de la corriente de los circuitos es de, 2.45 A y 3.15 A. El conductor empleado, como se recordará es de calibre 10, el cual soporta una corriente de 40 A y su aislante una temperatura máxima de operación de 90°C.

Sustituyendo los valores anteriores en la fórmula 1.3, empleando una temperatura ambiente de 33°C, se obtiene una temperatura del conductor para los circuitos de la planta baja de.

$$\theta_{\text{circuito 1}} = 33^{\circ}\text{C} + \left[(90^{\circ}\text{C} - 33^{\circ}\text{C}) \left(\frac{4.55\text{A}}{40\text{A}} \right)^2 \right] = 33.738^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_{\text{circuito 2}} = 33^{\circ}\text{C} + \left[(90^{\circ}\text{C} - 33^{\circ}\text{C}) \left(\frac{4.2\text{A}}{40\text{A}} \right)^2 \right] = 33.628^{\circ}\text{C}$$

Y para los circuitos de la planta alta.

$$\theta_{\text{circuito 3}} = 33^{\circ}\text{C} + \left[(90^{\circ}\text{C} - 33^{\circ}\text{C}) \left(\frac{3.5\text{A}}{40\text{A}} \right)^2 \right] = 33.436^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_{\text{circuito 4}} = 33^{\circ}\text{C} + \left[(90^{\circ}\text{C} - 33^{\circ}\text{C}) \left(\frac{3.15\text{A}}{40\text{A}} \right)^2 \right] = 33.353^{\circ}\text{C}$$

Realizando la comparación de las temperaturas alcanzadas por el conductor de la instalación estudiada con respecto a la instalación alimentada por la red eléctrica, a modo de referencia se tiene que el conductor de la instalación estudiada, mantiene una temperatura de operación cercana a la temperatura ambiente donde será colocado.

Aunque para determinar la temperatura real alcanzada por el conductor, se requiere de un análisis físico del conductor, considerando la temperatura que tendrá la canalización y empleando equipos de medición que determinen la temperatura del conductor operando a los voltajes de la instalación estudiada en esta tesis.

5.1.3 Temperatura interna del regulador.

Esta evaluación se realizará solo para verificar que la temperatura interna del dispositivo de regulación se mantendrá en los límites de operación y garantizar que el dispositivo no se dañará por causa de la operación normal.

Para este dispositivo, de los datos técnicos mostrados en el anexo C.3, se obtiene una resistencia térmica de la junta al ambiente de $60^{\circ}\text{C}/\text{W}$ y a una resistencia térmica de la junta al pin de $12^{\circ}\text{C}/\text{W}^*$.

Para determinar la temperatura interna del dispositivo, se puede emplear la fórmula 3.2. Sustituyendo la resistencia térmica de $60^{\circ}\text{C}/\text{W}$ y la temperatura más alta de las habitaciones, la cual es de 33°C correspondiente a la zona baño y recordando del tema 4.1.1.2 que la potencia máxima disipada por el regulador es de 3.013W se obtiene la temperatura interna alcanzada por el regulador es de:

$$T_J = \left(60 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} * 3.013\text{W} \right) - 33^{\circ}\text{C} = 147.7^{\circ}\text{C}$$

Por lo que este dispositivo, al operar con la carga total del banco de baterías recién recargado, estará en los límites de operación. Aunque esto puede corregirse, ya sea utilizando un área de cobre mayor en el circuito impreso PCB, como se muestra en los

* Se maneja la resistencia térmica de la junta al pin, debido a que los pines del dispositivo ocupan la mayor parte del área, siendo así se convierten en un medio de disipación.

datos técnicos del anexo C.3, al verificar las características máximas de operación, se encuentra que para 4 cm² de cobre la potencia soportada se incrementa.

Otra solución, es la colocación de un disipador de calor, para evitar el rediseño de al PCB. Del catálogo de la empresa Digi –Key se seleccionó el disipador con número de referencia HS179-ND, el cual tiene una resistencia térmica de 20°C/W, con la ventaja de ser colocado a presión, encima del regulador de voltaje y cuyo esquema de la empresa AAVID Thermalloy se muestra a continuación.

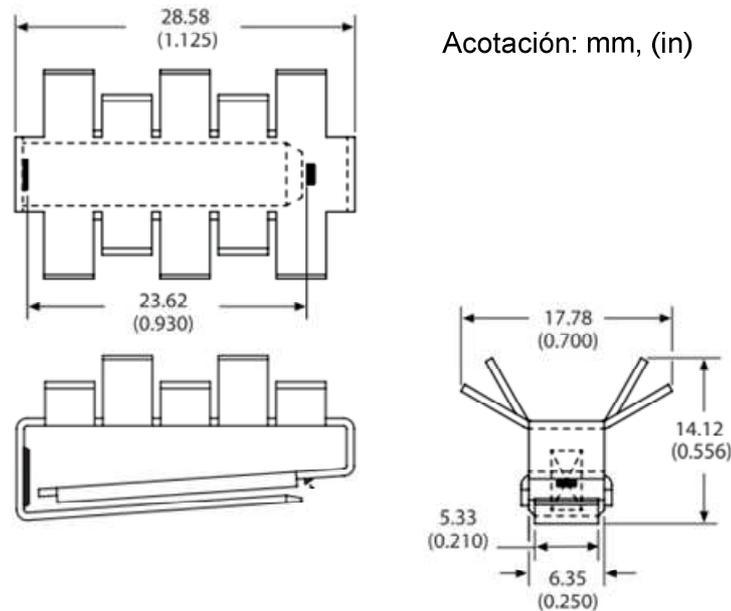


Figura 5.3 Dimensiones del disipador (AAVID Thermalloy,2010)

Para utilizar el disipador de calor, es necesario determinar cómo será la ecuación de la resistencia térmica, observando la figura 5.4 se obtiene que la resistencia térmica de la junta al ambiente es la suma de la resistencia térmica de la junta al pin y la resistencia térmica del disipador al ambiente.

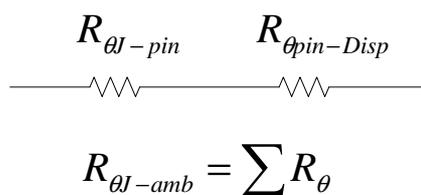


Figura 5.4 Diagrama de resistencia Termica

De la figura anterior se obtiene la siguiente fórmula.

$$R_{J-amb} = R_{J-pin} + R_{Disp-amb} \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right] \quad 5.3$$

Sustituyendo en la fórmula 3.2 la 5.3 y despejando la temperatura de juntura se obtiene.

$$T_J = \left[(R_{J-pin} + R_{Disp-amb}) P_D \right] + T_{amb} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad 5.4$$

Sustituyendo la resistencia térmica de juntura al pin de $12^{\circ}\text{C}/\text{W}$ y la resistencia térmica del regulador, la cual es de $20^{\circ}\text{C}/\text{W}$ en la fórmula 5.4, se obtiene una temperatura interna de operación de.

$$T_J = \left[\left(12 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 20 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right) 3.013^{\circ}\text{C} \right] + 33^{\circ}\text{C} = 129.416^{\circ}\text{C}$$

Con lo cual se asegura que el regulador de voltaje se mantendrá dentro de los niveles de operación. Para el regulador, es necesario considerar una posible caída de tensión mayor a la calculada en el capítulo 4, con el propósito de determinar si los LEDs sufrirán algún daño debido a esto.

5.1.4 Análisis de la integridad de los LEDs por causa del voltaje de Dropout

Como se mencionó en el apartado 4.1.1, un voltaje de dropout pequeño, debe considerarse para asegurar la integridad de los LEDs conectados al regulador. Debido a que la instalación estudiada es alimentada por un banco de baterías, se produce una caída de voltaje causada por la descarga normal del banco de almacenamiento.

De la tabla 4.4 se observa que el voltaje mínimo a regular es de 40.56 V y el voltaje máximo a la salida del regulador es de 40.36 V. Considerando que el voltaje a la entrada del regulador, disminuyera a un nivel inferior de la tolerancia, por ejemplo a 40.5 V, y tomando en cuenta que el L4973 tiene un voltaje de dropout de 0.2V, se

observa que al bajar el voltaje de la entrada a 40.5 V, a la salida se obtendrá ese mismo valor, ya que el voltaje a la entrada presenta una diferencia de 0.16 V con respecto al voltaje de salida.

Para determinar el voltaje que reciben los LEDs, es necesario calcular la resistencia total del circuito de los LEDs operando normalmente, por medio de la Ley de Ohm.

$$R = \frac{V}{I} \quad 5.5$$

Sustituyendo en la fórmula 5.5 el voltaje máximo a la salida del regulador y la corriente consumida, la cual es de 350mA, se obtiene un resistencia total del circuito de.

$$R = \frac{40.36V}{0.35A} = 115.314\Omega$$

Con este valor de resistencia, se debe calcular la corriente que pasa por el circuito al momento de ocurrir la no regulación por causa de la caída de voltaje proveniente de la fuente. Para ello se despeja de la fórmula 5.5 la corriente, quedando la fórmula 5.6.

$$I = \frac{V}{R} \quad [A] \quad 5.6$$

Sustituyendo en la fórmula 5.6 la resistencia previamente calculada y el voltaje correspondiente al periodo de no regulación, el cual es de 40.5. Se obtiene una corriente de.

$$I = \frac{40.5V}{115.314\Omega} = 0.351A$$

Como se recordará del apartado 4.1.2.2, el circuito de los LEDs tiene una resistencia que limita el paso de la corriente, la cual está conectada en serie con los LEDs. Y de la

fórmula 4.3 se observa que la corriente que circula en el circuito serie, es la misma. Por lo tanto despejando el voltaje de la fórmula 5.5 se obtiene el voltaje que pasa por la resistencia de regulación de corriente, quedando la siguiente fórmula.

$$V = I * R \quad [V] \quad 5.7$$

Recordando del apartado 4.1.2.2 que la resistencia limitadora tiene un valor de 5.6Ω y sustituyendo el valor de la corriente en la fórmula 5.7 se obtiene un voltaje que pasa por la resistencia limitadora es de.

$$V = (0.351A)(5.6\Omega) = 1.966V$$

Despejando de la fórmula 4.6 el voltaje del LED se obtiene la fórmula 5.8

$$V_{LED} = \frac{(V_T - V_R)}{n} \quad [V] \quad 5.8$$

Sustituyendo el voltaje de 40.5 V y el voltaje de la resistencia limitadora en la fórmula 5.8, se obtiene.

$$V_{LED} = \frac{(40.5V - 1.966V)}{12} = 3.211V$$

Aproximadamente por cada uno de los LEDs conectados al regulador pasará un voltaje de 3.211 V con una corriente de 351 mA, encontrándose dentro de los valores de operación proporcionados por el fabricante.

Ya que se tiene un incremento en los valores de operación, la potencia disipada por el LED será de 1.127 W, los cuales fueron obtenidos de la fórmula 1.5. Por lo tanto la temperatura interna del LED será afectada proporcionando un menor flujo luminoso.

Para comprobarlo se sustituirá la potencia disipada de 1.127 W en la fórmula 3.3, utilizando los valores de Resistencia térmica, antes mencionados en el apartado 3.3 y

temperatura ambiente de 33°C correspondiente a la zona baño, obteniéndose el siguiente resultado.

$$T_J = \left(10 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 4.5 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right) 1.127\text{W} + 33^{\circ}\text{C} = 49.342^{\circ}\text{C}$$

Comparando los resultados de la tabla 3.6, se observa que la temperatura interna del LED para esta zona es de 49.24, por lo tanto la variación del flujo luminoso con una temperatura de juntura de 49.342 °C, solo será de milésimas.

Para verificar con mas detalle el efecto del voltaje de Dropout, a continuación se realiza una comparación con el regulador LM338 cuyas características se mostraron en la tabla 4.1, Donde se observa que el voltaje máximo a la entrada soportado por el regulador es de 40 V, por lo tanto la alimentación proveniente de las baterías debe ser de 36 V, siendo el voltaje mínimo a regular de 30.42. Empleando para estos valores la fórmula 4.3, se obtiene un voltaje máximo a la salida.

$$V_r = 30.42\text{V} - 3\text{V} = 27.42\text{V}$$

Al resultado anterior se le aplica la fórmula 4.4 para determinar el número de LEDs soportados, obteniéndose.

$$n = \frac{27.42}{3.2} = 8.568 \approx 8\text{LEDs}$$

Aplicando los procedimientos del apartado 4.1.2.2 se obtuvo una resistencia limitadora de corriente de 5.2 Ω. Realizando el procedimiento visto en este apartado*, para determinar el voltaje de los LEDs, considerando un voltaje no regulado de 30.419V proveniente de las baterías, se obtiene que los LEDs son alimentados con una corriente de 389mA con un voltaje de 3.55V. Por lo tanto los LEDs operan en los límites

* Aplicación de las fórmulas al regulador LM338, anexo E.2

máximos de operación establecidos por el fabricante, el cual del anexo C.2 se obtuvo que es de 3.6V.

La temperatura de juntura para los LEDs alimentados por el LM338 es de 53.025 °C, por lo tanto observando la gráfica de porcentaje relativo de luz de los datos técnicos del LED se obtiene un flujo luminoso de aproximadamente 93 lm.

Por lo tanto, de los análisis efectuados anteriormente se observa que, al utilizar un regulador con un voltaje de Dropout bajo, permite tener un voltaje máximo a la salida cercano al voltaje de la entrada, lo cual dará como resultado un número de LEDs mayor, en comparación con el regulador de Dropout alto.

Esta diferencia en el número de LEDs es decisiva para asegurar la supervivencia de los LEDs, ya que el voltaje no regulado de un regulador con Dropout bajo, será distribuido entre el número de LEDs y la potencia disipada por estos será menor, en comparación al utilizar un regulador con un alto Dropout, con el cual se corre el riesgo de superar el voltaje máximo de operación especificado por el fabricante.

Por otro lado, como se puede apreciar en los resultados anteriores, la temperatura interna del LED sufre un incremento, lo cual decreta el tiempo de vida útil de este.

En el anexo A.4, se puede observar que los datos aproximados del tiempo de vida útil del LED seleccionado, están dados a una temperatura de juntura de 103 °C, y el tiempo de vida útil se ve afectado, ya que la reducción del flujo luminoso se encuentra casi en el límite recomendado. Considerando que para cualquier dispositivo de iluminación, se recomienda que sea sustituido cuando el flujo luminoso se encuentre como máximo a 70% del flujo luminoso inicial ^[2].

Por lo tanto a esta temperatura de juntura, los LEDs deben ser sustituidos a las 100000 horas de operación. Sin embargo, ya que la temperatura de juntura del LED seleccionado, se encuentra por debajo de la temperatura empleada en la gráfica del tiempo de vida del LED, se deduce que el flujo luminoso del LED se mantendrá por encima del 70% de flujo luminoso máximo recomendado.

Sin embargo, como se menciona en el apartado 3.4.3, un cálculo real del tiempo de vida a la temperatura ambiente de una habitación, requiere de un análisis de laboratorio, el cual se debe llevar a cabo por un equipo especializado.

5.2 Resistencia a los impactos de los dispositivos de iluminación

Un punto que se debe tratar con respecto a los dispositivos de iluminación, es la resistencia a los impactos, ya que las lámparas fluorescentes y los focos incandescentes, utilizan el vidrio para contener los gases en el dispositivo de iluminación, el cual es un elemento quebradizo al ocurrir algún impacto.

Los fragmentos de vidrio representan un riesgo potencial, que puede provocar lesiones al usuario, debido a la incrustación de los fragmentos de vidrio.

Por otro lado para los LEDs, la resistencia a los impactos es una característica muy importante, ya que se evitarían lesiones.

Esta resistencia a los impactos, se debe a la estructura externa del LED, ya que la parte externa del LED esta elaborada a base de resina plástica, la cual no se fragmentan con facilidad a causa de un impacto y por esta razón no hay esquirlas que pudieran cuasar heridas de gravedad, como la incrustación de los ojos.

Por lo tanto, el LED aventaja en gran medida a los focos y lámparas fluorescentes debido a esta propiedad, aunque el LED presenta otras características que no solo benefician al usuario, sino también al medio ambiente.

5.3 Sustentabilidad y medio ambiente

La seguridad en que proporciona una instalación eléctrica al usuario es importante, aunque también lo es la seguridad del medio ambiente.

La cual de forma general se ve comprometida debido la presencia de contaminantes expulsados al medio ambiente. Ya sea en el agua, por los desechos tóxicos de las fábricas, en la tierra por los pesticidas y los residuos sólidos no biodegradables y en el aire por las emisiones de Dióxido de Carbono o CO₂ emitido por los autos y las fábricas, así como otros contaminantes.

Parte de los contaminantes arrojados a la atmósfera son emitidos el subproducto de la generación de electricidad. En la tabla 5.2 se muestran los datos estadísticos proporcionados por la Comisión Federal de Electricidad CFE, referente a los medios de producción de energía eléctrica del año 2011 en México.

5.2 Datos estadísticos de los medios para producir de electricidad

Medio de generación	Producción energética
Geotermia	2.30%
Carbón	6.23%
Nuclear	3.58%
Eólica	0.04%
Productores independientes	31.24%
Hidráulica	12.84%
Hidrocarburos	43.77%

Como se observa el medio de producción eléctrica más utilizado es la quema de hidrocarburos y del total de la energía generada en México, el 88% es utilizado por el sector residencial ^[4].

De lo cual la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía CONUEE, informa que el 40% del consumo energético en el hogar corresponde a la iluminación ^[5], por lo tanto se hace evidente la necesidad de utilizar dispositivos de iluminación sustentable, para reducir el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

5.3.1 Sustentabilidad energética de la instalación de iluminación.

La sustentabilidad energética, se refiere a la administración adecuada de los recursos energéticos, lograda mediante el empleo de dispositivos eficientes ^[6], los cuales transforman la menor cantidad de energía en calor.

Por lo tanto una instalación eléctrica de iluminación sustentable es aquella en la que el dispositivo de iluminación es más eficiente al transformar la electricidad en luz, esta eficiencia esta ligada a la eficacia del dispositivo de iluminación.

Como se recordará en el apartado 1.2 se tiene la tabla 1.1 correspondiente a la eficacia de los focos incandescentes de 60, 75 y 100W, con su equivalente en foco ahorrador.

Para determinar si los LEDs empleados en la instalación estudiada tienen una mayor eficacia, primero se debe obtener la potencia real consumida por el LED, en conjunto con el regulador de voltaje y el cargador de baterías.

Debiendo obtenerse la eficiencia total del sistema de alimentación, para esto se debe multiplicar la eficiencia del regulador por la eficiencia del cargador de baterías, ya que son los elementos que convierten gran parte de la energía eléctrica en calor.

Del apartado 4.1.1.2 se obtiene que la eficiencia del regulador L4973 es de 84.093%* y del fabricante del cargador de baterías se obtuvo que este tiene una eficiencia de 85%.

Al multiplicar estos valores se obtiene la eficiencia total del circuito de alimentación de los LEDs, dando como resultado.

$$\eta = 84.093\% * 85\% = 71.479\%$$

Para obtener la potencia real consumida por el LED, la cual es la potencia consumida por el LED en conjunto los elementos encargados de la alimentación del LED.

Considerando que la potencia del LED a 1.12 W se puede utilizar el procedimiento del apartado 4.3.4, obteniéndose de forma general que un LED en la instalación de iluminación está consumiendo una potencia de 1.566W.

Empleando la fórmula 1.1 se obtiene que la eficacia luminosa del LED en la instalación de iluminación es de.

$$\eta = \frac{100\text{lm}}{1.566\text{W}} = 63.857 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$$

Comparando este resultado con la tabla 1.1, se observa que los LEDs utilizados para la instalación de iluminación, presenta una eficacia mayor que los elementos de iluminación presentados en la tabla 1.1.

* No se utilizo la eficiencia del regulador, con el banco de baterías recién cargado, ya que es un valor transitorio.

Por lo tanto la instalación eléctrica para la iluminación estudiada en esta tesis, se puede considerar una instalación sustentable, basando la eficacia de la iluminación en el Programa de Luz Sustentable dirigido por el FIDE, como se recordará este es un programa de intercambio de focos incandescentes por lámparas fluorescentes compactas con una eficacia de hasta 69 lm/w.

Aunque el análisis verifica la sustentabilidad de la instalación de iluminación, se pueden considerar otros factores no contaminantes del LED, como se muestra a continuación.

5.3.2 Contaminantes arrojados al medio ambiente.

La consideración de los contaminantes arrojados al medio ambiente, también es necesario considerarla, ya que determinara el la seguridad proporcionada al medio ambiente por medio de la reducción de contaminantes arrojados a la naturaleza.

En el caso de los focos incandescentes, al romperse la ampolla al estar funcionando el foco, libera dióxido de carbono, producto de la combustión del filamento.

Por otro lado, ya que la mayor parte de la energía generada en México es producto de la quema de combustibles fósiles, el consumo energético del foco incandescente libera más dióxido de carbono a la atmósfera. El FIDE, toma como referencia, que se liberan 0.5 Kg. de dióxido de carbono por cada Watt hora consumidos, si la energía eléctrica es generada por medio de la combinación de energía fósil e hidroeléctrica o nuclear.

En la instalación utilizando focos incandescentes de 100W, con el tiempo de operación que la instalación estudiada. En el anexo B.11, se obtiene un consumo total es de 9950 W-h.

Por lo tanto considerando la cantidad de CO₂ liberada al medio ambiente, se obtiene que la instalación utilizando focos incandescentes una liberación de CO₂ de 4975 Kg.

Al utilizar un foco ahorradores de 23W, con el mismo tiempo de operación que la instalación estudiada. En el anexo B.11, se tiene para el foco ahorrador un consumo de 2288.5 Wh, por lo tanto se están liberando 1144.25 Kg. de CO₂ a la atmósfera.

De lo anterior se observa que es mejor utilizar focos ahorradores en lugar de focos incandescentes, ya que el consumo de energía libera menos CO₂ en los focos ahorradores.

Realizando la comparación del consumo energético en la instalación estudiada, utilizando los datos del anexo B.8, se tiene que la instalación estudiada consume un total de 2688 Wh, por lo tanto se tiene una liberación de 1344 Kg. de CO₂.

Para la instalación estudiada, se tiene que ésta libera una mayor cantidad de CO₂ en comparación con el foco ahorrador. Sin embargo el foco ahorrador o lámpara fluorescente compacta, tienen una cantidad entre 3 mg y 15 mg dependiendo del tamaño de la lámpara ^[7], el mercurio como se mencionó en el apartado 1.2 es utilizado para generar rayos UV que reaccionan con el fósforo produciendo luz.

El mercurio lo podemos encontrar comúnmente en la naturaleza como óxido de mercurio y es utilizado en muchas aplicaciones, pero es un componente que pone en riesgo la salud de los seres vivos, al no utilizarse adecuadamente.

El contacto con el mercurio produce diversas afecciones descritas por la organización especializada en el tratamiento del agua LENNTECH ^[8], las cuales incluyen daños al sistema nervioso, cerebro, riñones; irritación y en los casos mas severos malformaciones en los recién nacidos y esterilidad.

En el caso de los LEDs, estos son elaborados bajo el estándar, *Restriction of use of Certain Hazardous Substances* o RoHs, el cual especifica que los LEDs tienen un contenido mínimo o ninguno de mercurio y otros contaminantes, como el plomo, cadmio, cromo hexavalente, bifenilos polibromados(PIB) y esteres polibromados (PBDE). Lo que anterior hace del LED una aplicación amigable al medio ambiente

Por lo tanto se debe reconsiderar el utilizar los focos ahorradores para aplicaciones en el hogar, claro esta que los efectos de una exposición a una mínima cantidad de mercurio, causado por la ruptura de una lámpara fluorescente no va mas allá de síntomas menores como dolor de cabeza e irritación, es necesario considerar en gran medida la utilización del LED.

Pero a pesar de los beneficios que tendrá una iluminación con LEDs, como el ahorro de energía y una menor cantidad de contaminantes arrojados al medio ambiente, se debe considerar el riesgo ambiental causado por la utilización de las baterías, las cuales funcionan con un electrolito el cual es ácido sulfúrico, compuesto de agua y óxido de azufre.

El ácido sulfúrico tiene efectos colaterales en el medio ambiente y en los seres vivos, en concentraciones altas puede causar ^[9]; sordera, afecciones de la piel, daños al sistema inmunológico y en general los mismos daños que el mercurio.

Pero esto puede ser evitable al seguir las indicaciones del fabricante de las baterías, el cual realiza las recomendaciones para la manipulación durante su instalación y utilización, e incluso proporciona el soporte para el tratamiento de la batería, cuándo esta llega al final de su vida útil.

Pero ya que en una aplicación práctica, no hay un método conductual del manejo de los elementos de la instalación, se realiza una observación con respecto a estos elementos, ya sean focos incandescentes, ahorradores, LED, baterías y cableado eléctrico, ya que todos son un riesgo para la seguridad ambiental y la de los seres vivos, por lo tanto su utilización queda a manos del consumidor, el cual deberá tomar las medidas necesarias para no contaminar ni poner en riesgo su seguridad y la del ambiente.

5.4 Seguridad eléctrica

En cuanto a la seguridad de una instalación eléctrica, el nivel de seguridad se encuentra implícito en la NOM-001-SEDE-Vigente. Siguiendo las indicaciones de la norma oficial al colocar y diseñar la instalación, se previene que el usuario o sus bienes sufran daño debido al desperfecto de la instalación causada por una incorrecta selección de los componentes de la instalación.

En la NOM-001-SEDE-vigente, se muestran los requisitos que debe cumplir una instalación eléctrica, dependiendo de su aplicación. Por lo tanto, cualquier instalación que sea diseñada respetando los lineamientos de la norma oficial para la aplicación de instalaciones eléctricas, será segura.

REFERENCIAS

- [1] AVIDTHERMALLOY. Heat Sinck calog 2010.
- [2] IESNA, *Lighting Handbook, Reference and Application*. 9 th edition. New York, 2000.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- [3] BOMBEROS DE NAVARRA. Manual de extinción de incendios. Pamplona España. Edición no impresa, 2001
<http://www.bomberosdenavarra.com/index.php?m=56&id=7&pagina=1>
Año de consulta 2011.
- [4] CFE. *Datos estadísticos*.
<http://www.cfe.gob.mx/QUIENESSOMOS/ESTADISTICAS/Paginas/Indicadoresdegeneración.aspx>
Año de consulta 2012.
- [5] CONUEE. Aparatos y espacios que consumen más energía.
http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/espacio_aparatos Año de consulta 2012.
- [6] PROCOBRE. Energía sustentable. <http://www.procobre.org/es/biblioteca/?did=4>
Año de consulta 2012.
- [7] OSRAM. *Product training programme*.
http://www.osram.com/osram_com/Tools_%26_Services/Training_%26_Knowledge/Webbased_Training/ptp_com/PTP_Popup.jsp. Año de consulta 2011
- [8] LENNTECH. *Mercurio* <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/hg.htm>
Año de consulta 2011.
- [9] LENNTECH. *Azufre*. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/s.htm>.
Año de consulta 2011.

CONCLUSIÓN

Debido a que los LEDs tienen una mayor eficiencia al momento de convertir la energía eléctrica en luz, en comparación a los focos incandescentes y un tiempo de vida mayor que los focos fluorescentes, el uso de los LEDs como dispositivos de iluminación se vera incrementado a mediano plazo.

En esta tesis, se ha logrado determinar que la mejor forma de utilizar los LEDs para ayudar a la duración de los mismos, es colocarlos en una disposición individual. Dicha disposición será en el área del techo, con lo que se asegura que el calor generado por los reguladores de energía e incluso el calor de los LEDs en conjunto, no se sumara al calor generado por el mismo LEDs.

Sin embargo, determinar la duración que tendría el LED en la nueva instalación, no se puede llevar a cabo en esta tesis, ya que se requiere de equipos especializados para simular las condiciones de la temperatura de la junta y redibujar la grafica del tiempo de vida para el LED.

Se determino la disposición de los LED en el techo, partiendo de la cantidad de iluminación de las habitaciones de la casa, las cuales se han mantenido en los niveles recomendados al emplear las tablas proporcionadas por el CIE; y con la ayuda de los cálculos empleados para determinar el número de elementos LEDs y la distribución en el techo, se obtuvo la distancia a la que deben ser colocados los LEDs para que proporcionen una iluminación uniforme en el área.

También se ha determinado que la colocación de un mayor número de LEDs en serie con el regulador minimiza la corriente que pasa por él, evitando un sobrecalentamiento del mismo.

Por otro lado para la conexión de los mismos elementos de la instalación, es necesario un análisis minucioso de la caída de tensión para el conductor, por lo tanto la resistencia del conductor es decisiva para determinar el calibre del conducto, así como también lo es, la corriente que pasa por el mismo. Esta corriente que pasa por el conductor se ve reducida al colocar el mayor número de LEDs en serie con el regulador.

En lo que respecta al sobrecalentamiento del conductor, se observo que no existe una variación de temperatura muy grande entre la instalación estudiada con respecto a

la instalación convencional, sin embargo la conexión del conductor se debe llevar a cabo siguiendo la NOM-001-SEDE vigente, para evitar posibles riesgos por sobrecalentamiento debido a una mala conexión.

También, fueron seleccionados los dispositivos que componen la instalación de iluminación, por medio de la comparación entre dispositivos.

En el caso del LED, este fue seleccionado considerando las características luminosas, eléctricas y térmicas. Para la mejor selección del LED se tuvo una mayor predisposición hacia las características eléctricas del LED, ya que se obtuvo que el LED seleccionado tiene un menor consumo energético. Aunque las características luminosas fueron empleadas para calcular un aproximado de la potencia consumida por el LED y en el caso de las características térmicas, estas pueden modificarse agregando elementos de control de la temperatura.

En el caso del dispositivo de regulación de voltaje, este fue seleccionado partiendo del voltaje de Dropout, ya que al tener un voltaje a la entrada del regulador con una diferencia de voltaje inferior al voltaje de Dropout con respecto a la salida del regulador, este deja de cumplir su función permitiendo el paso del voltaje de entrada, obteniendo se un efecto directo en la potencia consumida por el LED y por consiguiente un efecto en la temperatura interna del LED.

En el caso de las baterías que componen el banco de almacenamiento, estas fueron seleccionadas considerando la carga de almacenamiento de estas.

Así mismo en la selección del voltaje del banco de baterías se consideraron los distintos voltajes que ofrece el cargador de baterías de la compañía LESTER y el número de LEDs soportados, considerando un voltaje que pudiera alimentar al mayor número de LEDs, con el propósito de minimizar la corriente que pasa por el conductor y reducir la caída de voltaje.

También se realizó el cálculo de las resistencias que influyen en el voltaje de salida del regulador. Así también se contempló la corriente que alimentara a los LEDs, para esto se calculó la resistencia reguladora de corriente que está ubicada entre el regulador y los LEDs conectados en serie.

De esta forma se ha logrado establecer que los valores de voltaje y corriente, serán los apropiados para la alimentación de los LEDs, considerando que el voltaje de entrada del regulador mantenga la diferencia de voltaje de Dropout con respecto a la salida.

Por otro lado, se recalcó el calibre del conductor utilizando la corriente total que consumen los LEDs, determinándose así el número de círculos derivados necesarios para alimentar los LEDs y calibre más adecuado para evitar una caída de voltaje, la cual al manejar un margen de caída de tensión de 3% no se considera excesiva.

Además se consideró que una caída de voltaje mínima influye en el regulador afectando el voltaje de entrada, lo cual influye en el rendimiento del LED por causa de una diferencia con respecto al voltaje de dropout. Por otro lado para el conductor de la instalación estudiada se determinó que el conductor tipo alambre es el más adecuado, ya que la resistencia del conductor es menor, lo cual ayuda a reducir la caída de voltaje.

Como comentario final, se insiste en la importancia de calcular la caída de tensión ya que esto influye en gran medida en el funcionamiento del dispositivo de regulación y por consiguiente en el rendimiento de los LEDs conectados al regulador.

Así también es de importancia considerar el diseño de un dispositivo de control que regule el funcionamiento del cargador de baterías para evitar que este entre en funcionamiento cuando la iluminación este en operación y el efecto que tendría el cargador de baterías sobre los dispositivos de la instalación sin el dispositivo de control, quedando este tema abierto para su continuación en otras tesis.

GLOSARIO

Agudeza visual. Es la capacidad de distinguir objetos muy juntos. ^[1]

Circuito derivado Conductor o conductores de un circuito desde el dispositivo final de sobre corriente que protege a ese circuito hasta la o las salidas finales de utilización. ^[2]

Confort visual. Grado de satisfacción visual producida por el ambiente visual. ^[1]

Envolvente. Recinto, recipiente o carcasa de un aparato o la cerca o paredes que rodean una instalación para evitar que las personas entren en contacto accidental con partes energizadas o para protección de los equipos contra daño físico. ^[2]

Flujo luminoso. Energía radiante en forma de luz visible al ojo humano, emitida por una fuente luminoso en la unidad de tiempo (segundo); su unidad de medida es el lumen. ^[3]

Fluorescencia. En la lámpara fluorescente, la radiación UV que resulta de la luminiscencia del vapor de mercurio debido a la descarga de electrones, es convertida en luz por un revestimiento de fósforo en el interior del tubo. ^[4]

Foto luminiscencia. Luminiscencia causada por la absorción de radiación óptica. ^[1]

Gabinete: Envolvente diseñada para montaje superficial o empotrado, provista de un marco, montura o bastidor en el que se puede instalar una o varias puertas, en cuyo caso dichas partes deben ser oscilantes. ^[2]

Iluminancia. Relación del flujo luminoso que cae sobre una superficie y el área de la misma. ^[5]

Índice de reproducción cromática. Medida cuantitativa sobre la capacidad de la fuente luminosa para reproducir fielmente los colores de diversos objetos, comparándolo con una fuente de luz ideal. ^[6]

Intensidad luminosa. Densidad de luz dentro de un ángulo sólido extremadamente pequeño, en una dirección determinada. ^[7]

Receptáculo. Dispositivo de contacto eléctrico instalado en una salida para la conexión de una sola clavija. ^[2]

Termo luminiscencia. Es la luminiscencia exhibida por algunos de los materiales cuando se calienta ligeramente. ^[4]

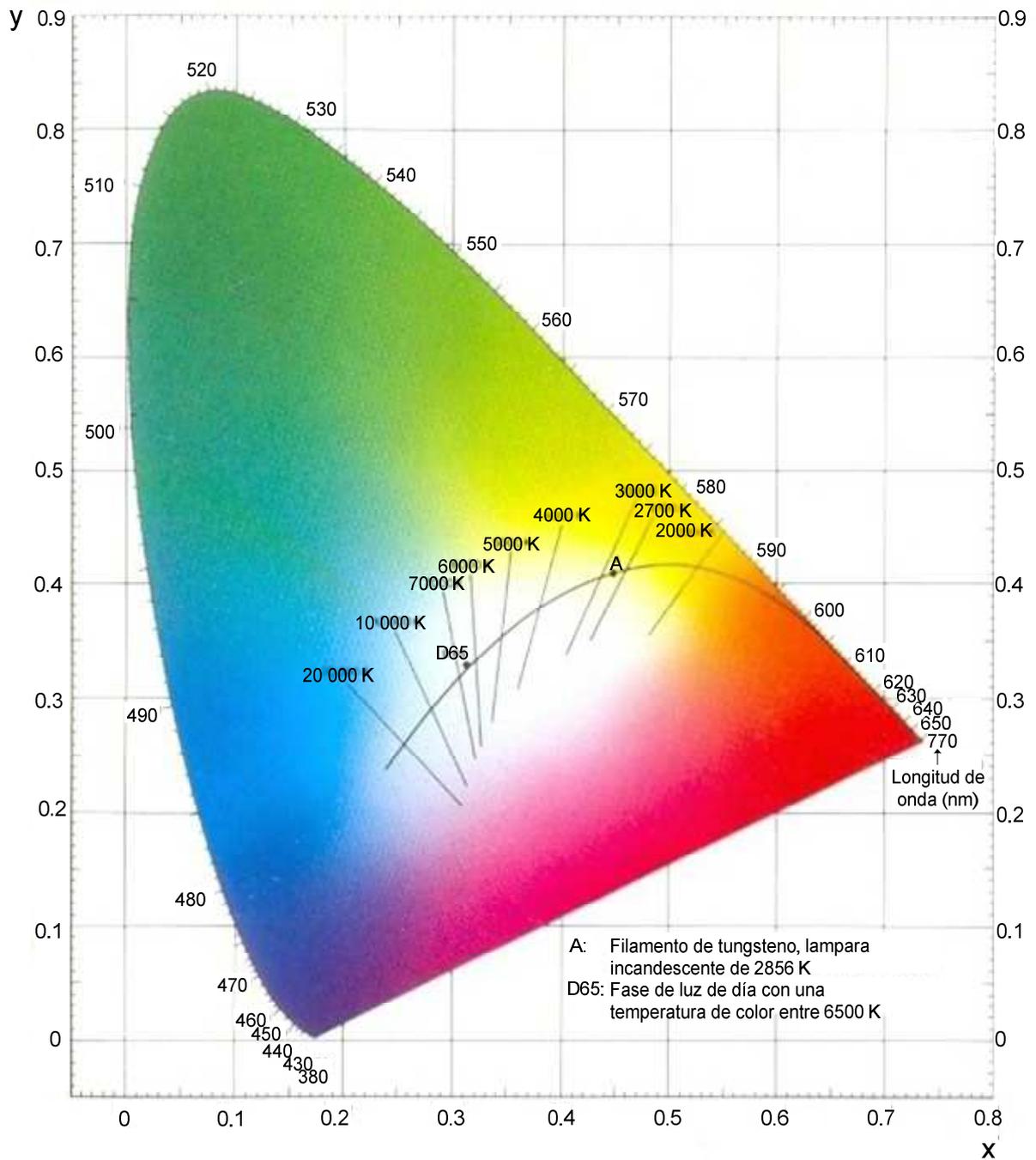
REFERENCIAS

- [1] Philips Lighting, *Lighting Manual*, Fifth edition, Netherlands, 1993.
- [2] DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION, *NOM-001-SEDE-2005*. Estados unidos mexicanos, 2005.
- [3] HALOPHANE. *Catalogo condensado*. 4ta edición, México, 2011.
- [4] IESNA, *Lighting Handbook, Reference and Application*. 9 th edition. New York, 2000.
- [5] GANSLANDT, Rüdiger y HOLFMAN, Harald. *Manual: como planificar con luz*. Edit. Vieweg, edición Erco. España.
- [6] DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION, *PROY-NOM-030-ENER-2011*, Estados unidos mexicanos, 2011.
- [7] Westinghouse Electric Corp. *Manual de Alumbrado*. Mediacena Editora Mexicana S.A de C.V, México.

ANEXO A

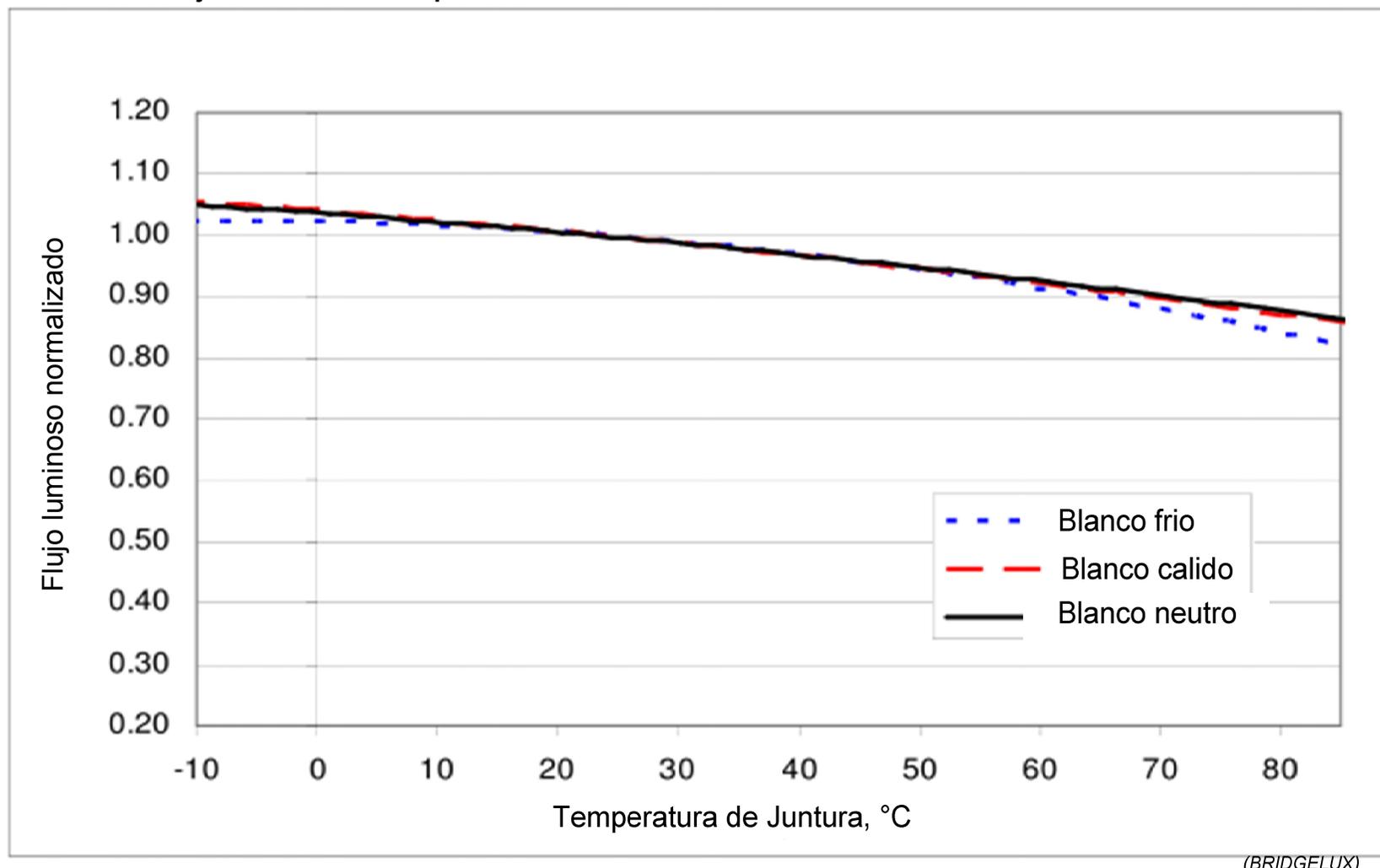
GRAFICAS Y DIAGRAMAS

Diagrama cromático del CIE



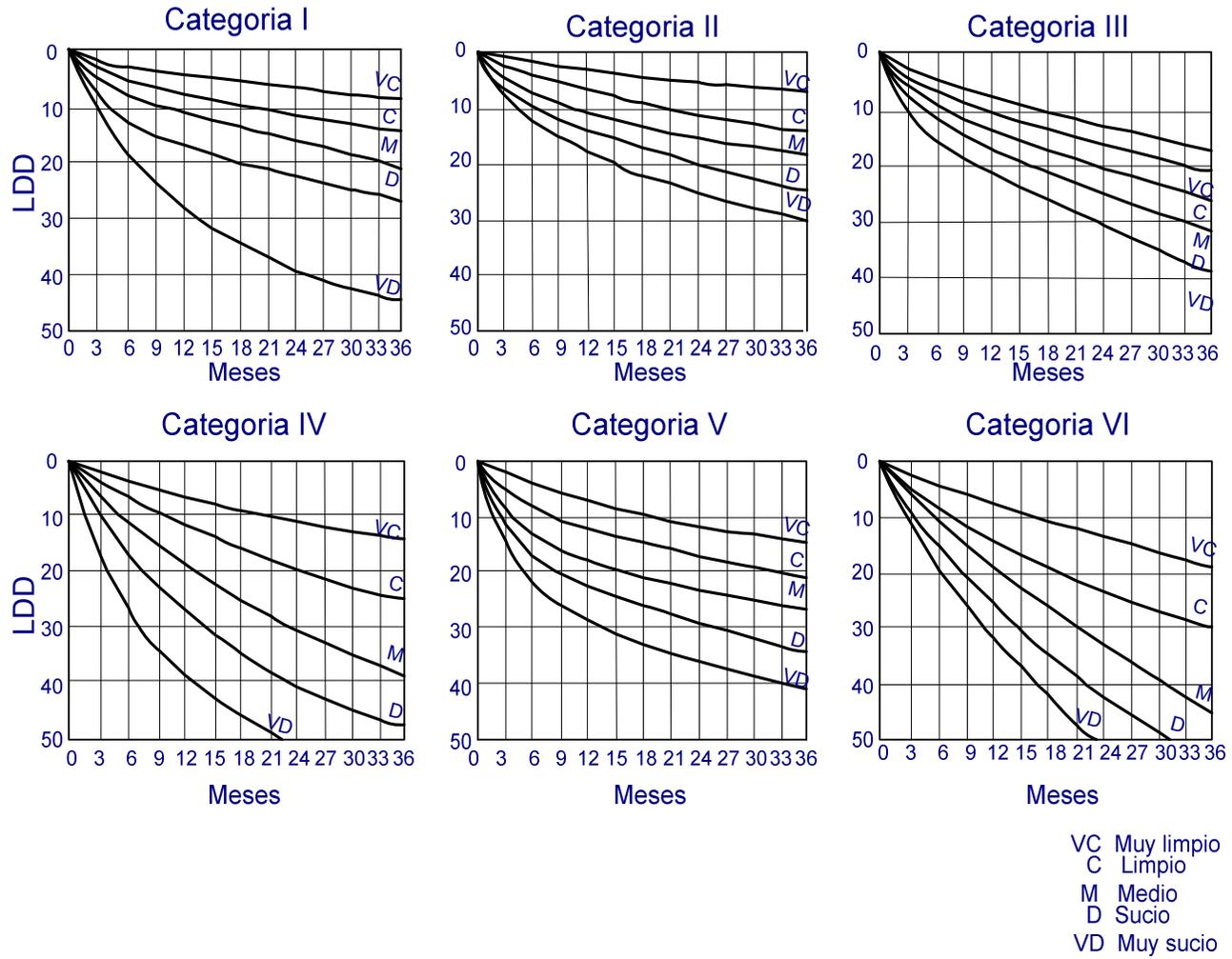
(Philips Lighting, Lighting Manual, 1993)

Grafica de Flujo luminoso vs Temperatura de Juntura de la Familia LED BXRA-xxxxx



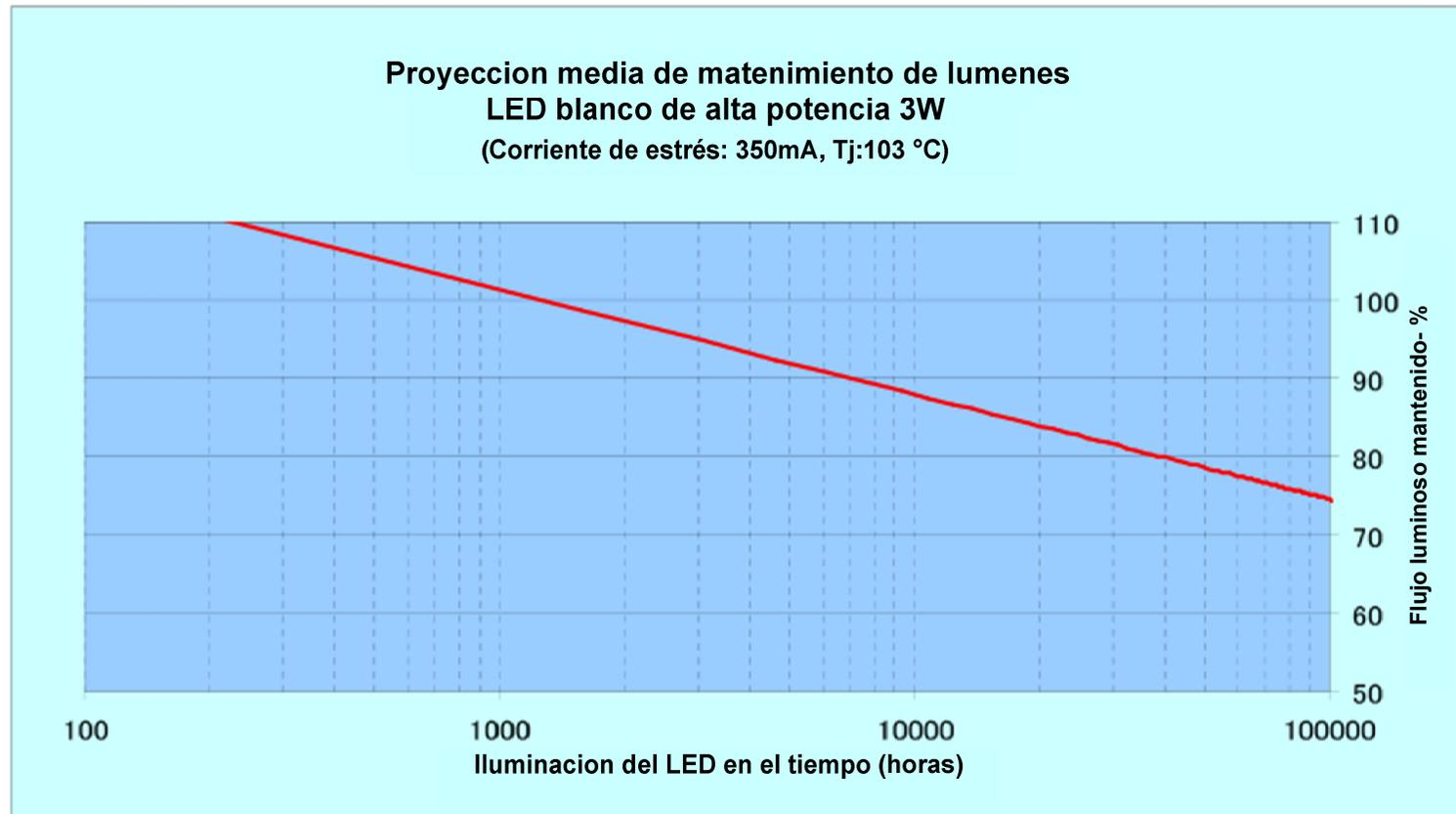
(BRIDGELUX)

Grafica del LDD.



(IESNA, *Lighting Handbook*. 9na edicion)

Grafica degradación de el flujo luminosa vs tiempo de vida.



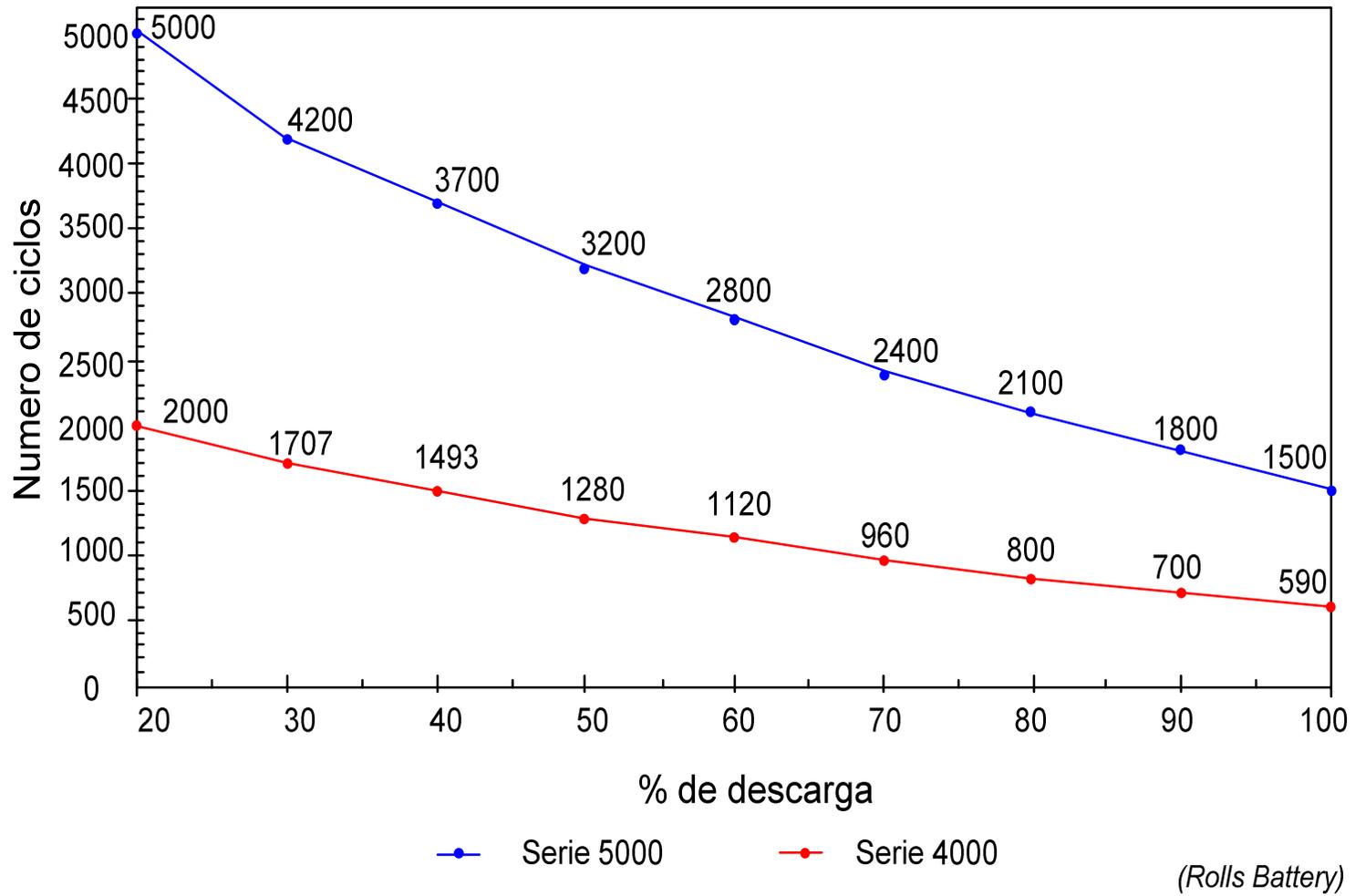
La proyeccion esta basada en 6Khrs de datos. Esta informacion solo provee una referencia y no refleja las características actuales de todos los LED, las condiciones ambientales que afectan el material de embalaje no fueron consideradas.

Informacion confidencial de Avago

Traduccion elaborada por Luis Felipe Palomeque Chacón

(AVAGO TECHNOLOGIES)

Grafica de ciclos de vida vs. Profundidad de descarga de las baterias Rolls.



ANEXO B

TABLAS

Tabla de RSDD

Porcentaje esperado de depreciación por suciedad	Tipo de distribución de la iluminación																			
	directa				Semi directa				Directa indirecta				Semi indirecta				indirecta			
	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
Radio de la cavidad del cuarto (RCR)																				
1	0.98	0.96	0.94	0.92	0.97	0.92	0.89	0.84	0.94	0.87	0.8	0.76	0.94	0.87	0.8	0.73	0.9	0.8	0.7	0.6
2	0.98	0.96	0.94	0.92	0.96	0.92	0.88	0.83	0.94	0.87	0.8	0.75	0.94	0.87	0.79	0.72	0.9	0.8	0.69	0.59
3	0.98	0.95	0.93	0.9	0.96	0.91	0.87	0.82	0.94	0.86	0.79	0.74	0.94	0.86	0.78	0.71	0.9	0.79	0.68	0.58
4	0.97	0.95	0.92	0.9	0.95	0.9	0.85	0.8	0.94	0.86	0.79	0.73	0.94	0.86	0.78	0.70	0.89	0.78	0.67	0.56
5	0.97	0.94	0.91	0.89	0.94	0.9	0.84	0.79	0.93	0.86	0.78	0.72	0.93	0.86	0.77	0.69	0.9	0.78	0.66	0.55
6	0.97	0.94	0.91	0.88	0.94	0.89	0.83	0.78	0.93	0.85	0.78	0.71	0.93	0.85	0.76	0.68	0.89	0.77	0.66	0.54
7	0.97	0.94	0.9	0.87	0.93	0.88	0.82	0.77	0.93	0.84	0.77	0.7	0.93	0.84	0.76	0.68	0.89	0.76	0.65	0.53
8	0.96	0.93	0.89	0.86	0.93	0.87	0.81	0.75	0.93	0.84	0.76	0.69	0.93	0.84	0.76	0.68	0.88	0.76	0.64	0.52
9	0.96	0.92	0.88	0.85	0.93	0.87	0.8	0.74	0.93	0.84	0.76	0.68	0.93	0.84	0.75	0.67	0.88	0.75	0.63	0.51
10	0.96	0.92	0.87	0.83	0.93	0.86	0.79	0.72	0.93	0.84	0.75	0.67	0.92	0.83	0.75	0.67	0.88	0.75	0.62	0.5

(IESNA. 9th edition)

Categoría de mantenimiento de las luminarias

Categoría de mantenimiento	Características
I	Las lámparas se muestran desnudas y no utilizan reflector
II	Las lámparas se muestran desnudas y son de tipo fluorescente, utilizan reflector, a este tipo de luminaria se le denomina, industrial fluorescente
III	Este tipo de luminarias utiliza un reflector que distribuye mas del 70% del flujo luminoso hacia la superficie por iluminar, normalmente se utilizan a alturas de montaje altas y medias
IV	Son luminarias que alojan en su interior lámparas fluorescentes, pueden ser del tipo de empotrar o sobreponer, su característica principal es que utiliza rejillas para evitar que las lámparas sean vistas directamente bajo un determinado Angulo
V	Estos luminarios son como los de la categoría 4 pero utilizan difusores en lugar de rejillas para obtener un mejor control de la luz
VI	Es esta categoría se encuentra el plafón luminoso y la iluminación por medio de cornisas, su característica principal, es que son elementos de iluminación que están intercostruidos como parte de la estructura arquitectónica del local a iluminar.

(Lima Velasco Juan Ignacio)

Muestras de temperatura

Fecha	Temperatura exterior	Sala	Comedor	Baño	Cocina	Pasillo	Cuarto 1	Cuarto 2	Cuarto 3	Cuarto 4
09/01/2011	22.7	18.5	18.5	17.5	18.5	19	21.1	20.3	20.4	20.5
16/01/2011	19.8	16.3	16.2	15.2	16.2	16.5	18.4	17.7	17.8	18.0
23/01/2011	20.7	17.0	17.1	16.0	17.0	17.4	19.1	18.5	18.5	18.7
30/01/2011	22.0	18.0	18.2	17.0	18.2	18.5	20.5	19.5	20.0	20.0
06/02/2011	20.8	17.0	17.1	16.0	17.1	17.5	19.3	18.6	18.7	18.8
13/02/2011	23.8	19.5	19.6	18.2	19.5	20.0	22.0	21.3	21.5	21.5
20/02/2011	28.3	23.2	23.0	21.5	23.1	23.8	26.3	25.2	25.6	25.6
27/02/2011	27.1	22.3	22.2	20.8	22.2	22.7	25.2	24.3	24.4	24.5
07/05/2010	31.5	25.8	25.6	23.9	25.7	26.5	29.3	28.0	28.5	28.5
4°C+	35.5	29.1	28.9	27.0	29.0	29.7	33.0	31.6	32.1	32.1

Clasificación de la iluminación

Clasificación	Porcentaje de flujo luminoso		Ventajas	desventajas
	Hacia arriba	Hacia abajo		
Directa	0-10	100-90	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de un número de dispositivos de iluminación menor 	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de sombras • Deslumbramiento (directo y reflejado)
Semi directa	10-40	90-60	<ul style="list-style-type: none"> • Sombras no muy resaltadas. • Menor deslumbramiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere de un mayor número de dispositivos de iluminación
Directa indirecta	40-60	60-40	<ul style="list-style-type: none"> • No hay sombras • Menor deslumbramiento 	<ul style="list-style-type: none"> • El ambiente es monótono al no existir sombras. • No debe colocarse en ambientes donde se requiere la sensación de relieve.
Semi indirecta	60-90	40-10	<ul style="list-style-type: none"> • Características similares a la iluminación indirecta 	
indirecta	90-100	10-0	<ul style="list-style-type: none"> • La iluminación se asemeja la luz natural. • No existe deslumbramiento • Exenta de sombras laterales • Iluminación suave sobre los objetos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere de un mayor número de dispositivos que en las clasificaciones anteriores, ya que la mayor parte de la luz debe ser reflejada por el techo y las paredes.
<p>Nota. Esta tabla esta basada en lo descrito por: LIMA VELASCO, Juan Ignacio. <i>Tecnología aplicada en la capacitación y aplicación de los métodos de Alumbrado</i>. IPN, CECYT No.3, México.1986. p 145-149.</p>				

Iluminación total de los puntos P

Punto P	Iluminancia total en el punto
1	54.476
2	67.738
3	77.416
4	83.577
5	87.49
6	90.083
7	91.754
8	92.591
9	93.397
10	93.969
11	93.969
13	93.397
14	93.397
15	92.591
16	91.754
17	90.083
18	83.577
19	77.416
20	67.738

Características de los conductores

Tamaño o designación		Conductores				Resistencia a la c.c. a 75C		
		Alambres componentes		Dimensiones totales		Cobre		Aluminio
mm ²	AWG kcmil	Cantidad	Diámetro mm	Diámetro Mm	Área mm ²	Sin estañar Ω/km	Estañado Ω /km	Ω /km
0,824	18	1	1,02	1,02	0,82	25,5	26,5	
0,824	18	7	0,381	1,17	1,07	26,1	27,7	
1,31	16	1	1,29	1,29	1,31	16,0	16,7	
1,31	16	7	0,483	1,47	1,70	16,4	17,4	
2,08	14	1	1,63	1,63	2,08	10,1	10,5	
2,08	14	7	0,61	1,85	2,70	10,3	10,7	
3,31	12	1	2,05	2,05	3,32	6,33	6,59	
3,31	12	7	0,762	2,34	4,29	6,50	6,73	
5,26	10	1	2,59	2,59	5,26	3,97	4,13	
5,26	10	7	0,965	2,95	6,82	4,07	4,23	
8,37	8	1	3,26	3,26	8,37	2,51	2,58	
8,37	8	7	1,24	3,71	10,8	2,55	2,65	
13,3	6	7	1,55	4,67	17,2	1,61	1,67	2,65
21,2	4	7	1,96	5,89	27,3	1,01	1,05	1,67
26,7	3	7	2,21	6,60	343	0,804	0,833	1,32
33,6	2	7	2,46	7,42	43,2	0,636	0,659	1,05
42,4	1	19	1,68	8,43	55,9	0,505	0,525	0,830
53,5	1/0	19	1,88	9,45	70,1	0,400	0,417	0,659
67,4	2/0	19	2,13	10,6	88,5	0,317	0,331	0,522
85,0	3/0	19	2,39	11,9	112	0,252	0,261	0,413
107	4/0	19	2,69	13,4	141	0,199	0,205	0,328
127	250	37	2,08	14,6	168	0,169	0,176	0,278
152	300	37	2,29	16,0	201	0,141	0,146	0,232
177	350	37	2,46	17,3	235	0,120	0,125	0,198
203	400	37	2,64	18,5	269	0,105	0,109	0,174
253	500	37	2,95	20,7	335	0,0846	0,0869	0,139
304	600	61	2,51	22,7	404	0,0702	0,0731	0,116
355	700	61	2,72	24,5	471	0,0604	0,0620	0,0994
380	750	61	2,82	25,3	505	0,0561	0,0577	0,0925
405	800	61	2,90	26,2	538	0,0528	0,0544	0,0869
456	900	61	3,10	27,8	606	0,0469	0,0482	0,0771
507	1 000	61	3,25	29,3	672	0,0423	0,0433	0,0695
633	1250	91	2,97	32,7	842	0,0338	0,0348	0,0544
760	1500	91	3,25	35,9	1010	0,0281	0,0289	0,0462
887	1750	127	2,97	38,8	1180	0,0241	0,0248	0,0397
1 010	2 000	127	3,20	41,4	1350	0,021	0,0217	0,0348

Notas a la tabla 10-8: Estos valores de resistencia son válidos sólo para los parámetros indicados. Los valores varían para conductores de distinto cableado y sobre todo para otras temperaturas. La fórmula para otras temperaturas es:

$R_2 = R_1 [1 + \alpha (T_2 - 75)]$, donde $\alpha = 0,00323$ para el cobre y $\alpha = 0,00330$ para el aluminio. Los conductores con cableado compacto y comprimido tienen aproximadamente un 9 y 3% menos de diámetro respectivamente de los conductores desnudos que aparecen en la Tabla.

NOM-001-SEDE-2005

Caída de tensión a distintos niveles de corriente

Calibre del conductor en AWG	Resistencia [Ω /Km]	Corriente [A]										
		0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14	10.1	0.505	1.01	2.02	3.03	4.04	5.05	6.06	7.07	8.08	9.09	10.1
12	6.33	0.317	0.633	1.266	1.899	2.532	3.165	3.798	4.431	5.064	5.697	6.33
10	3.97	0.19	0.397	0.794	0.794	1.191	1.588	2.382	2.779	3.176	3.573	3.97

Horas de operación de la iluminación por zona y potencia consumida en Watts-hora

Zona	Numero de LEDs	Horas de operación	Numero de reguladores	Potencia en Watt	Potencia consumida en W-hora
Sala	35	6	3	50.4	302.4
Comedor	35	1.5	3	50.4	75.6
Baño	18	3	2	33.6	100.8
Cocina	96	4	8	134.4	537.6
Pasillo-1	18	2.5	2	33.6	84
Pasillo-2	12	1.5	1	16.8	25.2
Pasillo-3	12	2	1	16.8	33.6
Cuarto 1	35	4.5	3	50.4	226.8
Cuarto 2	35	5.5	3	50.4	277.2
Cuarto 3	35	3.5	3	50.4	176.4
Cuarto 4	30	5	3	50.4	252
Lavadero	24	0.5	2	33.6	16.8
Cochera	35	2	3	50.4	100.8
Balcón	20	2	2	33.6	67.2
Escalera	17	2	2	33.6	67.2
Fachada exterior inferior	20	10	2	33.6	336
Tendedero	12	0.5	1	16.8	8.4
				Total	2688

Diámetros comerciales de tubo conduit

Diámetro nominal		Diámetro interior		Área interior	
mm	Plg	mm	Plg	mm ²	Plg ²
13	½	15.81	0.6722	196	0.3
19	¾	21.30	0.824	356	0.53
25	1	26.50	1.049	552	0.86
32	1 ¼	35.31	1.380	979	1.50
38	1 ½	41.16	1.610	1331	2.04
51	2	52.76	2.067	2186	3.36
63	2 ½	62.71	2.469	3088	4.79
76	3	77.93	3.168	4769	7.28
89	3 ½	90.12	3.548	6378	9.90
102	4	102.26	4.026	8213	12.72

(Enriquez Harper, 1998)

Corriente de cada habitación y corriente total

Ubicación	Zona	Numero de reguladores	Corriente [A]
Planta Baja(P.B)	Sala	3	1.05
	Comedor	3	1.05
	Baño	2	0.7
	Cocina	8	2.8
	Pasillo-3	1	0.35
	Lavadero	2	0.7
	Cochera	3	1.05
	Fachada exterior inferior	2	0.7
	Tendedero	1	0.35
Total		23	8.75
Planta alta(P.A)	Pasillo-1	2	0.7
	Pasillo-2	1	0.35
	Cuarto 1	3	1.05
	Cuarto 2	3	1.05
	Cuarto 3	3	1.05
	Cuarto 4	3	1.05
	Balcón	2	0.7
	Escalera	2	0.7
Total		19	6.65

Potencia consumida por los focos incandescentes y lámparas fluorescentes compactas

Zona	Horas de operación	Numero de focos	Potencia consumida en W-hora	
			Incandescente 100W	Fluorescente compacta de 23 W
Sala	6	2	1200	276
Comedor	1.5	2	300	69
Baño	3	1	300	69
Cocina	4	1	400	92
Pasillo-1	2.5	1	250	57.5
Pasillo-2	1.5	1	150	34.5
Pasillo-3	2	1	200	46
Cuarto 1	4.5	2	900	207
Cuarto 2	5.5	2	1100	253
Cuarto 3	3.5	2	700	161
Cuarto 4	5	2	1000	230
Lavadero	0.5	1	50	11.5
Cochera	2	1	200	46
Balcón	2	1	200	46
Escalera	2	0	0	0
Fachada exterior inferior	10	3	3000	690
Tendedero	0.5	1	50	11.5
Total			10 000	2 400

ANEXO C

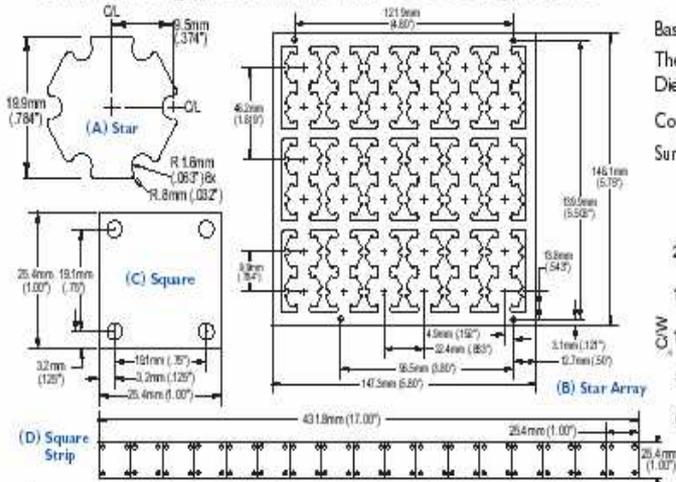
DATOS TÉCNICOS

Hoja de características de la Base para LEDs. (BERGQUIST)

Bergquist offers a family of standard thermally conductive insulated metal substrate (IMS) circuit boards specifically for LED applications which replace conventional FR-4 PCBs. Better thermal management allows more forward current to be applied to the LED, while still maintaining desired die temperatures, which means more light and possibly reducing the number of LEDs required to achieve the desired light output. With proper thermal management, Power LED lifetimes can be extended considerably.

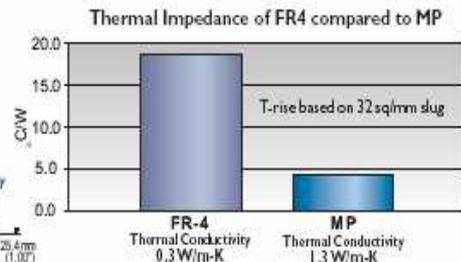
Now you can get a jump-start on your design with one of these star or square substrates; available in single, strip or array configurations. Choose from 10 different LED footprints to give you the freedom to select the LED component's color, brightness and power that best fits your needs. Optimize the prototyping process with the lowest possible operating temperatures and the brightest light output for your next Power LED application. The most popular LED profiles on the world's most reliable IMS – matched for your design ease.

Standard Bergquist Thermal Clad® LED Configurations

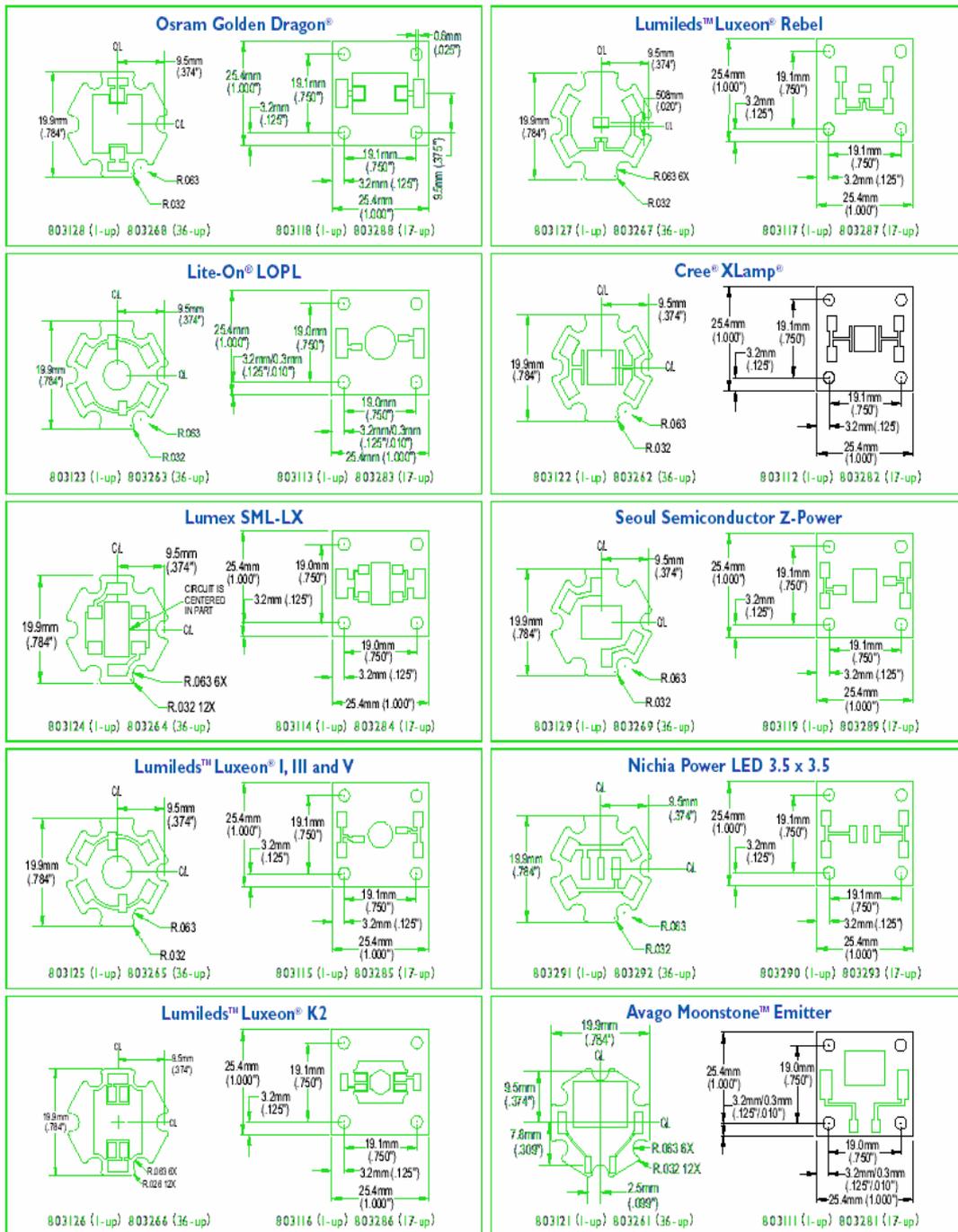


Bergquist Thermal Clad® IMS Specs

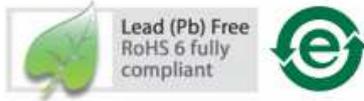
- Base Metal: 1.57mm (0.062") Aluminum 5052
- Thermally Conductive: .076mm (3 mil) MP
- Dielectric
- Copper Circuit Foil: 35µm (1oz) copper circuit foil
- Surface Finish: White solder mask; Pb-free HASL solder pads (RoHS compliant)



Bergquist Thermal Clad® - Standard Power LED IMS Selection Guide				
LED Footprint Type	Star Board (1-up) (A) Part No.	Star Array (36-up) (B) Part No.	Square Board (1-up) (C) Part No.	Square Strip (17-up) (D) Part No.
1 Osram Golden Dragon®	803128	803268	803118	803288
2 Lize-On® LOPL	803123	803263	803113	803283
3 Lumex SML-LX	803124	803264	803114	803284
4 Lumileds™ Luxeon® I, III and V	803125	803265	803115	803285
5 Lumileds™ Luxeon® K2	803126	803266	803116	803286
6 Lumileds™ Luxeon® Rebel	803127	803267	803117	803287
7 Cree® XLamp®	803122	803262	803112	803282
8 Seoul Semiconductor Z-Power	803129	803269	803119	803289
9 Nichia Power LED 3.5 x 3.5	803291	803292	803290	803293
10 Avago Monocrystal™ Emitter	803121	803261	803111	803281



Datos Técnicos de la familia LED ASMT-Axxx. (AVAGO TECHNOLOGIES)



Description

This 3W Power LED Light Source is a high performance energy efficient device which can handle high thermal and high driving current. The exposed pad design enables excellent heat transfer from the package to the motherboard. Option with electrically isolated metal slug is also available.

The White Power LED is available in the range of color temperature from 2700K to 10000K.

The low profile package design is suitable for a wide variety of applications especially where height is a constraint.

The package is compatible with reflow soldering process. This part has a foot print that is compatible to most of the high power LED in the market today.

Features

- Available in Red, Red Orange, Amber, Green, Blue, Royal Blue, Cool White, Neutral White and Warm White color
- Energy efficient
- Exposed metal slug for excellent heat transfer
- Compatible with reflow soldering process
- High current operation
- Long operation life
- Wide viewing angle at 140°
- Silicone encapsulation
- Non-ESD sensitive (threshold > 16 kV)
- MSL 2a products

Applications

- Architectural lighting
- Channel backlighting
- Contour lighting
- Retail Display lighting
- Decorative lighting
- Garden lighting
- Safety, exit and emergency signs lighting
- Specialty lighting
- Task lighting

Device Selection Guide ($T_j = 25^\circ\text{C}$)

Part Number	Color	Luminous Flux (lm) / Radiometric Power (mW), Φ_V [1,2]			Test Current (mA)	Dice Technology	Electrically Isolated Metal Slug
		Min.	Typ.	Max.			
ASMT-AR30-ARS00	Red	39.8	50.0	67.2	350	AllInGaP	No [3]
ASMT-AH30-ARS00	Red Orange	39.8	50.0	67.2	350	AllInGaP	No [3]
ASMT-AA30-ARS00	Amber	39.8	50.0	67.2	350	AllInGaP	No [3]
ASMT-AG31-NTU00	Green	67.2	78.0	99.6	350	InGaN	Yes
ASMT-AB31-NMP00	Blue	13.9	18.0	30.6	350	InGaN	Yes
ASMT-AL31-NPQ00	Royal Blue	355 mW	435 mW	515 mW	350	InGaN	Yes
ASMT-AW31-NUV00	Cool White	87.4	100.0	113.6	350	InGaN	Yes
ASMT-AN31-NUV00	Neutral White	87.4	100.0	113.6	350	InGaN	Yes
ASMT-AY31-NTU00	Warm White	67.2	80.0	99.6	350	InGaN	Yes

Notes:

- Φ_V is the total luminous flux / radiometric power output as measured with an integrating sphere at 25ms mono pulse condition.
- Flux and power tolerance is $\pm 10\%$
- Electrically isolated metal slug option is also available. Please contact your Avago sale representative.

Absolute Maximum Ratings

Parameter	AllInGaP	InGaN	Units
DC Forward Current [1]	700	700	mA
Power Dissipation	1820	2730	mW
LED Junction Temperature	125	135	$^\circ\text{C}$
Operating Metal Slug Temperature Range at 350 mA	-40 to +115	-40 to +120	$^\circ\text{C}$
Operating Metal Slug Temperature Range at 700 mA	-40 to +100	-40 to +105	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	-40 to +120	-40 to +120	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature	Refer to Figure 26		
Reverse Voltage [2]	Not recommended		

Note:

- Derate linearly based on Figure 10 for AllInGaP and Figure 22 for InGaN.
- Not recommended for reverse bias operation.

Optical Characteristics at 350 mA ($T_j = 25^\circ\text{C}$)

Part Number	Color	Peak Wavelength, λ_{PEAK} (nm)	Dominant Wavelength, λ_D [1] (nm)	Viewing Angle, $2\theta_{1/2}$ [2] ($^\circ$)	Luminous Efficiency (lm/W)
		Typ.	Typ.	Typ.	Typ.
ASMT-AR30-ARS00	Red	635	625	140	68
ASMT-AH30-ARS00	Red Orange	625	615	140	68
ASMT-AA30-ARS00	Amber	598	590	140	68
ASMT-AG31-NTU00	Green	519	525	140	70
ASMT-AB31-NMP00	Blue	460	470	140	16
ASMT-AL31-NPQ00	Royal Blue	450	455	140	Not applicable

Part Number	Color	Correlated Color Temperature, CCT (Kelvin)		Viewing Angle, $2\theta_{1/2}$ [2] (°)	Luminous Efficiency (lm/W)
		Min.	Max.	Typ.	Typ.
ASMT-AW31-NUV00	Cool White	4500	10000	140	89
ASMT-AN31-NUV00	Neutral White	3500	4500	140	89
ASMT-AY31-NTU00	Warm White	2700	3500	140	71

Notes:

1. The dominant wavelength, λ_D , is derived from the CIE Chromaticity Diagram and represents the color of the device.
2. $\theta_{1/2}$ is the off-axis angle where the luminous intensity is $1/2$ the peak intensity.

Electrical Characteristic at 350 mA ($T_J = 25^\circ\text{C}$)

Dice Type	Forward Voltage, V_F (Volts)			Thermal Resistance, $R_{\theta_{j-ms}}(^{\circ}\text{C}/\text{W})$ [1]
	Min.	Typ.	Max.	Typ.
AllInGaP	1.7	2.1	2.3	10
InGaN	2.8	3.2	3.5	10

Notes:

1. $R_{\theta_{j-ms}}$ is Thermal Resistance from LED junction to metal slug.

Optical and Electrical Characteristic at 700 mA ($T_J = 25^\circ\text{C}$)

Part Number	Color	Luminous Flux (lm) / Radiometric Power (mW), Φ_V	Forward Voltage, V_F (Volts)
		Typ.	Typ.
ASMT-AR30-ARS00	Red	94	2.4
ASMT-AH30-ARS00	Red Orange	94	2.4
ASMT-AA30-ARS00	Amber	94	2.4
ASMT-AG31-NTU00	Green	125	3.6
ASMT-AB31-NMP00	Blue	30.0	3.6
ASMT-AL31-NPQ00	Royal Blue	760 mW	3.6
ASMT-AW31-NUV00	Cool White	175.0	3.6
ASMT-AN31-NUV00	Neutral White	175.0	3.6
ASMT-AY31-NTU00	Warm White	140.0	3.6

InGaN

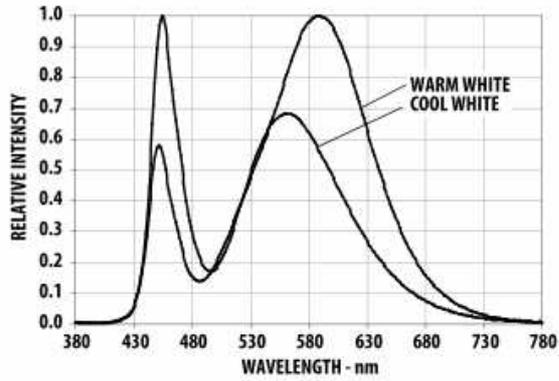


Figure 12. Relative Intensity vs. Wavelength for Warm White and Cool White.

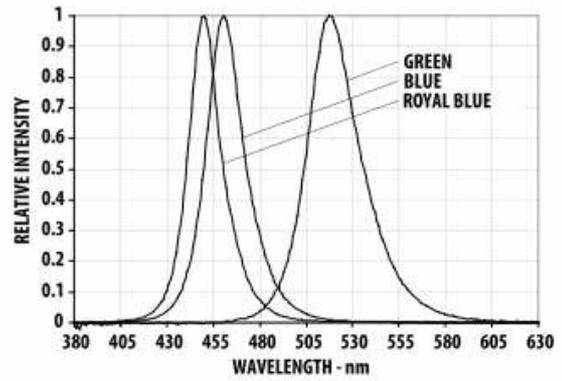


Figure 13. Relative Intensity vs. Wavelength for Blue, Royal Blue and Green.

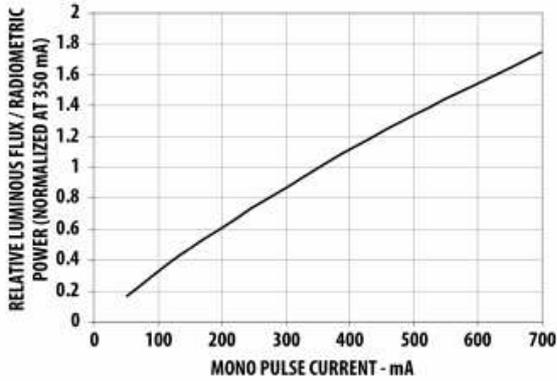


Figure 14. Relative Luminous Flux vs. Mono Pulse Current.

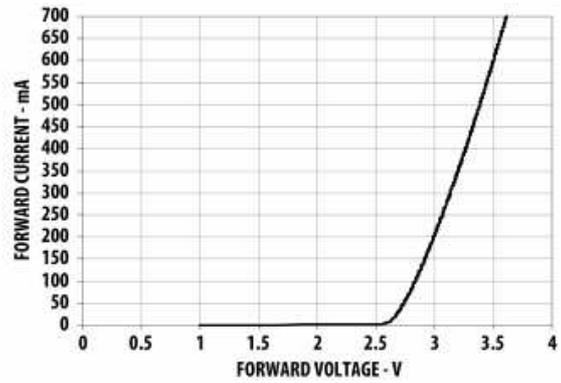


Figure 15. Forward Current vs. Forward Voltage.

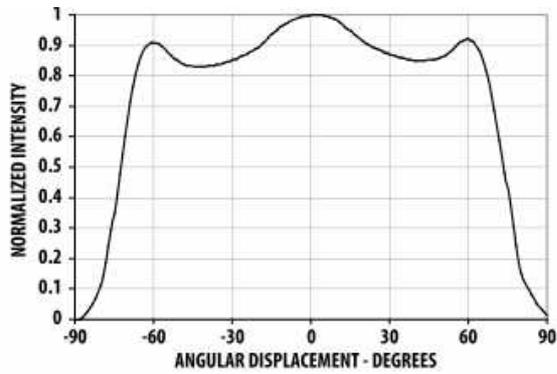


Figure 16. Radiation Pattern for Blue, Royal Blue and Green InGaN

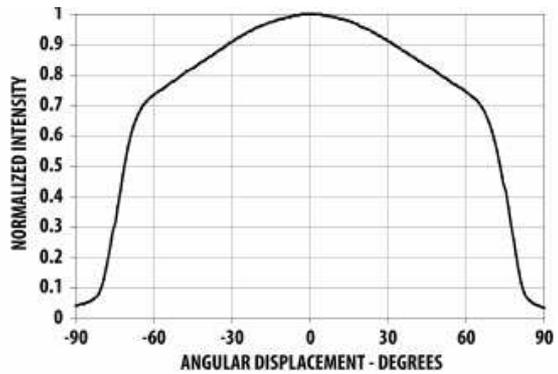


Figure 17. Radiation Pattern for Cool White, Neutral White and Warm White.

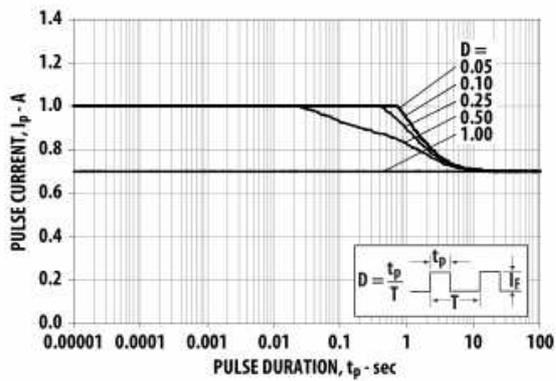


Figure 18. Maximum pulse current vs. ambient temperature. Derated based on $T_A = 25^\circ\text{C}$, $R\theta_{j-A} = 30^\circ\text{C/W}$.

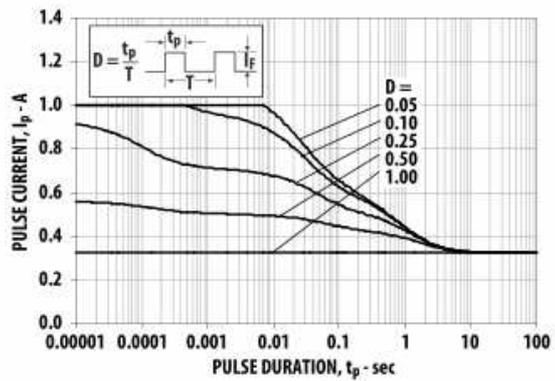


Figure 19. Maximum pulse current vs. ambient temperature. Derated based on $T_A = 85^\circ\text{C}$, $R\theta_{j-A} = 30^\circ\text{C/W}$.

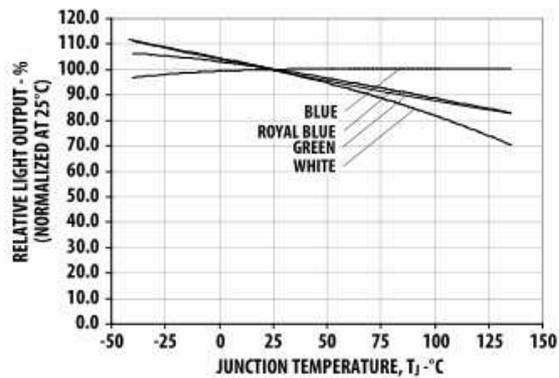


Figure 20. Relative Light Output vs. Junction Temperature.

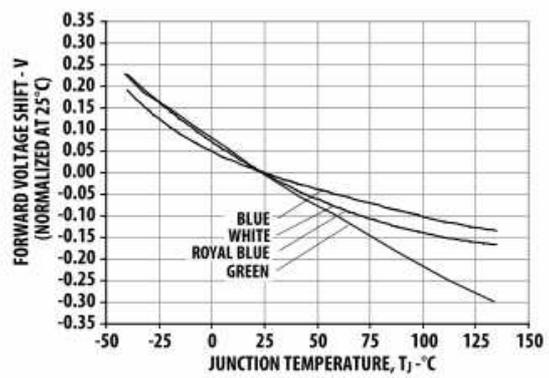


Figure 21. Forward Voltage Shift vs. Junction Temperature.

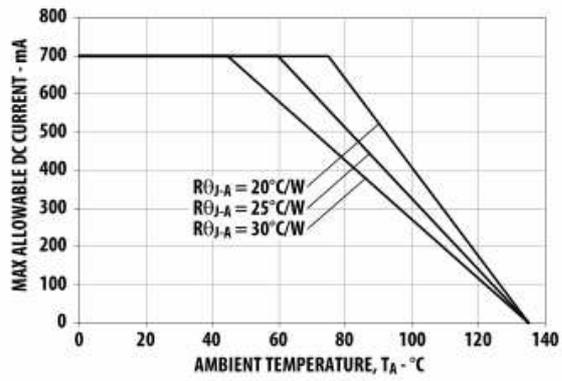


Figure 22. Maximum Forward Current vs. Ambient Temperature. Derated based on T_{JMAX} = 135°C, R_{θJA} = 20°C/W, 25°C/W and 30°C/W.

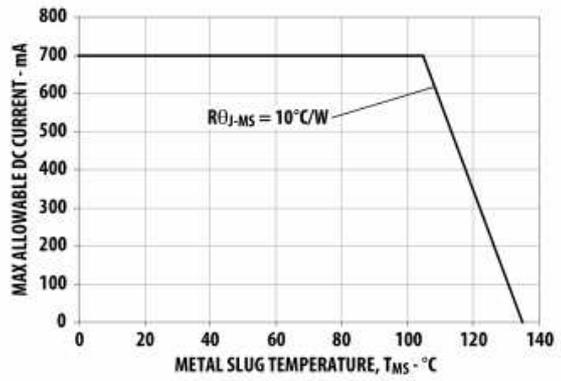


Figure 23. Maximum Forward Current vs. Metal Slug Temperature. Derated based on T_{JMAX} = 135°C, R_{θMS} = 10°C/W.

L4973V3.3 - L4973V5.1 - L4973D3.3 - L4973D5.1

uses an internal power D-MOS transistor (with a typical $R_{ds(on)}$ of 0.15ohm) to obtain very high efficiency and very fast switching times.

Switching frequency up to 300KHz are achievable (the maximum power dissipation of the packages must be observed).

A wide input voltage range between 8V to 55V and output voltages regulated from 3.3V to 40V cover the majority of the today applications.

Features of this new generation of DC-DC con-

verter includes pulse by pulse current limit, hiccup mode for output short circuit protection, voltage feed forward regulation, soft start, input/output synchronization, protection against feedback loop disconnection, inhibit for zero current consumption and thermal shutdown.

Packages available are in plastic dual in line, DIP-18 (12+3+3) for standard assembly, and SO20 (12+4+4) for SMD assembly.

THERMAL DATA

Symbol	Parameter		Powerdip	SO20	Unit
$R_{th(j-pin)}$	Thermal Resistance Junction to pin	Max.	12	15	°C/W
$R_{th(j-amb)}$	Thermal Resistance to Ambient	Max.	60 (*)	80 (*)	°C/W

(*) Package mounted on board.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol		Parameter	Value	Unit	
DIP-18	S0-20				
V_7, V_8	V_9, V_8	Input voltage	58	V	
V_2, V_3	V_2, V_3	Output DC voltage	-1	V	
		Output peak voltage at $t = 0.1\mu s$ $f = 200KHz$	-5	V	
I_2, I_3	I_2, I_3	Maximum output current	int. limit.		
V_9-V_8	$V_{10}-V_8$		14	V	
V_9	V_{10}	Bootstrap voltage	70	V	
V_{11}	V_{12}	Analogs input voltage ($V_{CC} = 24V$)	12	V	
V_{17}	V_{19}	Analogs input voltage ($V_{CC} = 24V$)	13	V	
V_{12}	V_{13}	($V_{CC} = 20V$)	6 -0.3	V V	
V_{18}	V_{20}	($V_{CC} = 20V$)	5.5 -0.3	V V	
V_{10}	V_{11}	Inhibit	V_{CC} -0.3	V V	
P_{tot}		Power dissipation a $T_{pin} \leq 90^\circ C$ ($T_{amb} = 70^\circ C$ no copper area)	DIP	5	W
		($T_{amb} = 70^\circ C$ 4cm copper area on PCB)	12+3+3	1.3	W
				2	W
		Power dissipation a $T_{pin} = 90^\circ C$	SO20	4	W
T_J, T_{STG}		Junction and storage temperature		-40 to 150	°C

L4973V3.3 - L4973V5.1 - L4973D3.3 - L4973D5.1

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Refer to the test circuit, $V_{CC} = 24V$; $T_j = 25^\circ C$, $C_{osc} = 2.7nF$; $R_{osc} = 20K\Omega$; unless otherwise specified) • = specifications referred to T_j from 0 to $125^\circ C$.

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
DYNAMIC CHARACTERISTICS							
	Input Voltage Range (*)	$V_O = V_{REF}$ to 40V; $I_O = 3.5A$	•	8		55	V
	Output Voltage L4973V5.1	$I_O = 1A$		5.05	5.1	5.15	V
		$I_O = 0.5A$ to 3.5A		5.00	5.1	5.20	V
		$V_{CC} = 8V$ to 55V	•	4.95	5.1	5.25	V
	Output Voltage L4973V3.3	$I_O = 1A$		3.326	3.36	3.393	V
		$I_O = 0.5A$ to 3.5A		3.292	3.36	3.427	V
		$V_{CC} = 8V$ to 40V	•	3.26	3.36	3.46	V
	$R_{DS(on)}$	$V_{CC} = 10.5V$			0.15	0.22	Ω
		$I_O = 3.5A$	•			0.35	Ω
	Maximum Limiting Current	$V_{CC} = 8V$ to 55V	•	4	4.5	5.5	A
η	Efficiency	$V_O = 5.1V$; $I_O = 3.5A$			90		%
		$V_O = 3.3V$; $I_O = 3.5A$			85		%
	Switching Frequency		•	90	100	110	KHz
	Supply Voltage Ripple Rejection	$V_i = V_{CC} + 2V_{RMS}$ $V_O = V_{ref}$; $I_O = 1A$; $f_{ripple} = 100Hz$		60			dB
Δf_{sw}	Switching Frequency Stability vs. Supply Voltage	$V_{CC} = 8V$ to 55V			2	5	%
REFERENCE SECTION							
	Reference Voltage			5.025	5.1	5.175	V
		$I_{ref} = 0$ to 20mA; $V_{CC} = 8$ to 55V	•	4.950	5.1	5.250	V
	Line Regulation	$I_{ref} = 0mA$; $V_{CC} = 8$ to 55V			5	10	mV
	Load Regulation	$V_{ref} = 0$ to 5mA;			2	10	mV
		$V_{CC} = 0$ to 20mA			6	25	mV
	Short Circuit Current			30	65	100	mA
SOFT START							
	Soft Start Charge Current			30	45	60	μA
	Soft Start Discharge Current			15	22	30	μA
INHIBIT							
	High Level Voltage		•	3.0			V
	Low Level Voltage		•			0.8	V
	I_{source} High Level	$V_{INH} = 3V$	•	10	16	50	μA
	I_{source} Low Level	$V_{INH} = 0.8V$	•	10	15	50	μA
DC CHARACTERISTICS							
	Total Operating Quiescent Current	Duty Cycle = 50%			4	6	mA
	Quiescent Current	Duty Cycle = 0			2.7	4	mA
	Total stand-by quiescent current	$V_{CC} = 24V$; $V_{INH} = 5V$			100	200	μA
		$V_{CC} = 55V$; $V_{INH} = 5V$			150	300	μA
ERROR AMPLIFIER							
	High Level Output Voltage			11.0			V
	Low Level Output Voltage					0.65	V
	Source Bias Current			1	2	3	μA
	Source Output Current			200	300	600	μA

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Sink Output Current		200	300		μA
Supply Voltage Ripple Rejection	$V_{\text{COMP}} = V_{\text{FB}}$ $C_{\text{REF}} = 4.7\mu\text{F}$ 1-5mA load current	60	80		dB
DC Open Loop Gain	$R_L = \infty$	50	60		dB
Transconductance	$I_{\text{COMP}} = -0.1$ to 0.1mA ; $V_{\text{COMP}} = 6\text{V}$		2.5		mS

OSCILLATOR SECTION

Ramp valley		0.78	0.85	0.92	V
Ramp peak	$V_{\text{CC}} = 8\text{V}$	1.9	2.1	2.3	V
	$V_{\text{CC}} = 55\text{V}$	9	9.6	10.2	V
Maximum Duty Cycle		95	97		%
Maximum Frequency	Duty Cycle = 0%; $R_{\text{OSC}} = 13\text{K}\Omega$; $C_{\text{OSC}} = 820\text{pF}$;			300	KHz

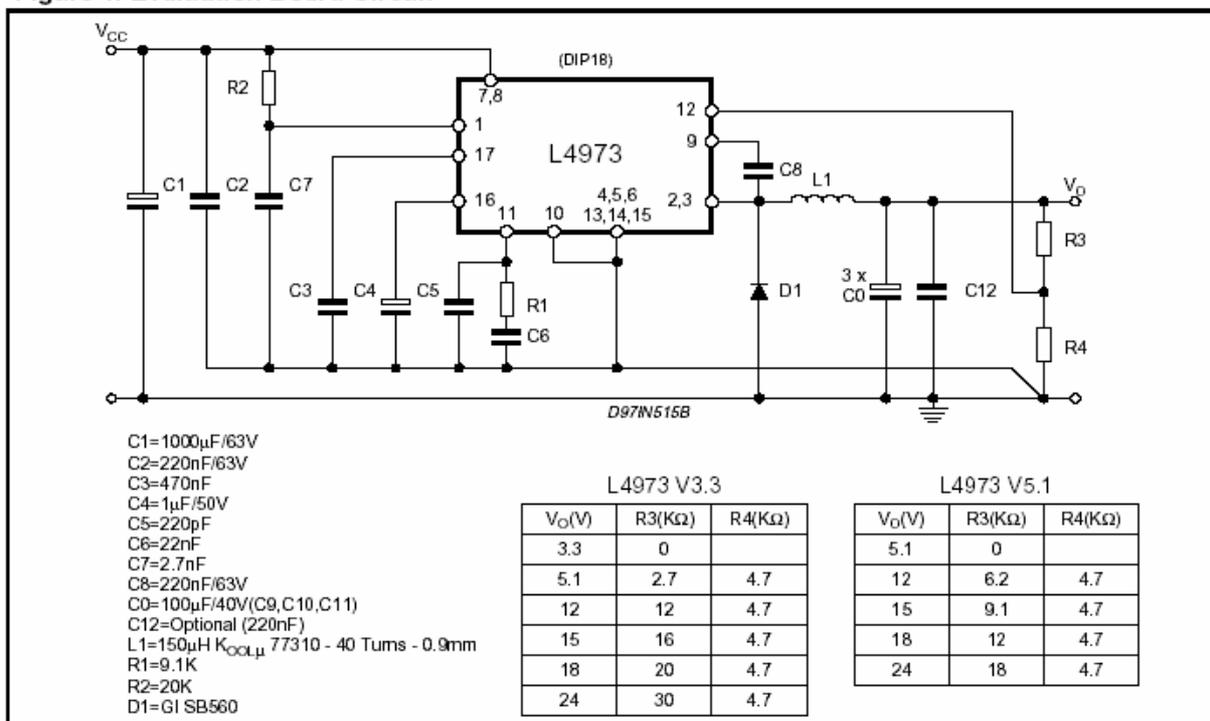
SYNC FUNCTION

High Input Voltage	$V_{\text{CC}} = 8\text{V}$ to 55V	3.5			V
Low Input Voltage	$V_{\text{CC}} = 8\text{V}$ to 55V			0.9	V
Slave Sink Current		0.15	0.25	0.45	mA
Master Output Amplitude	$I_{\text{SOURCE}} = 3\text{mA}$	4	4.5		V
Output Pulse Width	no load, $V_{\text{sync}} = 4.5\text{V}$	0.20	0.35		μs

(*) Pulse testing with a low duty cycle.

(**) The maximum power dissipation of the package must be observed.

Figure 1. Evaluation Board Circuit



L4973V3.3 - L4973V5.1 - L4973D3.3 - L4973D5.1

Figure 16: Dropout Voltage Between pin 7,8 and 2,3

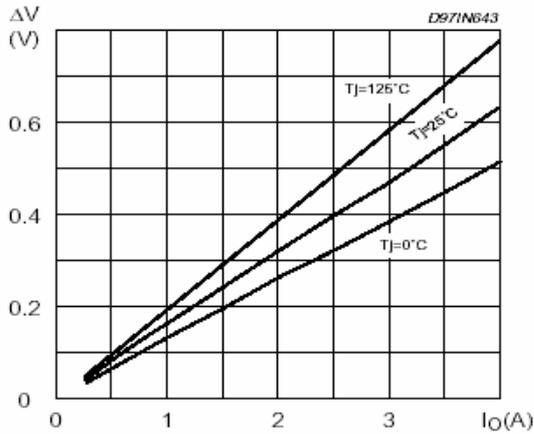


Figure 18: Efficiency vs. Output Voltage (Diode STPS745D)

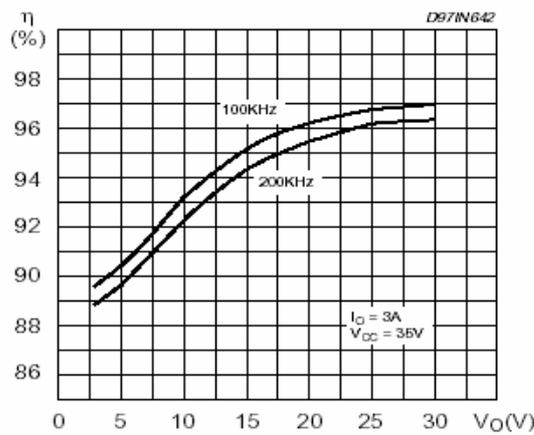


Figure 20: Efficiency vs. Output Current (see fig. 1c)

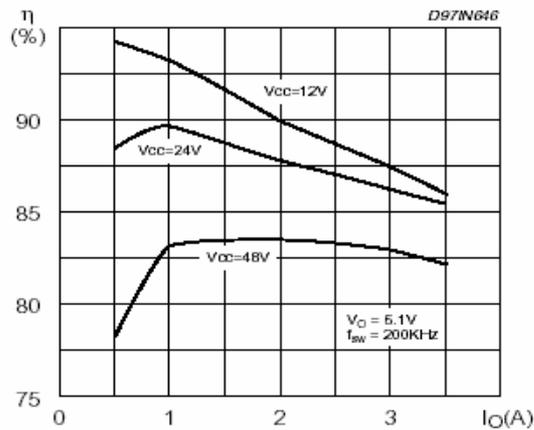


Figure 17: Efficiency vs. Output Voltage (see fig. 1)

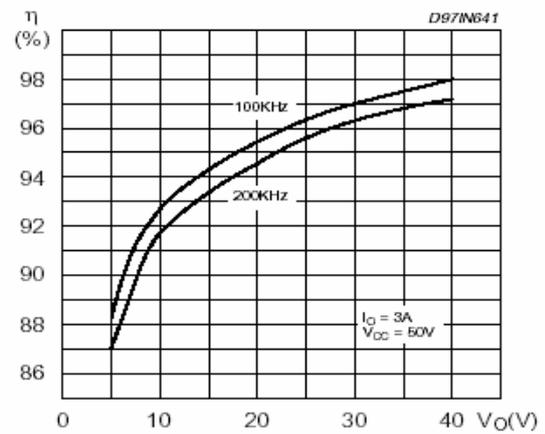


Figure 19: Efficiency vs. Output Current (see fig. 1c)

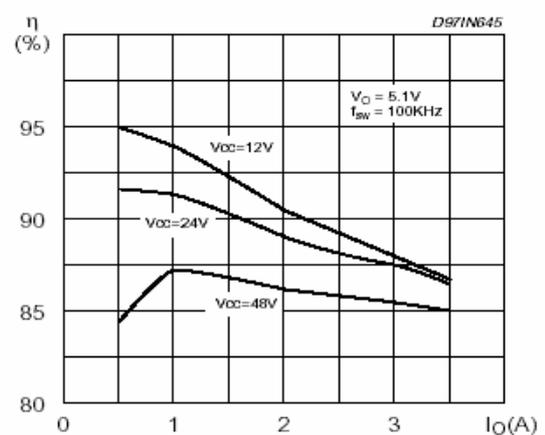
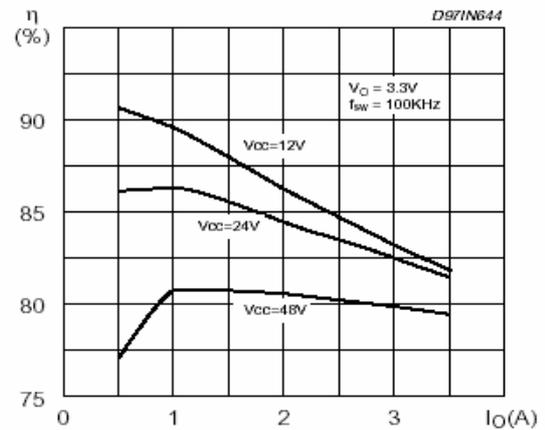


Figure 21: Efficiency vs. Output Current (see fig. 1d)



Batería de ciclo profundo modelo S-530, serie 4000 de 6volts (Rolls Battery)

DIMENSIONS:			WEIGHTS:		
LENGTH	318 MM	12 1/2 INCHES	WEIGHT DRY	41 KG	90 LBS.
WIDTH	181 MM	7 1/8 INCHES	WEIGHT WET	53 KG	117 LBS.
HEIGHT	425 MM	16 3/4 INCHES			
CONTAINER CONSTRUCTION:					
CONTAINER:	HIGH DENSITY POLYPROPYLENE		TERMINALS:	FLAG TERMINAL	
COVER:	HIGH DENSITY POLYPROPYLENE		HANDLES:	ROPE	
PLATES:					
POSITIVE PLATE DIMENSION:			CELLS: 3		
HEIGHT	273 MM	10.750 INCHES	PLATES/CELL:	17	
WIDTH	143 MM	5.625 INCHES			
THICKNESS	4.32 MM	0.170 INCHES	SEPARATOR:		
			THICKNESS	2 MM	0.061 INCHES
NEGATIVE PLATE DIMENSION:			INSULATION:		
HEIGHT	273 MM	10.750 INCHES	GLASS MAT	1 MM	0.020 INCHES
WIDTH	143 MM	5.625 INCHES			
THICKNESS	3.05 MM	0.120 INCHES			
CAPACITY:					
CRANK AMPS:			ELECTROLYTE RESERVE:		
COLD (CCA)	0°F / -17.8°C	1218	ABOVE PLATES	57 MM	2.25 INCHES
MARINE (MCA)	32°F / 0°C	1523	RESERVE CAPACITY:		
			RC @ 25A	870 MINUTES	
20 HR RATE:	400				

	HOUR RATE	SPECIFIC GRAVITY	CAP / AH	CURRENT / AMPS
CAPACITY @	100 HOUR RATE	1.280 SP.GR.	532	5.32
CAPACITY @	72 HOUR RATE	1.280 SP.GR.	504	7.00
CAPACITY @	50 HOUR RATE	1.280 SP.GR.	476	9.52
CAPACITY @	24 HOUR RATE	1.280 SP.GR.	412	17.2
CAPACITY @	20 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	400	20.0
CAPACITY @	15 HOUR RATE	1.280 SP.GR.	376	25.1
CAPACITY @	12 HOUR RATE	1.280 SP.GR.	356	29.7
CAPACITY @	10 HOUR RATE	1.280 SP.GR.	340	34.0
CAPACITY @	8 HOUR RATE	1.280 SP.GR.	320	40.0
CAPACITY @	6 HOUR RATE	1.280 SP.GR.	296	49.3
CAPACITY @	5 HOUR RATE	1.280 SP.GR.	280	56
CAPACITY @	4 HOUR RATE	1.280 SP.GR.	260	65
CAPACITY @	3 HOUR RATE	1.280 SP.GR.	236	79
CAPACITY @	2 HOUR RATE	1.280 SP.GR.	204	102
CAPACITY @	1 HOUR RATE	1.280 SP.GR.	144	144

Cargador de baterías de la Serie-E (LESTER ELECTRICAL)

DC Output Volts	DC Output Amps	Amp-Hour Rating, C ₂₀ Rate (12 Hrs)	Model Number	AC Input Amps	Shipping Weight, Approx (Lbs)
12	25	150-305	27070	5	28
24	21	130-225	26010	8.5	34
24	25	150-305	26040	9.5	37
36	21	130-225	25970	11.5	37
36	25	150-305	25940	13.5	39
48	17	105-210	26070	11.5	39

SPECIFICATIONS

Domestic models - Models with export AC input voltages and frequencies are available (CE certified)

AC Input Ratings

Voltage (nom) 120 VAC
 Frequency (nom) 60 Hz
 Phase Single-phase
 Current See model table
 Protection AC breaker

AC Input Tolerances

Voltage 110-132 VAC (charge times increase at lower AC voltages)
 Frequency 57-63 Hz

DC Output Ratings

Voltage (nom) See model table
 Start current (nom) See model table
 Battery types Wet and Sealed lead-acid (field selectable with internal jumper)
 Protection Electronic protection and DC fuse

Indicator

DC output amps Ammeter

Mechanical

Dimensions (WxHxD) 8.69 x 9.38 x 11.00 in (221 x 239 x 280 mm)
 Shipping weight (approx) See model table
 Case material Powder-coated steel
 AC cable length (min) 6 ft (1.82m)
 AC connector NEMA 5-15P, Type B (3-pin grounded)
 DC cable length (min) 8 ft (2.43m)
 DC connector Large variety available

Consult a Lester Electrical sales representative for AC and DC cable and connector options

Environmental

Operating temperature -20 °C to +45 °C
 Storage temperature -40 °C to +65 °C

Safety

UL listed and CSA certified

Especificaciones de alambre y cable THWN/THHN (VIAKON)

Descripción general:

Alambre o cable de cobre suave clase B o C o unilay, con aislamiento termoplástico de policloruro de vinilo (PVC) y cubierta protectora de nylon (poliamida).

Especificaciones.

Los alambres y cables Viakon® THWN/THHN cumplen con las siguientes especificaciones:

- UL 83 Thermoplastic-Insulated wires and cables

Principales aplicaciones.

- Los alambres y cables THWN/THHN son productos de uso general usados en sistemas de distribución de baja tensión e iluminación.
- Por su excelente comportamiento a los aceites y químicos es adecuado para instalarse en gasolineras y refinerías.

Características.

- Cable aprobado por UL (File E172775, E95989)
- Tensión máxima de operación: 600 V.
- Aprobado por UL para marcarse como: Resistente al aceite l y/o Resistente a gasolina, TC para instalación en charola, para calibres 1/0 AWG y mayores, Resistente a la luz solar para color en negro.
- Temperaturas máximas de operación en el conductor:
 - 75°C En ambiente mojado.
 - 90°C En ambiente seco o húmedo.

Se fabrican en los siguientes calibres:

- Alambres de 2,082 a 5,260 mm² (14 a 10 AWG).
- Cables de 2,082 a 506,7 mm² (14 AWG a 1 000 kcmil).

Ventajas.

- Satisfacen la prueba de resistencia a la propagación de la flama vertical (VW-1)
- Apropriados para instalarse en lugares húmedos o secos.
- Gran resistencia a la abrasión, al aceite y a los agentes químicos, debido al nylon.
- Ofrecen excelentes características eléctricas, físicas y mecánicas.
- Cumplen la prueba de no propagación de incendio de 70,000 BTU's de acuerdo a IEEE 383 e ICEA T-30-520



ALAMBRE VIAKON® THWN/THHN 600 V								
Calibre	Área nominal de la sección transversal	Espesor nominal del aislamiento	Espesor nominal de nylon	Diámetro exterior aproximado	Peso total aproximado	Capacidad de conducción de corriente* Amperes		
						60°C	75°C	90°C
AWG	mm ²	mm	mm	mm	kg/100 m			
14	2,082	0,38	0,10	2,7	3	20	20	25
12	3,307	0,38	0,10	3,2	4	25	25	30
10	5,260	0,51	0,10	4,0	6	30	35	40

CABLE VIAKON® THWN/THHN 600 V									
Calibre	Área nominal de la sección transversal	Número de hilos	Espesor nominal del aislamiento	Espesor nominal de nylon	Diámetro exterior aproximado	Peso total aproximado	Capacidad de conducción de corriente*		
							Amperes	60°C	75°C
AWG/kcmil	mm ²		mm	mm	mm	kg/100 m	60°C	75°C	90°C
14	2,082	19	0,38	0,10	2,9	3	20	20	25
12	3,307	19	0,38	0,10	3,4	4	25	25	30
10	5,260	19	0,51	0,10	4,3	6	30	35	40
8	8,367	19	0,76	0,13	5,7	10	40	50	55
6	13,30	19	0,76	0,13	6,7	15	55	65	75
4	21,15	19	1,02	0,15	8,5	24	70	85	95
2	33,62	19	1,02	0,15	10,1	36	95	115	130
1	42,41	19	1,27	0,18	11,6	46	110	130	150
1/0	53,48	19	1,27	0,18	12,7	56	125	150	170
2/0	67,43	19	1,27	0,18	13,9	70	145	175	195
3/0	85,01	19	1,27	0,18	15,2	87	165	200	225
4/0	107,2	19	1,27	0,18	16,7	108	195	230	260
250	126,7	37	1,52	0,20	18,5	128	215	255	290
300	152,0	37	1,52	0,20	19,9	152	240	285	320
350	177,3	37	1,52	0,20	21,3	177	260	310	350
400	202,7	37	1,52	0,20	22,5	201	280	335	380
500	253,4	37	1,52	0,20	24,7	249	320	380	430
600	304,0	61	1,78	0,23	27,3	298	355	420	475
750	380,0	61	1,78	0,23	30,0	369	400	475	535
1 000	506,7	61	1,78	0,23	34,0	488	455	545	615

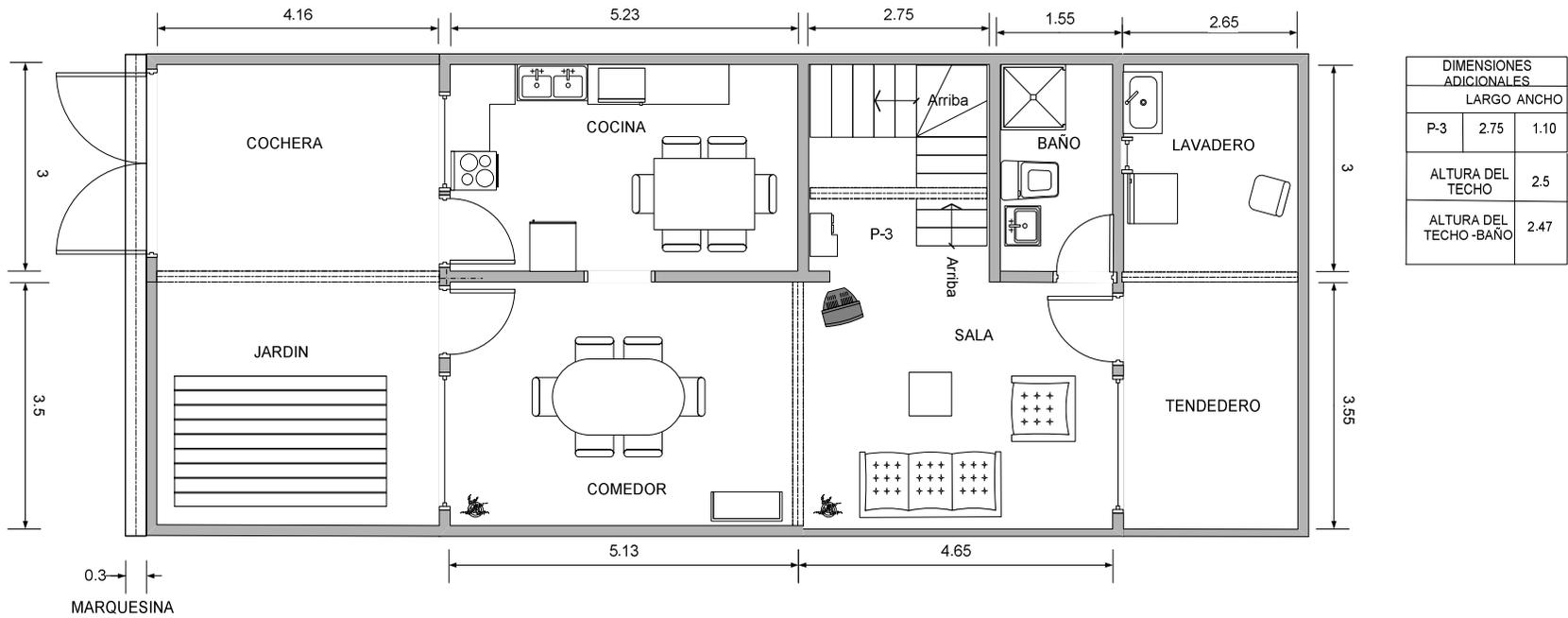
* Basada en la tabla 310.16 del NEC (NFPA 70) para una temperatura ambiente de 30°C.

Nota: Las dimensiones y pesos están sujetos a tolerancias de manufactura.

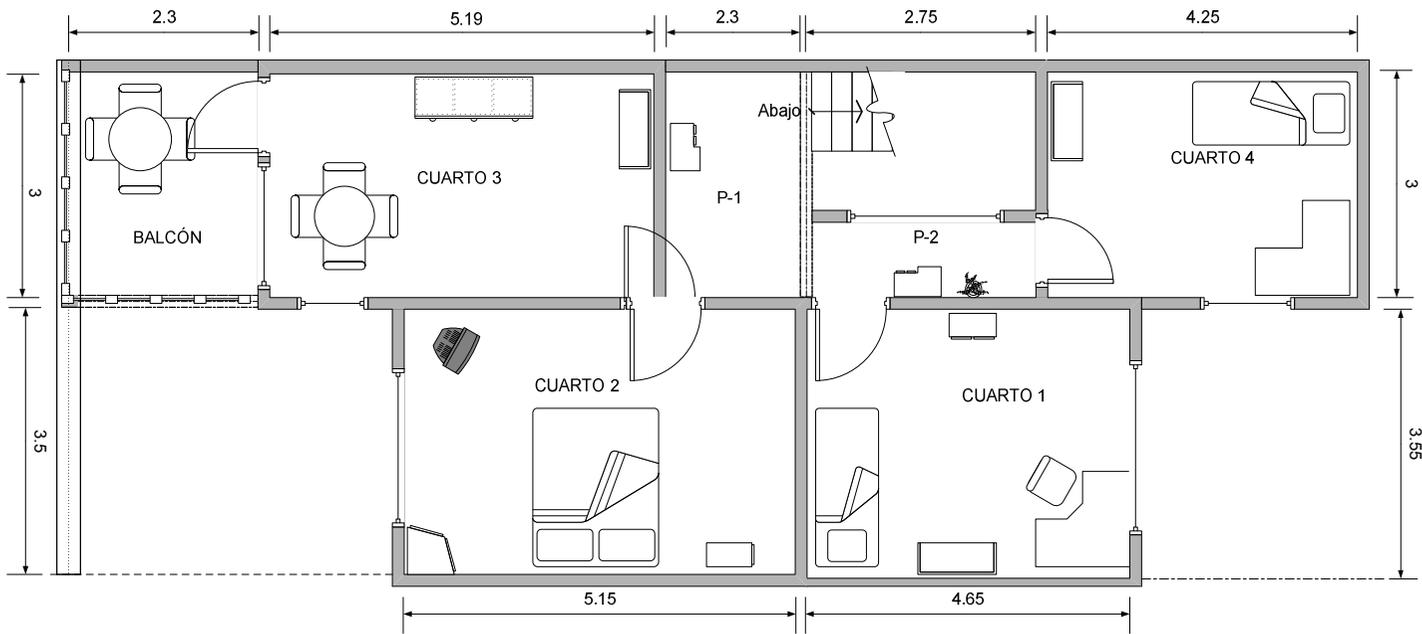
BWTHHN

ANEXO D

PLANOS Y ESQUEMAS

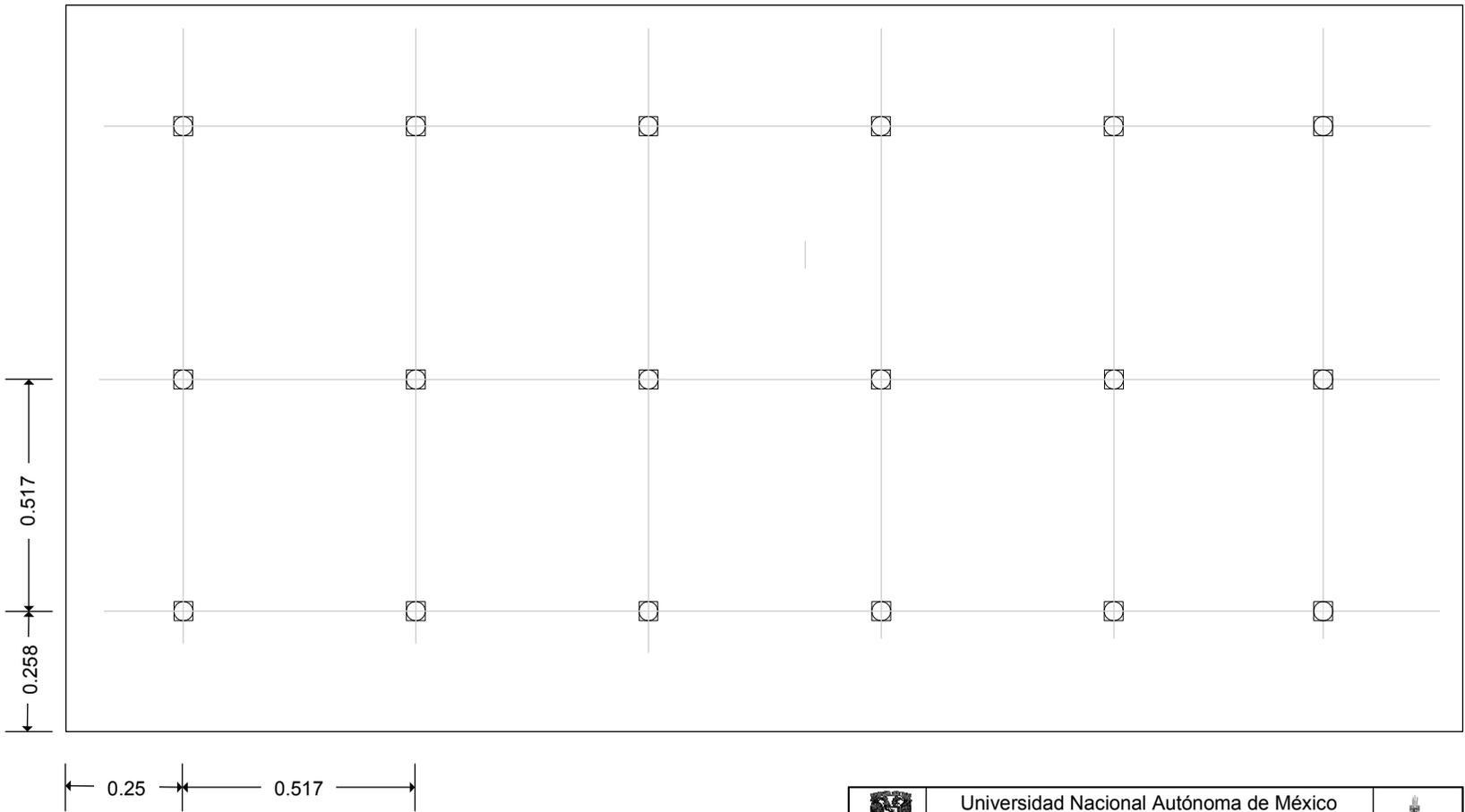


	Universidad Nacional Autónoma de México	
Facultad de Estudios Superiores Aragón		
Plano de la casa planta baja		
Luis Felipe Palomeque Chacón		
ESTUDIO DE UNA INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN CON LEDS ENFOCADO A LA SEGURIDAD DE LA MISMA		Esc: 1:100 Acot. m

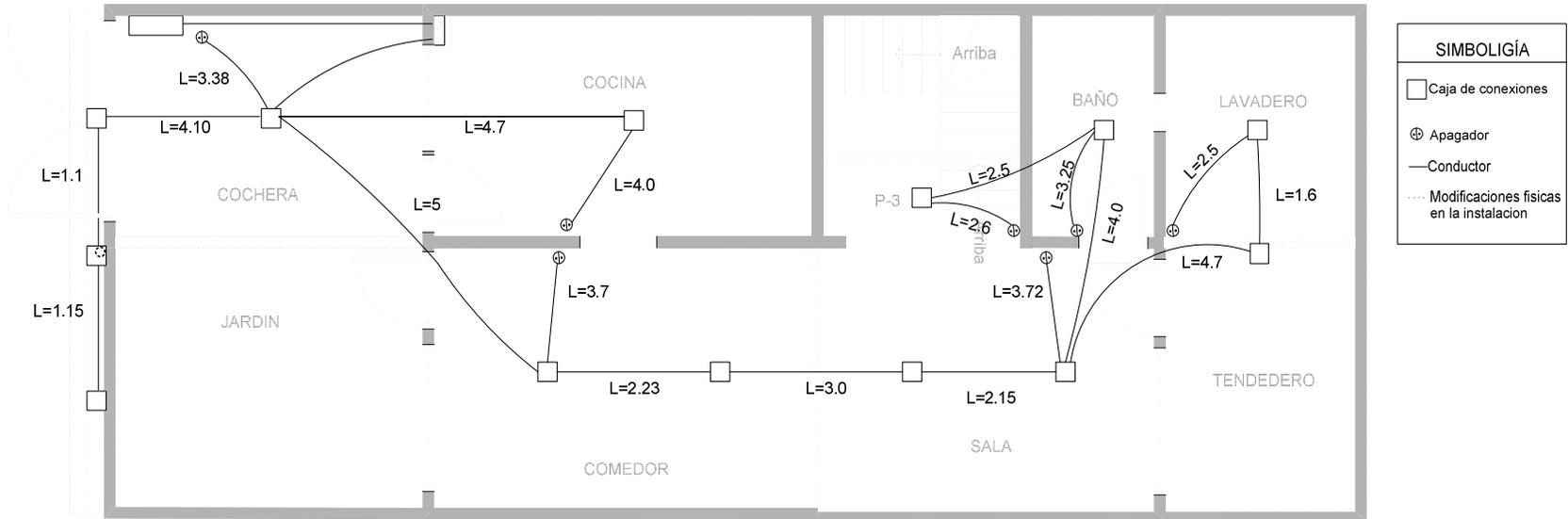


DIMENSIONES ADICIONALES		
	LARGO	ANCHO
CUARTO 3	5.19	2.97
P-2	2.75	1.10
Altura al techo	2.5	

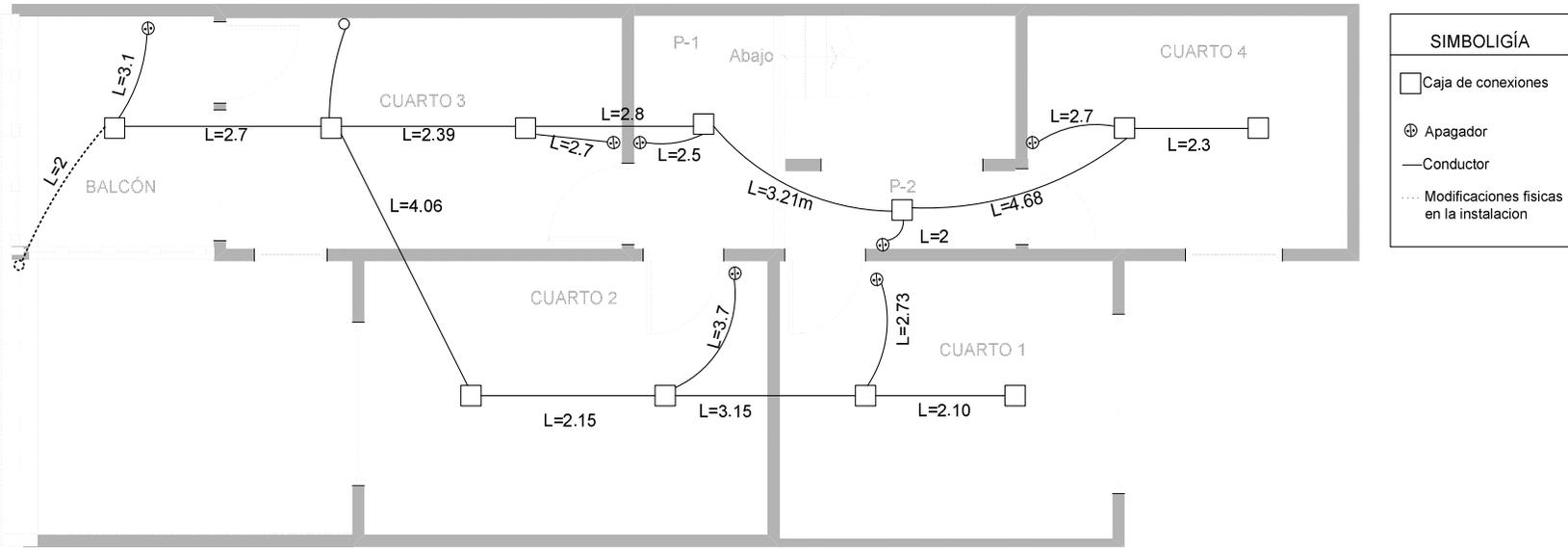
	Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Aragón	
Plano de la casa planta alta		
Luis Felipe Palomeque Chacón		
ESTUDIO DE UNA INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN CON LEDS ENFOCADO A LA SEGURIDAD DE LA MISMA		Esc: 1:100 Acot. m



	Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Aragón	
Distribución de los LEDs en la zona baño		
Luis Felipe Palomeque Chacón		
ESTUDIO DE UNA INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN CON LEDs ENFOCADO A LA SEGURIDAD DE LA MISMA		Esc: 1:100 Acot. m

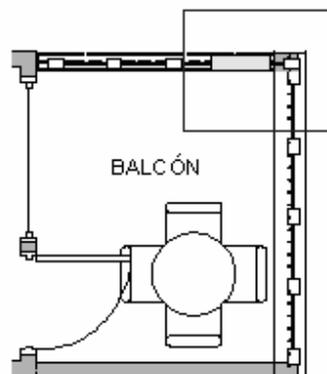
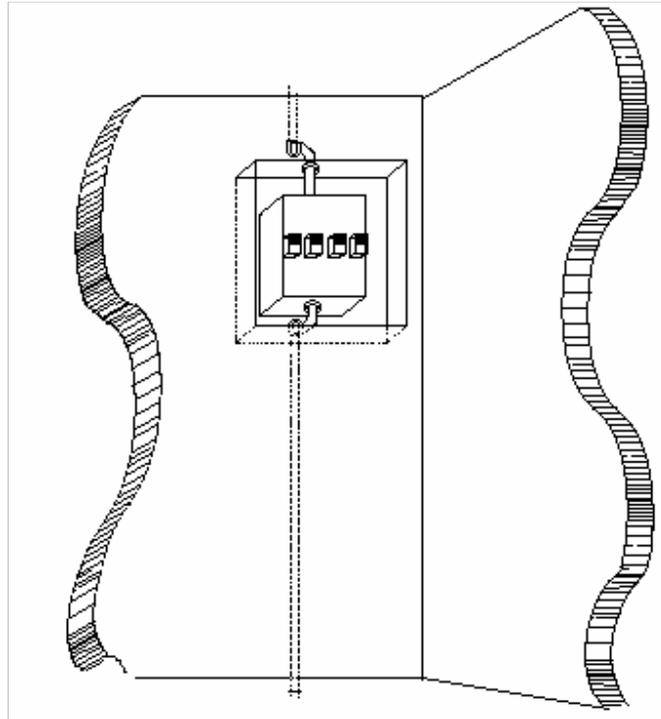


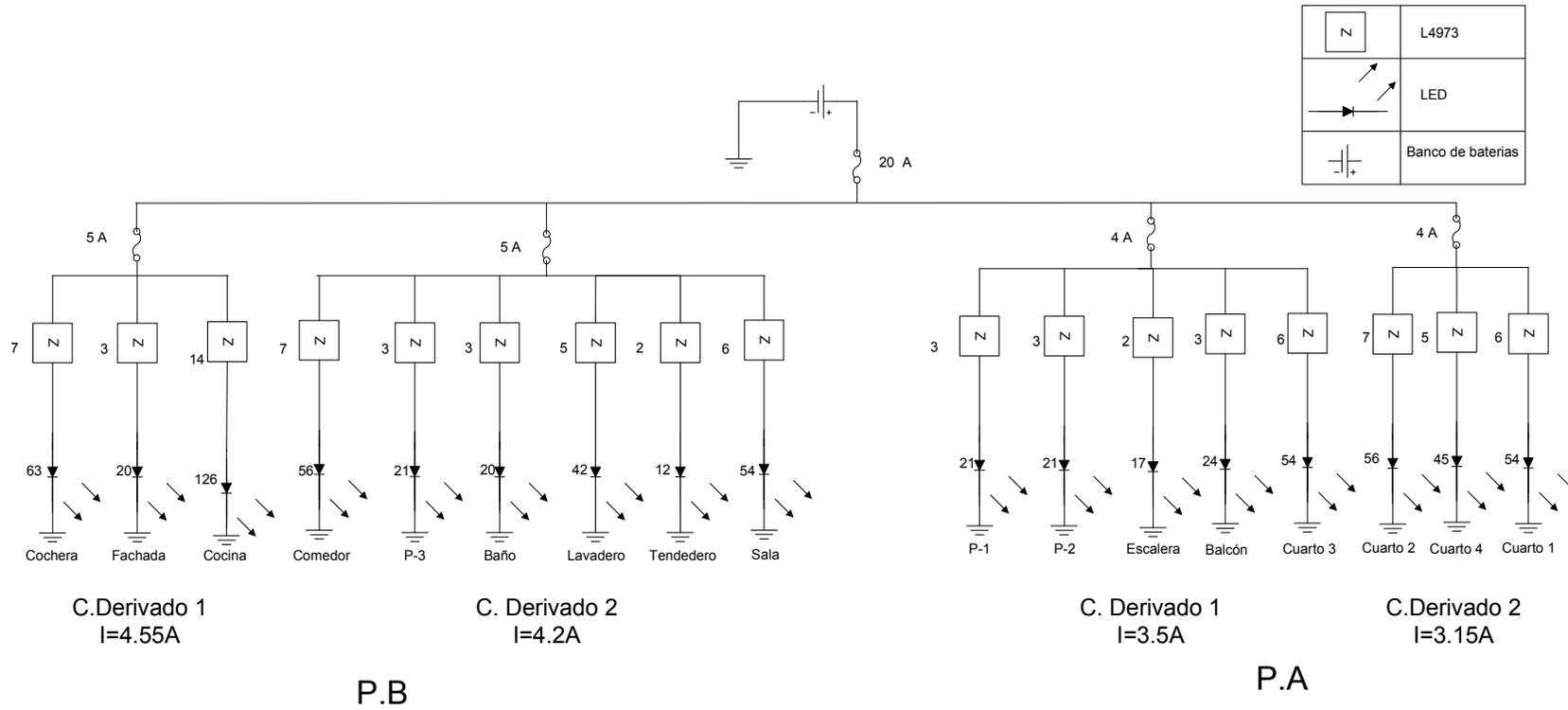
	Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Aragón	
Esquema de la tubería planta baja		
Luis Felipe Palomeque Chacón		
ESTUDIO DE UNA INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN CON LEDs ENFOCADO A LA SEGURIDAD DE LA MISMA		Esc: 1:100 Acot. m



	Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Aragón	
Esquema de la tubería planta alta		
Luis Felipe Palomeque Chacón		
ESTUDIO DE UNA INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN CON LEDs ENFOCADO A LA SEGURIDAD DE LA MISMA		Esc: 1:100 Acot. m

Ubicación de las protecciones de los circuitos derivados





	Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Aragón	
Diagrama Unifilar		
Luis Felipe Palomeque Chacón		
ESTUDIO DE UNA INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN CON LEDs ENFOCADO A LA SEGURIDAD DE LA MISMA		Esc: S/E Acot. S/A

ANEXO E

PROCEDIMIENTOS DE CÁLCULO

Método del cálculo del tiempo de vida de la compañía SunledUsa para estimar el Tiempo de vida de los LEDs

Para realizar el cálculo del tiempo de vida útil de los LED se debe calcular el tiempo promedio de falla o Mean time to failure (MTTF) para esto se deben realizar experimentos físicos en el elemento de prueba, en este caso los LEDs.

Sometiendo a pruebas de estrés a cierto número de LEDs, por medio de módulos para la prueba para LEDs los cuales mantiene constantes la temperatura, la humedad y la corriente de alimentación.

A modo de ejemplo se emplearan 100 piezas de prueba sometidas a este examen, el tiempo al que es sometido el LED a este análisis es de 1000 horas, pasado este tiempo se realizan mediciones de voltaje corriente e intensidad luminosa cada uno de los LEDs, si alguno de los parámetros anteriores es diferente a las lecturas iniciales se considera como una pieza fallida, si ninguna de las piezas fallaron en el periodo de 1000 horas se asume que posteriormente al menos una pieza fallara.

A continuación se determina el tiempo de prueba total multiplicando el número de LEDs empleados por el tiempo de prueba.

$$(100)(1000 \text{ horas}) = 100000 \text{ horas}$$

Para determinar el MTTF se divide el tiempo de prueba total entre el número de piezas que fallaron. Para este caso se asumirá que fue solo una, obteniendo.

$$MTTF = \frac{100000 \text{ horas}}{1} = 100000$$

Posteriormente se debe calcular el porcentaje de falla λ , que es el inverso del MTTF:

$$\lambda = \frac{1}{100000} = 1 \times 10^{-5}$$

Ya que se obtienen los todos los parámetros, se debe calcular el coeficiente de funcionamiento Γ , por medio de la fórmula:

$$\Gamma = e^{-\lambda t}$$

Para determinar (t) solo es necesario elegir un valor superior al tiempo de prueba (1000) e inferior al tiempo total de la prueba (10000), para este ejemplo se emplearan 1200 horas por lo tanto:

$$\Gamma = e^{-(1 \times 10^{-5})(1200)} = 0.988$$

Este valor corresponde al porcentaje degradación de la intensidad luminosa luminoso, para realizar la grafica de Degradación de la Intensidad Luminosa vs. Tiempo de vida, solo debe obtenerse este valor para los distinto puntos de tiempo. Quedando la siguiente grafica.



(SunLedUsa)

Aunque los resultados del tiempo de vida prospectado no es fiable, ya que el LED puede no alcanzar el tiempo de vida.

Calculo del voltaje en el LED cuando el LM338 deja de regular

Se calculo la resistencia total del circuito por medio de la fórmula 5.5

$$R = \frac{27.42\text{V}}{0.35\text{A}} = 78.343\Omega$$

Sustituyendo en la fórmula 5.6 la resistencia previamente calculada y el voltaje correspondiente al periodo de no regulación para el LM338, considerando que este fuera de 30.419 V, se obtiene.

$$I = \frac{30.419\text{V}}{78.343\Omega} = 0.389\text{A}$$

Sustituyendo la resistencia reguladora y el resultado anterior en la fórmula 5.7 se obtiene el voltaje que pasa por la resistencia reguladora.

$$V = (0.389\text{A})(5.2\Omega) = 2.023\text{V}$$

Sustituyendo el resultado anterior en la fórmula 5.8, junto con los 8 LEDs soportados por el regulador y considerando el voltaje no regulado. Se obtiene un voltaje en el LED de:

$$V_{LED} = \frac{(30.419\text{V} - 2.023\text{V})}{8} = 3.55\text{V}$$

Por lo tanto la temperatura de juntura en el LED es de.

$$T_J = \left(10 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 4.5 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}\right) 1.381\text{W} + 33^{\circ}\text{C} = 53.025^{\circ}\text{C}$$