

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
TACNA**

**Facultad de Ciencias**

**Escuela Académico Profesional de Física Aplicada**

**“Análisis de Iluminación e Implementación de  
un Sistema de Lámpara para el Alumbrado  
Público Basado en Tecnología LED con Control  
de Intensidad”**

TESIS

Presentada por :

Bach. Carlos Elisban Ticona Llangato

Para optar el Título Profesional de

LICENCIADO EN FISICA APLICADA

TACNA – PERÚ

2015

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**

TESIS N° 260

**TITULO PROFESIONAL  
DE:**

**LICENCIADO EN FÍSICA  
APLICADA**

El Secretario Académico Administrativo de la Facultad de Ciencias certifica que con Resolución de Facultad N° 8258 – 2015 – FACI – UNJBG, ha designado como jurados para la sustentación de la Tesis:

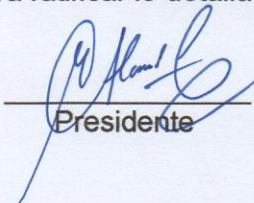
**“Análisis de Iluminación e Implementación de un Sistema de Lámpara para el Alumbrado Público Basado en Tecnología LED con Control de Intensidad”** , el mismo que está conformado por:

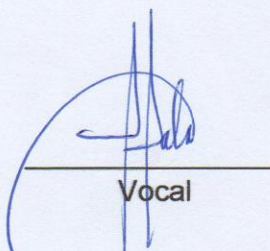
Presidente : Dr. Segundo Manuel Alvarado Contreras  
Secretario : Msc. Hugo Torres Muro  
Vocal : Msc. Carlos polo Bravo

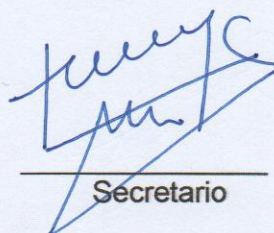
Para examinar y calificar el trabajo de tesis sustentado en acto público, en el auditorium de la Facultad de Ciencias el día 01 de Octubre de 2015 a las 11:10 horas, presentado por el Bachiller Carlos Elisban Ticona Llangato, de la Escuela Académico Profesional de Física Aplicada.

El jurado calificador, en forma secreta e individual se pronunció sobre el calificativo del trabajo expuesto y procedió a emitir el siguiente resultado: APROBADO por UNANIMIDAD y con el calificativo de BUENO con una nota de 16 (dieciséis)

Para ratificar lo detallado firman:

  
\_\_\_\_\_  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Vocal

  
\_\_\_\_\_  
Secretario

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, a mis padres, Juan Carlos Ticona M. y Luisa Llangato de Ticona, por su amor y apoyo incondicional, dándome las fuerzas necesarias en la realización de todas mis metas.

A mi asesor Eduardo Rodriguez D. por haberme brindado su confianza y apoyo.

A la Ing. Edith Paredes Choque, por su apoyo en los momentos más críticos de la presentación de mi trabajo final de tesis, enseñándome la importancia y el valor de un trabajo serio y responsable.

Al Dr. José Antonio Tiburcio Moreno, por los consejos y el apoyo en las observaciones previas a la presentación de mi trabajo final de tesis.

A los miembros de mi jurado, Dr. Manuel Alvarado , Msc. Hugo Torres Muro y Msc. Carlos Polo Bravo, por sus observaciones y consejos durante la sustentación y defensa de mi tesis. Así también a mis profesores de la Escuela Académico Profesional de Física Aplicada, a quienes guardo un inmenso respeto y admiración, por la formación que me brindaron, la cual es hoy en día mi herramienta con la que enfrentaré los retos en mi vida profesional y laboral.

## **DEDICATORIA**

El fruto de este trabajo se lo dedico, a mis queridos padres, Juan Carlos Ticona Mamani y Luisa Llangato de Ticona, a mi amor y compañera Lucia Flores y al motor de mi vida que son mis hijos Ian Pablo y Bianca .

## INDICE

	<i>Pág.</i>
<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>DEFINICIÓN DE TÉRMINOS</b> .....	5
 <b>CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
1.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO .....	9
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	12
1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	13
1.3.1 Objetivo General .....	13
1.3.2 Objetivos Específicos .....	13
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO .....	14
1.5. HIPOTESIS .....	16
1.6. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES .....	16
 <b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 INTRODUCCIÓN .....	17
• Lámparas Incandescentes .....	17
• Lámparas Fluorescentes .....	18
• Lámparas de Sodio a baja presión .....	19
• Lámparas de sodio a alta presión .....	20
• Lámparas de vapor de Mercurio .....	20
• Luminaria .....	23
2.2 FUNDAMENTOS SOBRE ALUMBRADO EN VÍAS PÚBLICAS .....	25
• Iluminancia .....	25
• Luminancia .....	27
• Criterios de Calidad .....	29
○ Coeficiente de Uniformidad .....	30
○ Deslumbramiento .....	30
○ Coeficiente de iluminación de los alrededores .....	32
• Lámparas y Luminarias .....	33

2.3 DISPOSICIÓN DE LAS LUMINARIAS EN LA VIA .....	34
2.4 FUNDAMENTOS SOBRE DIODOS LED .....	44
2.4.1 Introducción .....	44
2.4.2 Principio Físico .....	47
• Teoría de Bandas .....	48
2.4.3 Composición de los LED .....	53
2.4.4 Tipos de LED .....	59
2.4.5 Criterios de elección para Diodos emisores LED .....	68
• Ángulo de Vista de un LED .....	68
• Luminosidad .....	69

### **CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO**

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	70
3.2 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE ANÁLISIS .....	71
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA .....	71
3.4 MÉTODO Y TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	72
3.4.1 Método de recolección – Montaje .....	72
3.5 EVALUACIÓN DE LUMINARIAS TIPO LED – Obtención de curvas isolux..	75
3.5.1 Prueba de 18 LED de alto brillo de 5 mm en 1 metro cuadrado. ....	75
3.5.2 Prueba de 1 LED de alto poder de 1Watt en 1 metro cuadrado. ....	79
3.5.3 Prueba de 1 LED de alto poder de 1 watt en 2 metros cuadrados. ....	82
3.5.4 Prueba de 1 LED de alto poder de 3 watt en 2 metros cuadrados. ....	85
3.5.5 Prueba de Tres LED de alto poder de 1 watt en 2 metros cuadrados.....	88
3.5.6 Prueba de 18 LED de alto poder de 1 watt en metro cuadrado.....	91
3.5.7 Prueba de 24 LED de alto poder de 1 watt en metro cuadrado .....	94
3.6 ELECCION DE LA MEJOR ALTERNATIVA. ....	97
3.6.1 Ángulo de vista. ....	97
3.6.2 Luminosidad. ....	98

## **CAPITULO 4 : IMPLEMENTACIÓN DEL DISPOSITIVO DE ILUMINACION LED Y CONTROL DE INTENSIDAD**

4.1 INTRODUCCION. ....	99
4.2 IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE LUMINARIA LED .....	99
4.2.1 CALCULO DE ILUMINANCIA Y MONTAJE LA LUMINARIA .....	99
4.2.2 CIRCUITO LUMINARIA LED y ALTERNATIVA DE ALIMENTACIÓN ....	105
4.2.3 REGULADOR DE CORRIENTE CONSTANTE .....	114
4.2.4 CÁLCULO DE LA POTENCIA DISIPADA EN EL MOSFET Y RENDIMIENTO GENERAL DEL REGULADOR .....	118
4.2.5 ACONDICIONAMIENTO DE LA FUENTE .....	121
4.2.6 SISTEMA DE CONTROL DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED .....	127
• Sistema de control en LAZO ABIERTO .....	128
• Teoría PWM (Modulación por Ancho de Pulso) .....	129
• El módulo PWM de un Microcontrolador PIC .....	132
• Elección del Tipo de Microcontrolador PIC .....	137
• Programa C en el Compilador CCS .....	138
(Diagrama de flujo del programa principal)	
• Descripción del circuito de control de Intensidad .....	141
4.2.7 ETAPA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA LÁMPARA LED .....	145
• Implementación practica .....	146

## **CAPITULO 5 : RESULTADOS Y DISCUSIONES**

5.1 ANALISIS DEL ALUMBRADO ACTUAL DE LA CIUDAD. ....	149
5.2 CARACTERISTICAS DE LA LÁMPARA LED EN LA ILUMINACION VIAL .....	157
5.3 CARACTERISTICAS COMPARATIVAS ENTRE NUESTRA LÁMPARA LED Y LAS LÁMPARAS DE TIPO CONVECCIONAL .....	159
5.4 DISCUSION DE RESULTADOS .....	161
<b>CONCLUSIONES</b> .....	165
<b>OBSERVACIONES Y SUGERENCIAS</b> .....	167
<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA</b> .....	168
<b>ANEXOS</b> .....	172

## RESUMEN

El presente proyecto, denominado "**Análisis de Iluminación e Implementación de un Sistema de Lámpara para el Alumbrado Público basado en Tecnología LED con Control de Intensidad**", presenta una alternativa para el alumbrado público mediante la implementación de un sistema de lámpara basado en tecnología LED, para lo cual se realizó el análisis de iluminación empleando *curvas Isolux*, y así concluir en una buena alternativa en consumo de energía como también en proporcionar una iluminación comparable a una luminaria con tecnología convencional. Para optimizar nuestro sistema se le incorporó un control de intensidad tipo PWM (Modulación de anchura de pulso), basado en un Microcontrolador 16F873 y se empleó como sensor un LDR (foto-resistencia) de alta sensibilidad. Así uno de los problemas iniciales fue el de alimentación, ya que los LED son muy sensibles y necesitan de una corriente constante para su correcto funcionamiento y preservación de su tiempo de vida. La solución fue implementar un sistema de alimentación basada en un regulador de corriente mediante un transistor MOSFET IRF530 y una fuente AT (reciclada) de computadora, el cual dio buenos resultados. Así se obtuvo finalmente una luminaria que consume 28,5 watts, con eficiencia de 228 Lm/W y proporciona a 6 m de altura una iluminación de 7,8 lux, lo cual la ubica en la categoría P3, de uso moderado por ciclistas y peatones, según CIE (Comisión Internacional de Iluminación)

## INTRODUCCIÓN

El continuo desarrollo de los semiconductores, en los últimos años, donde se ha logrado dejar de usar a los LED como simplemente fuentes de señalización en aplicaciones minúsculas, por ejemplo en los displays de 7 segmentos o como puntos brillantes en los teclados y circuitos electrónicos, para pasar con fuerza al ámbito de la iluminación. Es así, como grandes empresas internacionales han fijado su interés en el desarrollo y afianzamiento en el mercado de los llamados LED de potencia o alto brillo, dado que, como su nombre lo indica, han llegado a multiplicar su capacidad de generar luz de gran calidad óptica con un consumo mínimo de energía, mejorando así su eficiencia luminosa hasta el punto de competir y porque no, de tener la capacidad de superar a los tipos tradicionales de fuentes de iluminación.

La iluminación de estado sólido significa la conversión directa de energía eléctrica en luz por medio de materiales inorgánicos. Los LED están siendo ya utilizados cada vez más en la señalización del tráfico a causa de la eficiencia ya mencionada y de su alta luminosidad monocromática, pero para iluminar las carreteras los LED necesitan reproducir las fuentes de luz naturales a las que el ser humano está acostumbrado, como el Sol, las velas o incluso sistemas más antiguos como el fuego. Se espera grandes progresos en la producción de luz blanca con tecnología LED, que entonces

podrán sustituir a las luminarias convencionales. La contribución de los LED al ahorro de energía puede ser enorme, y además producirán un nuevo tipo de industria de iluminación.

Este estudio sería uno de los primeros trabajos en nuestra universidad sobre tecnología LED, con lo cual se está contribuyendo a abrir una nueva línea de investigación dentro de esta área del conocimiento.

En el capítulo 1 del presente trabajo se exponen los objetivos y antecedentes del proyecto.

En el capítulo 2, se presentan los fundamentos teóricos de los sistemas de luminarias, como las lámparas incandescentes, fluorescentes, de Sodio a Alta presión y Sodio a Baja presión, mostrando sus características de energía consumida (en Watts) y energía perdida por disipación de calor.

En el capítulo 3 , se detalla la metodología del proyecto y los fundamentos con los cuales se ha trabajado los datos obtenidos para el análisis de la iluminación (mediante las curvas Isolux).

En el capítulo 4 se presentan los datos obtenidos en el análisis de iluminación, para lo cual se realizó la toma de datos mediante un Luxómetro de tipo Lx-101 y posteriormente de un Lumiometro PR-382,

empleando la técnica de análisis de curvas isolux que emplean el mismo principio de las curvas de nivel realizadas con un Teodolito en ingeniería., estos datos se presentan mediante tablas que se ingresan y grafican empleando el entorno de Matlab.

En el capítulo 5, se muestra el desarrollo del sistema de control de intensidad luminosa basada en un microcontrolador de la familia 16F con su programa de control tipo PWM (modulación por anchura de pulso) desarrollado en lenguaje C y un sensor LDR (resistencia dependiente de la Luz) o fotocelda de alta sensibilidad.

Finalmente se presenta los resultados y las conclusiones de nuestro proyecto, el cual cabe aclarar que inició su investigación el año 2013 según resolución de aprobación del perfil del proyecto N° 7540-2013-FACI/UNJBG.

Por estas razones, el objetivo del presente trabajo de tesis es realizar un análisis de iluminación de un sistema de lámpara para el alumbrado público basado en tecnología LED. Trabajo que se realizó en los ambientes del laboratorio de electricidad y electrónica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna.

## DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

**Control** : Esta palabra se usa para designar regulación, gobierno, dirección o comando.

**Curvas isolux** : Las curvas formada por puntos con igual iluminación, medida en unidades “lux” , semejantes a las curvas de nivel en topografía.

**CLF**: Lámpara Fluorescente compacta, dispositivo de iluminación.

**Datasheet** : hoja técnica de componentes el cual posee su correspondiente manual y diagrama electrónico.

**Densidad de flujo radiante (Irradiancia)** – La energía de radiación incidente total medida en potencia por unidad de área (ejemplo  $\text{mW/cm}^2$ ).

**Diodos LED** (*Light Emitting Diode*) *Es un diodo emisor de luz.*

**Driver** : Es una pequeña fuente de alimentación electrónica que llevan los LED que trabajan a 12V para poder ser conectados a 220V.

**Duty Cycle**: o ciclo de trabajo de un pulso, tiempo durante el cual la función esta en nivel alto, normalmente cuando el pulso esta en un nivel mayor a cero.

**Energía media de consumo** (en Watts-horas).- potencia (en watts) disipada o consumida por cada unidad de tiempo (hora)

**Entrada de un sistema** : Es una variable del sistema elegida de tal manera que se utiliza como excitación del mismo.

**Flujo luminoso:** Es la cantidad de energía radiante emitida en el espacio por una fuente luminosa en la unidad de tiempo.

**Fuente Switching** : Es una fuente de tipo conmutada, la cual presenta mejor eficiencia que las fuente lineales ya que se minimizan las perdidas en el elemento regulador.

**HPLED** (High Power LED) Diodo emisor de Luz de alto poder

**Intensidad luminosa:** Es el flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido en una dirección concreta, se define como la porción del flujo luminoso recibido en el área deseada en relación al flujo total emitido en la sala por las luminarias

**LDR:** sensor LDR (Light Dependent Resistor / resistencia dependiente de la luz). Las fotoceldas son dispositivos de película delgada que se fabrican depositando una capa de material fotoconductor sobre un substrato cerámico.

**Luminancia (L) (o brillo fotométrico).**- Intensidad luminosa de una superficie en una dirección dada por unidad de área proyectada de superficie.

**Luminancia Media.**- Promedio aritmético de las luminancias medidas en varios puntos simétricamente distribuidos en una superficie.

**Lux (Lx).**- Unidad de iluminación. Iluminación en un punto sobre un plano a una distancia de un metro (en dirección perpendicular) respecto a una fuente luminosa de una candela.

**Lumen** – El flujo luminoso emitido de una fuente estándar e incluido en un estereorradian (ángulo sólido equivalente de un radian en tres dimensiones).

**Matlab:** Es un entorno de trabajo para el cálculo científico. Abreviatura de Matrix Laboratory. Matlab es una buena herramienta para simulación gráfica.

**MCU** : Unidad Microcontroladora , circuito integrado de control.

**Mosfet** : Transistor de potencia de efecto de campo.

**PIC** : controlador programable integrado, dispositivo microcontrolador.

**PWM:** modulación de ancho de pulso o modulación por anchura de pulso

**Realimentación** : propiedad de los sistemas que permite que la salida del sistema o cualquier variable del mismo sea comparada con la entrada al sistema o con cualquier componente del sistema, de tal manera que pueda establecerse la acción de control apropiada entre la entrada y la salida.

**Salida de un sistema** : Es una variable del sistema elegida de tal manera que se la utiliza para analizar los efectos que produjo una excitación en la entrada del mismo.

**Salida de un sistema de control** : Es una variable del sistema controlado que se elige de modo tal que mediante su estudio se analiza si el sistema cumple o no con los objetivos propuestos.

**Sistema de control** : Es un arreglo de componentes físicos conectados de tal manera que el arreglo pueda comandar, dirigir o regular, asimismo o a otro sistema. Estos sistemas comandan dirigen o controlan dinámicamente.

**Voltaje**.- Es la diferencia de potencial eléctrico, tomado entre los puntos extremos del componente o sistema eléctrico.

# CAPITULO 1

## PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

En la indagación de proyectos realizados con relación al empleo de la Tecnología LED, se ubico los siguientes antecedentes:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA UN ARREGLO RGB DE TRES LED DE POTENCIA”**, Cortez (2009)

La investigación describe el diseño y construcción de un sistema de alimentación para un arreglo RGB de HPLED con componentes atenuables, y se comprobó su correcto funcionamiento.

Del desarrollo de este trabajo se obtienen las siguientes conclusiones rescatables para nuestro trabajo:

El sistema de alimentación desarrollado permite alimentar correctamente un arreglo RGB de tres HPLED con una corriente de trabajo de 700 mA. El sistema también genera luz blanca y de colores mediante la atenuación individual de la intensidad luminosa de cada HPLED del arreglo.

Se implementó, en el MCU AT90PWM2B un control simultáneo a corriente constante de tres corrientes para convertidores reductores tipo *buck*

basándose en el control por modos deslizantes en modo corriente. Con este control, el sistema de alimentación es capaz de sobreponerse ante variaciones en el voltaje de alimentación en el rango de 9 a 16 V.

El sistema de alimentación consta de componentes *hardware* y *software*, por lo que se decidió seguir una metodología de desarrollo de sistemas empotrados, la cual facilita la identificación de las tareas a realizar y permite llevar un orden en el desarrollo del sistema

Debido a los tiempos de respuesta de los *drivers* y los MOSFET empleados se limitó la frecuencia de conmutación de los convertidores a 62.5 kHz, aunque el MCU podría operar con la misma resolución hasta 250 kHz .

El trabajo de Tesis, titulado: **“IMPACTO DEL ALUMBRADO PUBLICO CON LEDS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN” (UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (Acuña 2011)**

Presenta las siguientes conclusiones rescatables para nuestro proyecto.

Con la metodología actual de evaluación del alumbrado público, bajo la curva fotópica, la tecnología LED cumple a cavidad con los límites mínimos de calidad en materia de uniformidad e iluminancia promedio. Sin embargo, a partir de su espectro típico de radiación, es posible afirmar que si el sistema de evaluación cambiara de referencia, a la curva mesópica, el comportamiento de la tecnología LED sería aún mejor que el de las otras

tecnologías, y se podría reducir la potencia nominal de las bombillas, reduciendo con esto el consumo de energía eléctrica en alumbrado público, que a nivel mundial representa cerca del 8% de la energía eléctrica. Desde el punto de vista eléctrico, el gran reto para los próximos cinco años en el diseño de las luminarias para alumbrado exterior basadas en LED, es alcanzar una eficiencia de por lo menos 80 lm/W en condiciones normales de operación, que es la eficiencia que actualmente tienen las luminarias de HPS (sodio a alta presión).

El trabajo de Tesis, titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN PARA ESPACIOS PUBLICITARIOS PEQUEÑOS USANDO LEDS DE POTENCIA RGB, (PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ) ,** Lara Alvarado (2009).

Presenta las siguientes conclusiones rescatables para nuestro proyecto. El sistema diseñado en esta tesis también sirve en la iluminación de piezas en museos o pinturas en galerías, ya que los LED emiten poco calor y rayos UV, los cuales son factores dañinos para cualquier obra de arte.

El uso de este sistema de iluminación en paralelo a otros iguales lleva a la necesidad de llevar y centralizar la interface hombre-máquina a un computador, dejando de lado el uso de pulsadores y display de 7 segmentos.

El uso de un adecuado disipador de calor para el LED Atlas es necesario, ya que los LED de potencia dependen directamente de la temperatura de trabajo para mantener su tiempo de vida útil.

## **1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Implementar una luminaria basada en tecnología LED con la que podamos obtener resultados de iluminación dentro de los estándares fijados por la CIE (Comisión Internacional de Iluminación), para lo cual debemos de realizar todo un estudio sobre: formas de alimentación correcta del sistema de LED seleccionados, además de buscar una buena alternativa de control de intensidad para los LED, para así garantizar un mejor funcionamiento eficiente de nuestra matriz de LED.

Podemos resumir nuestro problema mediante la siguiente proposición:

¿Cómo debería implementarse un sistema de lámpara en base a tecnología LED con control de intensidad para el alumbrado público eléctrico?

### **1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Desarrollar y caracterizar un sistema de lámpara para el alumbrado público, basado en tecnología LED con control de intensidad luminosa.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la mejor alternativa LED para la implementación y construcción de una propuesta de sistema de lámpara para Alumbrado Público basado en la tecnología LED.
- Desarrollar una evaluación de la eficiencia eléctrica y lumínica del sistema de lámpara construida en base a la tecnología LED y confrontar los resultados con los sistemas de alumbrado convencional.

#### **1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO**

En la actualidad, la carrera de Física Aplicada mediante sus especialidades de Energías renovables y Electrónica tiene la facultad y responsabilidad de buscar, promover y desarrollar diversas investigaciones que busquen como proyección a la sociedad, trabajos que contribuyan al uso de energías que preserven el medio ambiente y a la vez promover el ahorro de energía en sus diversas formas por tal motivo se propone este trabajo de tesis “ANÁLISIS DE ILUMINACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE LÁMPARA PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO BASADO EN TECNOLOGÍA LED CON CONTROL DE INTENSIDAD”. Mediante el cual se promueve directamente el consumo responsable de la energía eléctrica y el ahorro de energía, tal diferencia de energía podría ser empleada y distribuida en un futuro no muy lejano a ciudades y/o pueblos alejados, proyectándonos así a la comunidad con un proyecto de estudio lumínico de una lámpara de alumbrado público para en un futuro corto o mediano aplicarlo como posible solución de consumo energético en nuestra localidad.

El Proyecto, se basará en el análisis de iluminación y construcción de un sistema de lámpara para el alumbrado público que utilice Tecnología LED como fuente de luz, por tal es indispensable tener un sistema de

alimentación que suministre una corriente constante para su correcto funcionamiento. La utilización de los LED representa una forma de iluminación que trae consigo varias ventajas como son el ahorro de energía eléctrica, mejor calidad de luz y menor contaminación ambiental.

Este estudio sería uno de los primeros trabajos en nuestra Universidad y/o Escuela A.P. sobre tecnología LED con lo cual se está contribuyendo a abrir una nueva línea de investigación dentro de esta área de conocimiento. Es por estas razones, que el objetivo de este trabajo de tesis es realizar un análisis de iluminación de un sistema de lámpara para el alumbrado público basado en tecnología LED.

La presente tesis incluirá el análisis de luminosidad usando simulación en MatLab, para verificar la eficiencia de la lámpara LED con el fin de comprobar que las lámparas LED suministran la misma cantidad de luminosidad o superior a las lámparas tradicionales que se usan en el alumbrado público. Por lo cual al final de este análisis, determinare esa eficiencia a través de herramientas de simulación (MatLab), e implementare un sistema de lámpara LED para un alumbrado público y su correspondiente sistema de control de intensidad luminosa, basado en un control variable del tipo PWM (Modulación de anchura de pulso).

## 1.5 HIPÓTESIS

Por tratarse de ser una investigación descriptiva simple, esta no llevará hipótesis.

## 1.6 IDENTIFICACIÓN DE LA VARIABLE DE TRABAJO

La variable de trabajo a estudiar y desarrollar será:

### 1.6.1 Variable

SISTEMA DE LÁMPARA LED

#### INDICADORES

- Voltaje de alimentación
- Intensidad de Corriente a través de los LED
- Número de LED de potencia
- Iluminación: Lux (curvas isolux)
- Energía media de consumo (en Watts-horas)

## **CAPITULO 2**

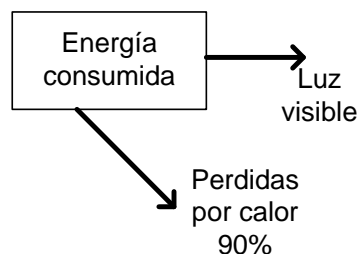
### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 INTRODUCCIÓN**

Existen varias familias de lámparas que se utilizan para iluminación pública, y cada una tiene sus propias características. Tradicionalmente, los principales factores que se han tendido en cuenta a la hora de determinar qué sistemas se utilizaban eran la tecnología disponible y los costos. Por lo general las lámparas y balastos que se utilizan para un sistema no se pueden intercambiar con los de otro, y el reajuste no suele ser rentable económicamente en la mayoría de los casos. Para poder cambiar el tipo de fuente luminosa es necesario cambiar la luminaria completa. A continuación se definen las familias de lámparas que se utilizan para iluminación pública:

- **Lámparas Incandescentes**

Las lámparas incandescentes son bien conocidas en todas las casas. Proporcionan una luz puntual que puede controlarse y dirigirse fácilmente con un soporte. El 90% de la energía que se consume se convierte en calor, lo que deja solo un 10% para producir luz, como se puede apreciar en la siguiente figura 1. <sup>[2]</sup>



**Figura 1.** Energía consumida por lámpara incandescente

Fuente: Elaboración propia

Una lámpara incandescente estándar de 40W que tiene un flujo luminoso de 430 Lúmenes durante su vida de 1000 horas emitirá una cantidad de luz de: 430 000 lm.h. <sup>[2]</sup>

- **Lámparas Fluorescentes**

Estas lámparas son mucho más eficientes que las incandescentes, ya que fundamentalmente se invierte la proporción de uso energético en calor y luz. La vida útil de la lámpara es de unas 20 000 horas. La eficiencia disminuye a menor temperatura. El 71,5% de la energía que consumen se convierte en calor, lo que deja sólo un 28% para producir la luz, como se puede apreciar en la figura 2. <sup>[17]</sup>

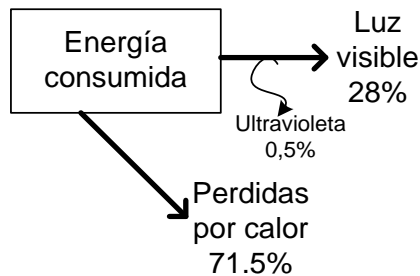


Figura 2. Energía consumida por lámpara fluorescente

Fuente: Elaboración propia

- **Lámparas de Sodio a baja presión**

Estas lámparas tienen una vida larga (18.000horas) y son muy eficientes. Sin embargo, su rendimiento en color da un amarillo monocromo, lo que hace que los colores de los vehículos, de la ropa y de las señales de tráfico lleguen a confundirse. El 44% de la energía que consumen se convierte en calor, lo que deja sólo un 31% para producir la luz, como se puede apreciar en la figura 3. <sup>[17]</sup>

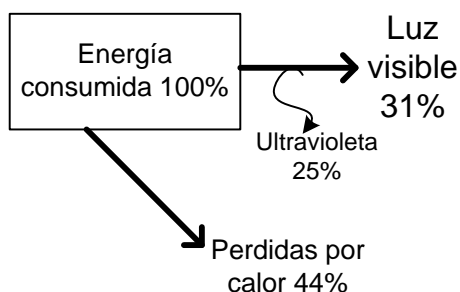


Figura 3. Energía consumida por lámpara Sodio a baja presión

Fuente: Elaboración propia

- **Lámparas de Sodio a alta presión**

Estas lámparas emiten una luz dorada y son las más eficientes para el alumbrado público. Están disponibles en una gran variedad de formas y tamaños, son aptas para muchos tipos de aparatos y tienen unas características de control óptico muy buenas. El 56% de la energía que consumen se convierte en calor, lo que deja sólo un 40,5% para producir la luz, como se puede apreciar en la figura 4. <sup>[17]</sup>

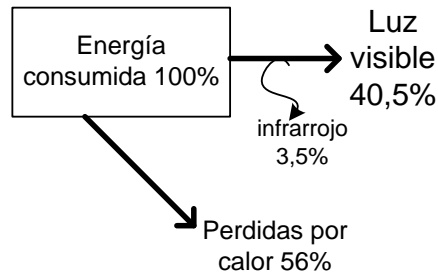


Figura 4. Energía consumida por lámpara Sodio a alta presión  
Fuente: Elaboración propia

- **Lámparas de Vapor de mercurio**

Ésta fue la primera luz blanca de descarga de alta intensidad utilizada para el alumbrado público de calzadas y de exteriores. Está comprobado que estas lámparas siguen funcionando una vez finalizada su vida útil. Proporcionan una luz suficiente para ver que están encendidas, pero no

proporcionan una luz útil para una superficie de trabajo situada debajo y no resultan aptas para un alumbrado eficiente en términos energéticos. El 44% de la energía que consumen se convierte en calor, lo que deja solo un 31 % para producir la luz, como se puede apreciar en la figura 5:

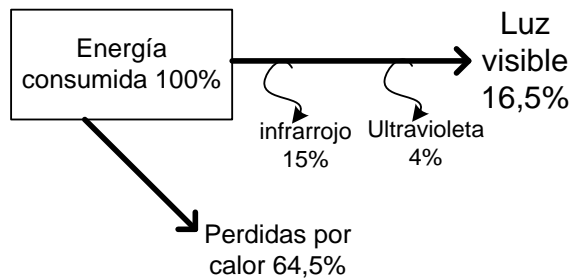


Figura 5. Energía consumida por una lámpara de Vapor de mercurio

Fuente: Elaboración propia

También en el momento de elegir entre alguna de las alternativas descritas anteriormente, se deben considerar el balastro, ignitor, condensador, reflector (espejo) y refractor (cubierta). Esto aumentará el costo de la luminaria total, ya que la luminaria no solo es la lámpara, sino el sistema completo de iluminación.

La vida "estándar para las lámparas incandescentes para alumbrado en calles es de 3000 horas comparado con 750 horas para las lámparas de hogar. Para alcanzar esta vida, la lámpara produce menos lúmenes por watt en comparación con las lámparas para hogar. <sup>[17]</sup>

**Tabla 1. Comparativa de Watts a Lúmenes para lámparas de Mercurio**

Watts	Lúmenes	Vida útil	Balastro ANSI
50	N/A	N/A	H-46
100	3500-4200	N/A	H-38
125	6000	N/A	N/A
175	7000-8500	N/A	H-39
250	11000-12000	N/A	H-37
400	20000-22000	N/A	N/A
1000	52000-56000	N/A	N/A

Fuente: Cifras publicadas en envoltorios de focos y también en los folletos sobre luz para exteriores. Excluye la energía consumida por balastro.

Una nota importante sobre las **lámparas de mercurio**, metales y sodio: Si se rompe el foco de cristal debe removerse la lámpara a la brevedad, de otra forma puede seguir operando y emitir rayos ultravioleta dañinos que causan quemadura en la piel y daño en los ojos.

**Tabla 2. Comparativa de Watts a Lúmenes para lámparas de Alta presión de vapor de sodio**

Watts	Lúmenes	Vida útil	Balastro ANSI
35	2250	N/A	S-76
50	4000	N/A	S-68
70	6600	N/A	S-62
100	9500	N/A	S-54
150	16000	N/A	S-55
250	30000	N/A	S-50
400	50000	N/A	S-51
1000	130000	N/A	N/A

Fuente: Cifras publicadas en envoltorios de focos y también en los folletos sobre luz para exteriores. Excluye la energía consumida por balastro.

**Tabla 3. comparativa de vida útil de algunas lámparas en alumbrado público**

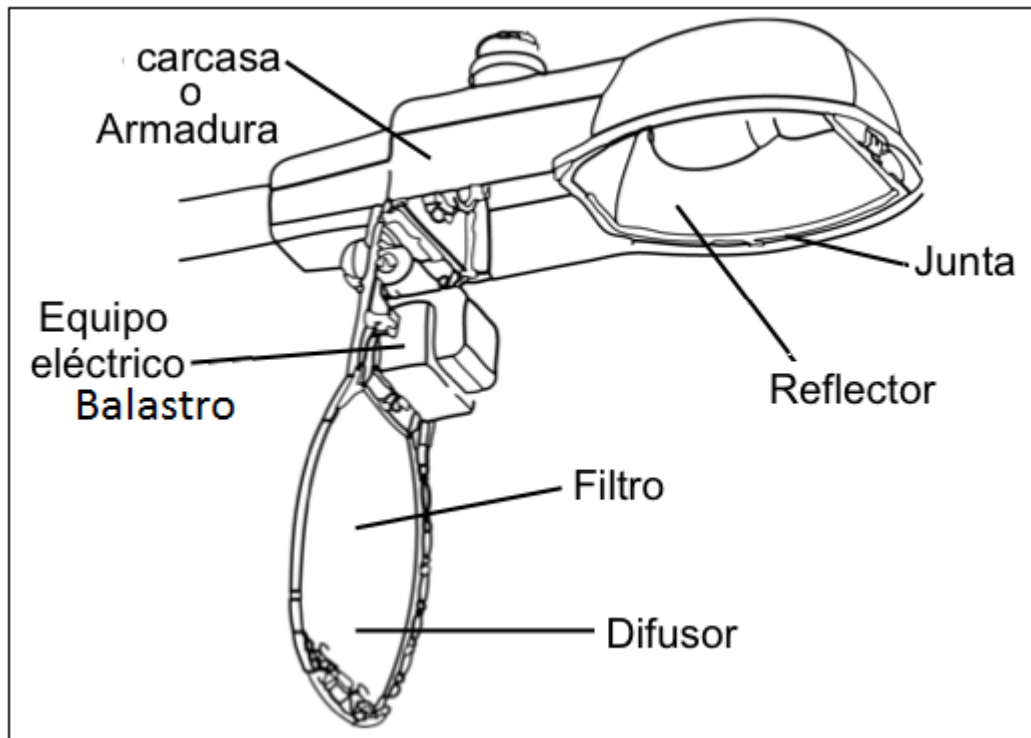
<b>LÁMPARA</b>	<b>EFICACIA (lm/W)</b>	<b>Vida útil</b>
Incandescente	10	1 000
Incandescente Halógena	25	2 000
Fluorescente	60-93	10 000
Fluorescente compacta	50-81	8 000
Vapor de mercurio	48-55	12 000
Vapor de mercurio con Halogenuros	70-96	8 000
Vapor de Sodio Alta presión	90-120	10 000
Vapor de Sodio a baja presión	100-120	10 000
Inducción	70	60 000

Fuente: F. Martínez Domínguez, (2002)

- **Luminaria**

La Norma Internacional CIE 598-1, recoge los requisitos generales y particulares de las luminarias. Define luminaria como: aparato de alumbrado que reparte, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que comprende todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y la protección de lámparas, (excluyendo las propias lámparas) y, en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red de alimentación. <sup>[16]</sup>

En la figura 6 se aprecian los componentes más característicos de una luminaria pública.



**Figura 6.** Componentes básicos de una iluminaria.

Fuente: *THOMAS & BETTS CORPORATION - 2015*

Al encontrar una nueva alternativa de iluminación pública, se podrá realizar una comparación de costos en capítulos siguientes.

A partir de lo descrito anteriormente es indispensable contar con alternativas viables de iluminación que entreguen una mayor eficiencia en cuanto al consumo energético, y a la vez una mejora en cuidado del medio ambiente.

## 2.2 FUNDAMENTOS SOBRE ALUMBRADO EN VIAS PÚBLICAS

Contrariamente a lo que se pueda pensar, detrás de los cálculos y recomendaciones sobre alumbrado de vías públicas existe un importante desarrollo teórico sobre diferentes temas (pavimentos, deslumbramiento, confort visual, etc.) Afortunadamente, hoy en día estos cálculos están muy mecanizados y no es necesario tener profundos conocimientos en la materia para realizarlos. No obstante, es recomendable tener nociones de algunos de ellos para comprender mejor la mecánica del cálculo.

A continuación se entrega una breve descripción de algunos fundamentos básicos en el desarrollo de sistemas de Iluminación vial.

- **Iluminancia.**

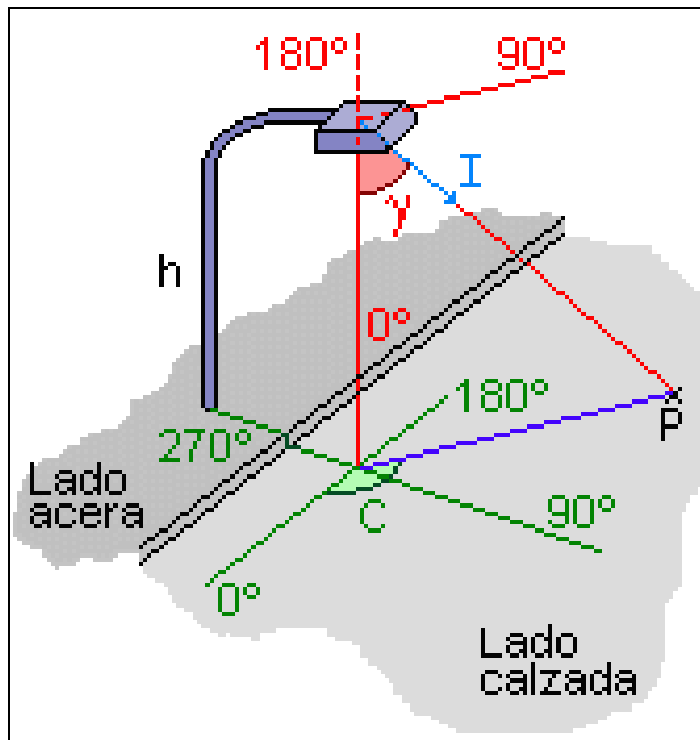
La iluminancia indica la cantidad de luz que llega a una superficie y se define como el flujo luminoso recibido por unidad de superficie, según la ecuación 1. <sup>[3]</sup>

$$E = \frac{d\Phi}{ds} \quad \dots (1)$$

Si la expresamos en función de la intensidad luminosa nos queda expresada la ecuación 2. <sup>[3]</sup>

$$E = \frac{I(C,\gamma)}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma \quad \dots\dots\dots (2)$$

Donde I es la intensidad recibida por el punto P en la dirección definida por el par de ángulos (C,Y) y h la altura del foco luminoso como se aprecia en la figura 7.



**Figura 7 .** Intensidad recibida por un punto P de la calzada definida por el par de ángulos (C,Y)

Fuente: imagen, Citcea/upc (2013)

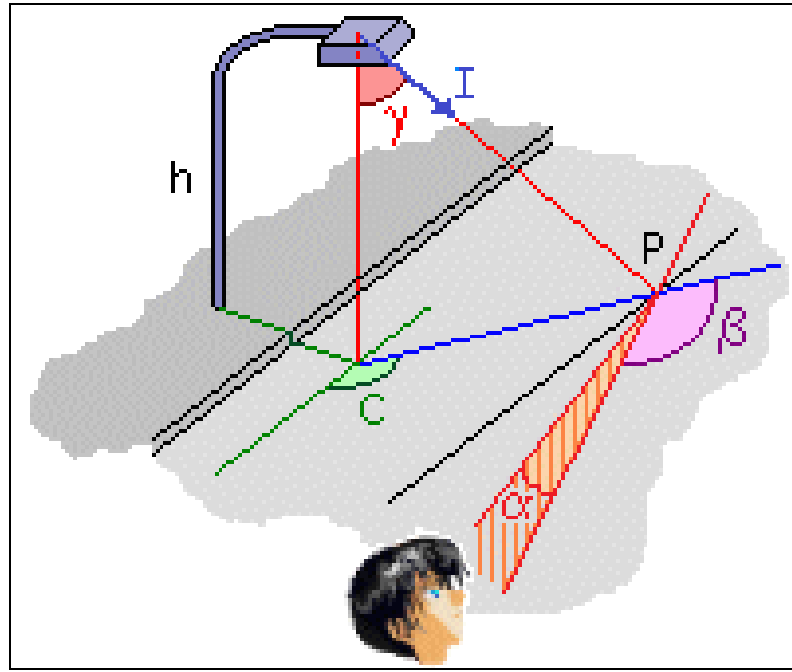
Si el punto está iluminado por más de una lámpara, la iluminancia total recibida queda en la ecuación 3.

$$E_H = \sum_{i=1}^n \frac{I(C_i, \gamma_i)}{h_i^2} \cdot \cos^3 \gamma_i \quad \dots\dots\dots (3)$$

- **Luminancia.**

La luminancia, por el contrario, es una medida de la luz que llega al ojo procedente de los objetos y es la responsable de excitar la retina provocando la visión. Esta luz proviene de la reflexión que sufre la iluminación cuando incide sobre los cuerpos, como se muestra en la figura 8. Se puede definir, en la ecuación 4, como la porción de intensidad luminosa por unidad de superficie que es reflejada por la calzada en dirección al ojo.

$$L = q(\beta, \gamma) \cdot E_H \quad \dots\dots\dots (4)$$



**Figura 8:** Luminancia

Fuente: imagen, Citcea/upc (2013)

Donde  $q$  es el coeficiente de luminancia en el punto  $P$  que depende básicamente del ángulo de incidencia  $\gamma$  y del ángulo entre el de incidencia y el de observación  $\beta$ . El efecto del ángulo de observación  $\alpha$  es despreciable para la mayoría de conductores (automovilistas con campo visual entre 60 y 160m por delante y una altura de 1,5m sobre el suelo) y no se tiene en cuenta. Así pues, nos queda la ecuación 5. <sup>[3]</sup>

$$r(\beta, \gamma) = q(\beta, \gamma) \cdot \cos^3 \gamma \quad \dots\dots\dots (5)$$

Por comodidad de cálculo, se define el término:

$$L = \frac{I(C, \gamma) \cdot \cos^3 \gamma}{h^2} \cdot q(\beta, \gamma) \dots\dots\dots (6)$$

Quedando finalmente,

$$L = \frac{I(C, \gamma) \cdot r(\beta, \gamma)}{h^2} \dots\dots\dots (7)$$

En la ecuación 8 se muestra como resulta si el punto esta iluminando por más de una lámpara. [3]

$$L = \sum_{i=1}^n \frac{I(C_i, \gamma_i) \cdot r(\beta_i, \gamma_i)}{h_i^2} \dots\dots\dots (8)$$

- **Criterios de Calidad.**

Para determinar si una instalación es adecuada y cumple con todos los requisitos de seguridad y visibilidad necesarios se establecen una serie de parámetros que sirven como criterios de calidad. Son la iluminación media ( $L_m$ ,  $L_{AV}$ ), los coeficientes de uniformidad ( $U_0$ ,  $U_L$ ), el deslumbramiento (TI y G) y el coeficiente de iluminación de los alrededores (SR). [3]

- **Coefficiente de Uniformidad.**

Como criterios de calidad y evaluación de la uniformidad de la iluminación en la vía se analizan el rendimiento visual en términos del coeficiente global de uniformidad  $U_0$  en la ecuación 9 y la comodidad visual mediante el coeficiente longitudinal de uniformidad  $U_L$  en la ecuación 10. (Mediante a lo largo de la línea central). [3]

$$U_0 = L_{\min} / L_m \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$U_L = L_{\min} / L_{\max} \quad \dots\dots\dots (10)$$

- **Deslumbramiento.**

El deslumbramiento producido por los faroles y los reflejos en la calzada, es un problema considerable por sus posibles repercusiones. En sí mismo, no es más que una sensación molesta que dificulta la visión pudiendo, en casos extremos, llegar a provocar ceguera transitoria. Se hace necesario, por tanto, cuantificar este fenómeno y establecer unos criterios de calidad que eviten estas situaciones peligrosas para los usuarios.

Se llama **deslumbramiento molesto** a aquella sensación desagradable que sufrimos cuando la luz que llega a nuestros ojos

es demasiado intensa. Este fenómeno se evalúa de acuerdo a una escala numérica, como se muestra en la tabla 4.

**Tabla 4: Escala numérica de deslumbramiento molesto.**

G	Deslumbramiento	Evaluación del alumbrado
1	Insoportable	Malo
2	Molesto	Inadecuado
3	Admisible	Regular
4	Satisfactorio	Bueno
5	Admisible	Regular
7	Satisfactorio	Bueno
9	Inapreciable	Excelente

Fuente: M. Sarzo (2007)

Donde la fórmula de G se calcula a partir de características de la luminaria y la instalación.

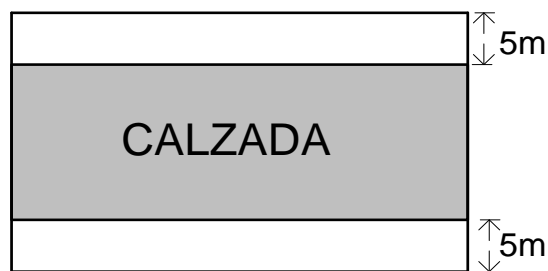
Actualmente no se utiliza mucho porque se considera que siempre que no se excedan los límites del deslumbramiento perturbador este está bajo control.

El **deslumbramiento perturbador** se produce por la aparición de un velo luminoso que provoca una visión borrosa, sin nitidez y con

poco contraste, que desaparece al cesar su causa. No obstante, este fenómeno no lleva necesariamente asociado una sensación incómoda como el deslumbramiento molesto.

- **Coefficiente de iluminancia de los alrededores.**

El coeficiente de iluminación en los alrededores (Surround ratio, SR) es una medida de la iluminación en las zonas limítrofes de la vía. De esta manera se asegura que los objetos, vehículos o peatones que se encuentren allí sean visibles para los conductores SR se obtiene calculando la iluminancia medio de una franja de 5m de ancho a cada lado de la calzada, como se muestra en la figura 9.



**Figura 9**  
**Medida a cada lado de la calzada.**

Fuente: M.A. Sarzo (2007)

- **Lámparas y luminarias**

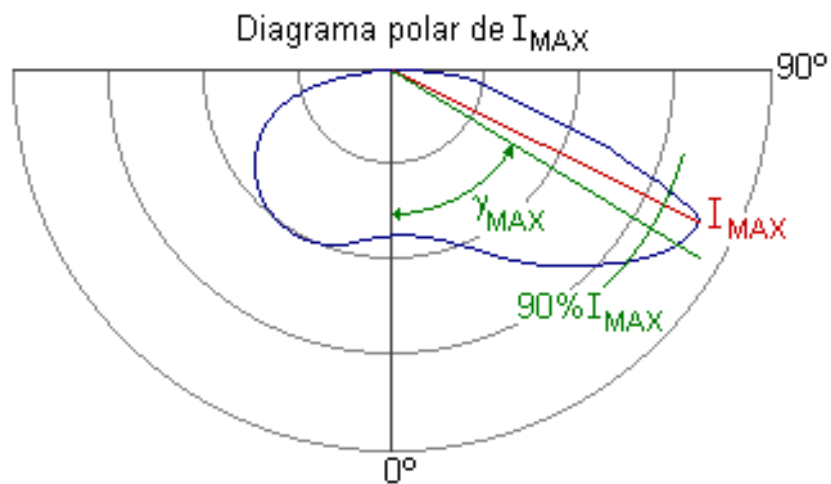
Las lámparas son los aparatos encargados de generar la luz. En la actualidad, en alumbrado público se utilizan las lámparas de descarga frente a las lámparas incandescentes por sus mejores prestaciones y mayor ahorro energético y económico. Concretamente, se emplean las lámparas de vapor de mercurio a alta presión y las de vapor de sodio a baja y alta presión.

Las luminarias, por contra, son aparatos destinados a alojar, soportar y proteger la lámpara y sus elementos auxiliares además de concentrar y dirigir el flujo luminoso de esta. Para ello, adoptan diversas formas aunque en alumbrado público predominan las de flujo asimétrico con las que se consigue una mayor superficie iluminada sobre la calzada. Las podemos encontrar montadas sobre postes, columnas o suspendidas sobre cables transversales a la calzada, en catenarias colgadas a lo largo de la vía o como proyectores en plazas y cruces.

Las luminarias se clasifican según tres parámetros (alcance, dispersión y control) que depende de sus características fotométricas. Los dos primeros nos informan sobre la distancia en que es capaz de iluminar la luminaria en las direcciones longitudinal y transversal

respectivamente. Mientras, el control nos da una idea sobre el deslumbramiento que produce la luminaria a los usuarios.

El alcance es la distancia, determinada por el ángulo  $\gamma_{MAX}$ , en que la luminaria es capaz de iluminar la calzada en dirección longitudinal. Este ángulo se calcula como el valor medio entre los dos ángulos correspondiente al 90 % de  $I_{MAX}$ , mostrado en la figura 10 que corresponden al plano donde la luminancia presenta el máximo de la intensidad luminosa. [3]



**Figura 10. Alcance longitudinal.**

Fuente: imagen, Citcea/upc (2013)

De esta forma se definen tres tipos de alcances que están expresados en la tabla 5.

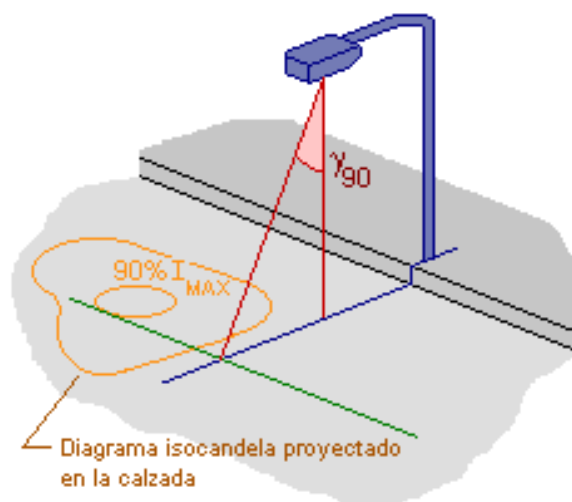
**Tabla 5: tipo de alcance.**

Alcance corto	$\gamma_{MAX} < 60^\circ$
Alcance intermedio	$60^\circ \leq \gamma_{MAX} \leq 70^\circ$
Alcance largo	$\gamma_{MAX} > 70^\circ$

Fuente: M. Sarzo (2007)

La dispersión es la distancia, determinada por el ángulo  $\gamma_{90}$ , que se muestra en la figura 11 en que es capaz de iluminar la luminaria en dirección transversal a la calzada. Se define como la resta tangente a la curva isocandela.

Del 90 % de  $I_{MAX}$  proyectada sobre la calzada, que es paralela al eje de esta y se encuentra mas alejada de la luminaria.



**Figura 11. Dispersión transversal del flujo luminoso incidente en la calzada.**

Fuente: imagen, Citcea/upc (2013)

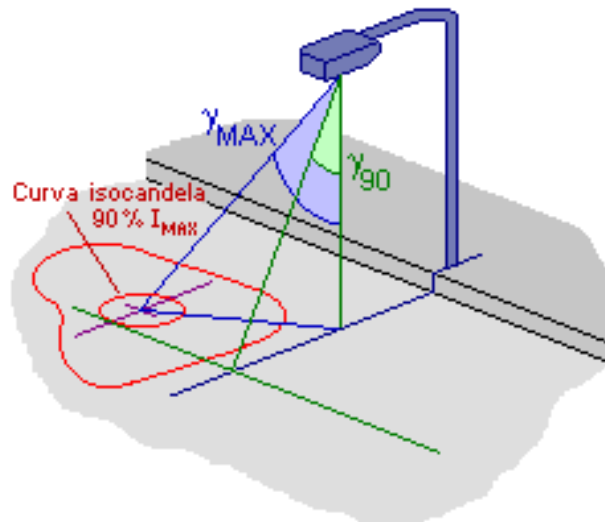
De donde se obtienen tres tipos de dispersiones, que se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6: Tipo de dispersión.**

<b>Dispersión</b>	$\gamma_{90} < 45^\circ$
<b>Dispersión media</b>	$45^\circ < \gamma_{90} < 55^\circ$
<b>Dispersión ancha</b>	$\gamma_{90} > 55^\circ$

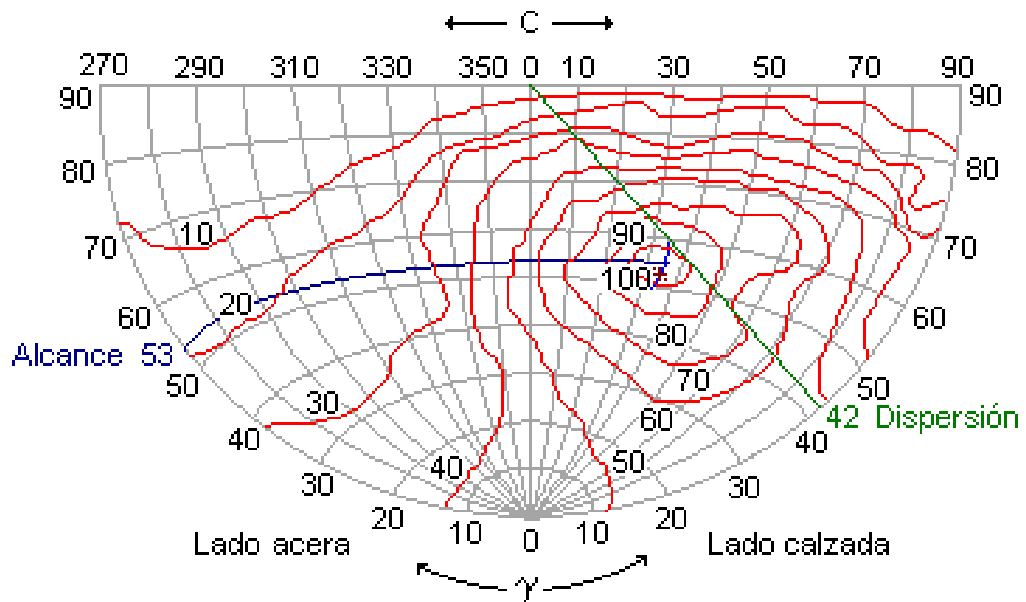
Fuente: M. Sarzo (2007)

Tanto el alcance como la dispersión pueden calcularse gráficamente a partir del diagrama isocandela relativo en proyección acimutal, mostrado en la figura 12. y 13.



**Figura 12. Alcance y dispersión de una luminaria**

Fuente: imagen, Citcea/upc (2013)



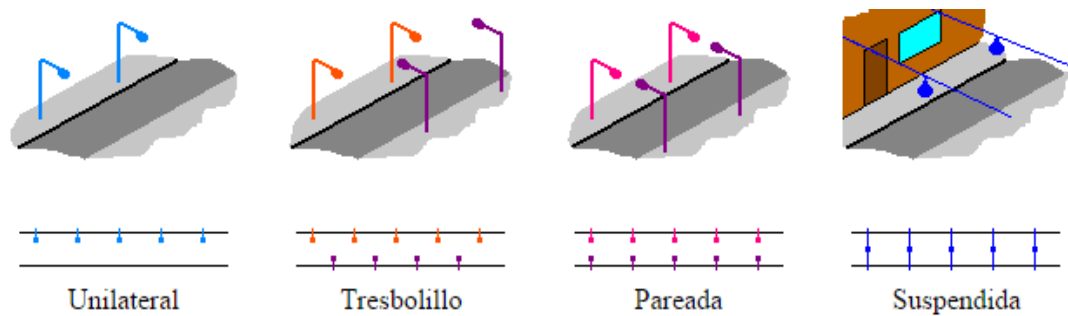
**Figura 13. Método gráfico para calcular el alcance y la dispersión.**

Fuente: imagen, Citcea/upc (2013)

### 2.3 DISPOSICION DE LAS LUMINARIAS EN LA VIA

Para conseguir una buena iluminación, no basta con realizar los cálculos, debe proporcionarse información extra que oriente y advierta al conductor con suficiente antelación de las características y trazado de la vía. Así en curva es recomendable situar las farolas en la exterior de la misma, en autopista de varias calzadas ponerlas en la mediana o cambiar el color de las lámparas en las salidas.

En los tramos rectos de vías con una única calzada existen tres disposiciones básicas que se muestran en la figura 14 unilateral, bilateral tresbolillo y bilateral pareada. También es posible suspender la luminaria de un cable transversal pero solo se usa calles muy estrechas.



**Figura 14. Disposiciones básicas de luminarias.**

Fuente: imagen, Citcea/upc (2013)

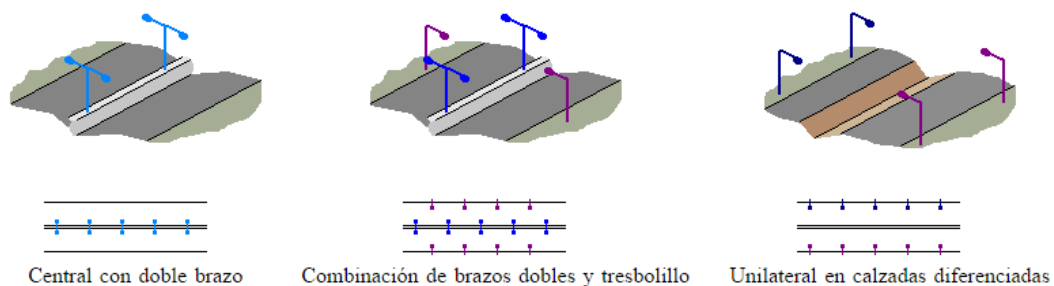
La distribución unilateral se recomienda si la anchura de la vía es menor que la altura de montaje de las luminarias. La bilateral tresbolillo si esta comprendida entre 1 y 1.5 veces la altura de montaje y la bilateral pareada si es mayor de 1.5, esto se muestra en la siguiente tabla 7.

**Tabla 7. Relación anchura y altura.**

	<b>Relación entre la anchura de la vía y la altura de montaje</b>
<b>Unilateral</b>	$A/H < 1$
<b>Tresbolillo</b>	$1 \leq A/H \leq 1.5$
<b>Pareada</b>	$A/H > 1.5$
<b>Suspendida</b>	Calles muy estrechas

Fuente: M. A. Sarzo (2007)

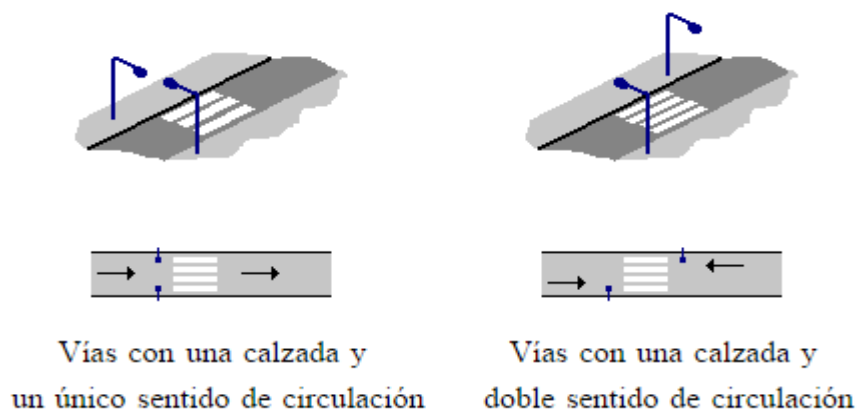
En el caso de tramos rectos de vías con dos o más calzadas separadas por una mediana se pueden colocar las luminarias sobre la mediana o considera la dos calzadas de forma independiente. Si la mediana es estrecha se pueden colocar farolas de doble brazo que dan una buena orientación visual y tienen muchas ventajas constructivas y de instalación por su simplicidad. Si la mediana es muy ancha es preferible tratar las calzadas de forma separada. Pueden combinarse los brazos con la disposición al tresbolillo o aplicar iluminación unilateral en cada una de ellas. En este último caso es recomendable poner las luminarias en el lado contrario a la mediana porque de esta forma incitamos al usuario a circular por el carril de la derecha. En la figura 15 se muestra las alternativas de ubicación mencionadas anteriormente.



**Figura 15. Ubicación para luminarias en tramo rectos.**

Fuente: imagen, Citcea/upc (2013)

En la figura 16. se muestran que en los pasos de peatones las luminarias se colocan antes de estos según el sentido de la marcha de tal manera que sea bien visible tanto por los peatones como por los conductores.



**Figura 16. Ubicación de luminarias en los pasos de peatones.**

Fuente: imagen, Citcea/upc (2013)

Los niveles de iluminación recomendados dependen de las normativas en vigor en cada territorio, aunque muchas de ellas toman

como referencia los valores aconsejados por la CIE (control Internacional de iluminación). Según esta, las vías se dividen en cinco tipos, como se muestra en la tabla 2.6. de acuerdo con las características del tráfico, de la vía y de los alrededores:

**Tabla 8. Valores recomendados por la CIE (1977).**

Tipo de vía	Entorno	Categoría	Luminancia media Lm (Cd/m <sup>2</sup> )	Coeficiente de uniformidad		Control de deslumbramiento	
				Global U <sub>o</sub>	Longitudinal UL	Molesto G	Perturbador TI
A		A	≥2	≥ 0.4	≥ 0.7	≥ 6	≤ 10%
B	Claro	B1	≥2			≥ 5	
	Oscuro	B2	≥1			≥ 6	
C	Claro	C1	≥2		≥ 0.5	≥ 5	≤ 20%
	Oscuro	C2	≥1			≥ 6	≤ 10%
D	Claro	D	≥2				≥ 4
E	Claro	E1	≥1			≥ 4	
	Oscuro	E2	≥0.5			≥ 5	

Fuente: Miguel A. Sarzo (2007)

Los valores indicados en la tabla son luminancia, no luminancia pues recordemos que son estas las responsables de provocar la sensación de visión.

A partir de 1995 la CIE (Comisión Internacional de Iluminación) ha establecido unas nuevas recomendaciones más acordes con las últimas investigaciones sobre el tema, estas se muestran en la tabla 9. a continuación:

**Tabla 9. Valores recomendados por la CIE (1995).**

Categoría	Luminancia	Coeficientes de uniformidad		Control del deslumbramiento TI	Alrededores SR
		Global U <sub>o</sub>	Perturbador TI		
M1	≥ 2.00	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10	≥ 0.5
M2	≥ 1.50		≥ 0.5		
M3	≥ 1.00		≥ 0.5		
M4	≥ 0.75		.....	≤ 15	.....
M5	≥ 0.50		.....		

Fuente: Miguel A. Sarzo, (2007)

Además de estas recomendaciones que se aplican en los tramos normales de las vías hay que considerar que en las zonas conflictivas (cruces, intersección, estrechamiento de la vía o del número de carriles, zonas con circulación de peatones o vehículos lentos que dificulten la circulación, rotondas, pasos a nivel, rampas, etc) suele ser necesario un incremento de los requerimientos luminosos.

Si trabajamos con luminancias hay que aumentar en una unidad la categoría de la vía de valor de Mx mas alta que converja en la zona. Cuando sea del tipo M1 a dicho zona también se aplicara este criterio.

En distancias cortas, menos de 60m, no se pueden aplicar los métodos de cálculos de las luminancias y se utiliza el criterio de las luminancias .Este criterio se puede apreciar en la tabla 10. que se muestra a continuación.

**Tabla 10. Criterio de las iluminancias.**

<b>Categoría</b>	<b>Nivel medio iluminación Em (lux)</b>	<b>Coficiente. Global uniformidad Uo</b>
C0	≥ 50	≥ 0.4
C1	≥ 30	
C2	≥ 20	
C3	≥ 15	
C4	≥ 10	
C5	≥ 7.5	

Fuente: M. Sarzo (2007)

El número de la categoría de la zona de conflicto (Cx) no será menor que el de la vía de mayor categoría (Mx) que confluya en la zona.

## **2.4 FUNDAMENTOS SOBRE DIODOS LED**

### **2.4.1 INTRODUCCION.**

Los LED fueron descubiertos en 1962, por Holonyak y Bevacqua, científico de General Electric. Los primeros productos que se introdujeron en 1968, eran lámparas indicadoras, y el primer auténtico display electrónico lo realizó Hewlett-Packard. La calidad de estos productos iniciales era relativamente pobre, suministraban un flujo de 0.001 lumen y el único color disponible era el rojo intenso. Un progreso constante en eficacia hizo que los LED resultaran visibles en luz ambiente intenso, incluso bajo la luz solar, y en 1976 la gama de colores ya se había extendido a naranja y verde amarillento. [1]

Hasta 1985, los LED se limitaron a aplicaciones de baja intensidad (menor de 0,1 lumen de flujo) para funciones indicadoras o píxeles de display. Alrededor de 1985, los LED entraron en aplicaciones de potencia de flujo medio, que requieren 1-100 lúmenes. La primera aplicación de este tipo fue la luz central superior de frenado en automóviles. Se requieren 75 lámparas en doble filo, y en seguida fue obvio que consiguiendo lámparas más potentes se reduciría su cantidad, proporcionando una amplia ventaja de costes. Esta fue la primera situación en que la eficacia de los LED resultaba un aspecto apremiante para obtener una bonificación en el mercado. En 1990 las eficacias alcanzaron 10 lm/W para LED de arseniuro

de galio aluminio (GaAlAs), ya superiores que la de la lámpara incandescente con filtro rojo. <sup>[1]</sup>

La búsqueda de incremento de eficacia intensificó la exploración de nuevos materiales con eficacias superiores y un espectro de colores más amplio (GaAlInP - galio-aluminio indio fosforo) que cubrían la gama de rojo a amarillo amarillo/verde, con eficacias superiores a 20 lm/w. En 1993, Nakamura, de Nichia Chemical Corporación en Japón, descubrió un material azul muy eficiente, el nitruro de galio (GaN).este importante descubrimiento significaba que los LED podían cubrir prácticamente todo el espectro visible, permitiendo su entrada en aplicaciones de señales de luz potente como las luces de tráfico (semáforos). <sup>[1]</sup>

La evaluación del flujo de luz y precio de los LED desde 1968 han seguido una ley de Moore. El flujo por unidad a aumentado 30 veces por década, cruzando el nivel de 10 lm en 1998. De forma similar, el precio por unidad de flujo se ha reducido unas 10 veces por década.

Actualmente el principal mercado de penetración de LED de alto brillo son las luces de fondo que iluminan los botones del teléfono móvil. el crecimiento de la demanda se puede extender a las cámaras digitales y flash de teléfono móvil. Otros mercado prometedor es el de iluminación trasera de pantallas de televisión y monitor de ordenador. Algunas

previsiones proyectan un gran crecimiento en este ámbito porque las pantallas iluminadas con LED pueden dar colores de gran calidad. Otros mercados de crecimiento son las señalizaciones, automóviles, e iluminación decorativa. La penetración de los LED en la señalización de tráfico es muy notable. En la mayoría de ciudades se están reemplazando las lámparas incandescentes de los semáforos con LED, por varias razones ; Los LED son mas brillantes, tiene una duración de varios años, y además ahorran una gran cantidad de energía.

Los LED de alto brillo de nueva generación están producidos principalmente con tres sistemas de materiales semiconductores que permiten fabricar materiales que emiten en la longitud de onda deseada. El sistema de materiales AlGaAs (arseniuro de galio-aluminio) permite generar luz de rojo a IR, mientras que AlInGaAs (Arseniuro de galio – aluminio Indio) emite luz entre ámbar y rojo-naranja. Los materiales AlGaN tienen una brecha energética mayor que los anteriores, lo que permite el acceso a las regiones del espectro de mayor energía, verde, azul y UV. <sup>[4]</sup>

Dado que existen LED con eficacia razonable que cubren el estrecho visible (con excepción de una pequeña ventana en el amarillo-verde), es posible crear fuentes de luz blanca. Existen para ello dos estrategia básica. Una es reducir un LED azul con un fosforo, que emite luz cuando le impactan los fotones azules. Al combinar la luz cuando la luz del LED y la

luz amarilla del fosforo se obtiene luz blanca. La otra estrategia es combinar LED de color azul, amarillo y rojo para crear blanco. [4]

### 2.4.2 Principio Físico

El fenómeno de emisión de luz está basado en la teoría bandas, por la cual, una tensión externa aplicada a una unión p-n polarizada directamente, excita a los electrones, de manera que son capaces de atravesar la banda de energía que separa las dos regiones.

Si la energía es suficiente los electrones escapan del material en forma de fotones. Cada material semiconductor tiene unas determinadas características y por tanto una longitud de onda de la luz emitida, como se muestra en la tabla 11.

**Tabla 11. Longitudes de onda de algunos compuestos de Galio.**

Material	Longitud de onda	Color
GaAs ; Zn	9000 A	Infrarrojo
GaAsP .4	6600 A	Rojo
GaAsP .5	6100 A	Ambar
GaAsP .85 :P	5900 A	Amarillo
GaP : N	5600 A	Verde

Fuente: A. Pérez G. (2006)

A diferencia de las lámparas de incandescencia cuyo funcionamiento es por una determinada tensión, los LED funcionan por la corriente que los atraviesa. Su conexión a una fuente de tensión constante debe estar protegida por una resistencia limitadora.

- **Teoría de bandas.**

En un átomo aislado los electrones pueden ocupar determinados niveles energéticos pero cuando los átomos se unen para formar un cristal, las interacciones entre ellos modifican su energía, de tal manera que cada nivel inicial se desdobra en numerosos niveles, que constituyen una banda energética prohibida, que solo pueden salvar electrones en caso de que se les comunique la energía suficiente.



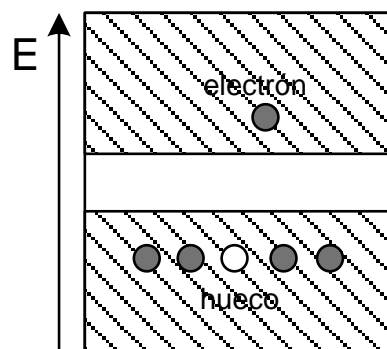
**Figura 17. Estructura de bandas.**

Fuente: P. Tipler (2007)

En la figura 17 se puede ver que en los aislantes la banda inferior menos energética (banda de valencia) está completa con los e- más

internos de los átomos, pero la superior (banda de conducción) está vacía y separada por una banda prohibida muy ancha (10eV), imposible de atravesar por un  $e^-$ , con una  $E_p$  superior a 3eV son prácticamente aislantes. en el caso de los conductores las bandas de conducción y de valencia se encuentran superpuestas, por lo que cualquier aporte de energía es suficiente para producir un desplazamiento de los electrones. <sup>[19]</sup>

Entre ambos casos se encuentran los semiconductores, cuya estructura de banda es muy semejante a los aislantes, pero con la diferencia de que la anchura de la banda prohibida es bastante pequeña. Los semiconductores son, por lo tanto, aislantes en condiciones normales, pero una elevación de temperatura proporciona la suficiente energía a los electrones para que, saltando la banda prohibida, pase a la de conducción, dejando de valencia el hueco correspondiente, como se puede ver en la figura 18.



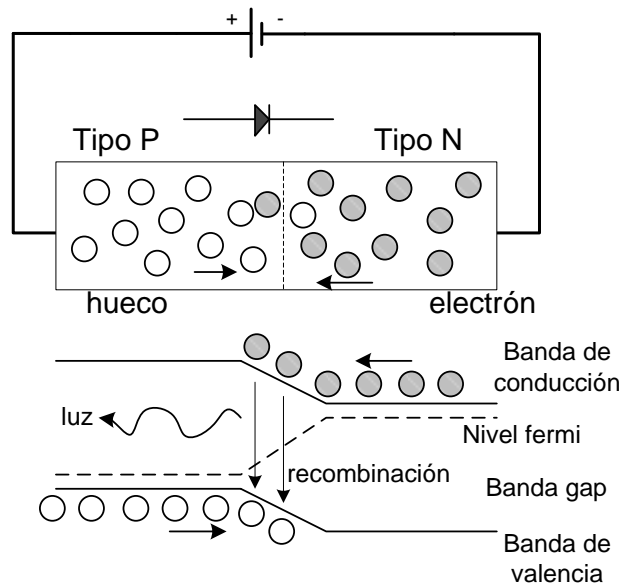
**Figura 18 . Estructura de banda de un semiconductor.**

Fuente: P. C. Rodriguez. (2012)

En el caso de los diodos LED, los electrones consiguen saltar fuera de la estructura en forma de radiación como luz ( fotones).

Por lo tanto podemos decir que el funcionamiento físico se basa en que al recombinarse un electrón con un hueco se libera energía. Esta energía se puede manifestar en forma de calor, pero también se puede manifestar mediante la emisión de un fotón, con una amplitud, una dirección y una fase aleatoria. El que esta energía perdida se manifieste como un fotón desprendido o como otra forma de energía (calor por ejemplo) depende principalmente del tipo de material semiconductor. Por razones cuánticas estas emisiones son mucho mas probables en algunos semiconductores (como el Nitruro de Galio) que en otros (como el Silicio). <sup>[4]</sup>

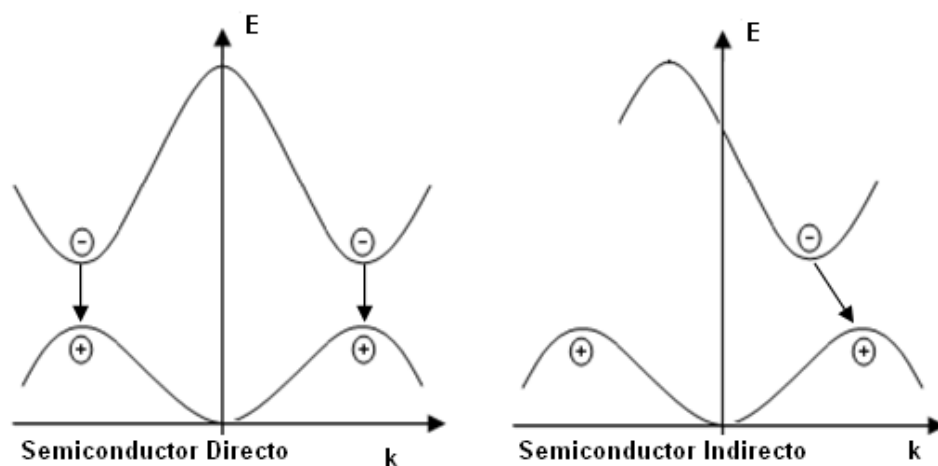
Esta generación fotónica es el resultado de una recombinación electrón hueco es “espontanea” en un semiconductor “directo”. Espontanea significa completamente aleatoria, es decir no ordenada o inducida por algún agente externo. Los fotones emitidos originan un haz de luz completamente incoherente.



**Figura 19 . Recombinación electrón hueco en un semiconductor.**

Fuente: Dispositivos Optoelectrónicos - fi.uba (2011)

Para que el proceso de recombinación electrón hueco origine un fotón, la recombinación se debe producir sin cambios en la cantidad de movimiento del sistema. Esto se da en los materiales de tipo “directo”. En cambio en los materiales “indirectos” como el Silicio o Germanio, la recombinación se da con variación en la cantidad de movimiento y lo que se origina es un FONÓN (fotón de características térmicas) originando calentamiento del sistema, más que radiación óptica. Para entender éste fenómeno se debe analizar el diagrama de energías versus la cantidad de movimiento del sistema. <sup>[4]</sup>



**Figura 20 : Semiconductor Directo e Indirecto.**

Fuente: P. Rodriguez. (2012)

Para el caso particular de una juntura PN polarizada directa, la inyección de portadores minoritarios en las zonas neutras, en la vecindad de la juntura origina un aumento de la recombinación. A esta inyección de portadores en la juntura, que produce fotones como resultado del proceso de recombinación, se la llama inyección “Luminiscente”. Esta es la razón por la que los LED para que emitan flujo lumínico deben estar polarizados directos.

Para obtener una buena intensidad luminosa debe escogerse bien la corriente que atraviesa el LED. Valores típicos de corriente directa de polarización de un LED corriente están comprendidos entre los 10 y los 40 mA, aunque existen LED de potencia de hasta 1 Amper. <sup>[4]</sup>

Los materiales directos utilizados para la fabricación de diodos LED :

- GaAs (Arseniuro de Galio).
- GaP (Fosfuro de Galio).
- InP (Fosfuro de Indio).
- GaSb (Antimoniuro de Galio)
- InAs (Arseniuro de Indio).
- InSb (Antimoniuro de Indio).
- $\text{Al}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{As}$  (Arseniuro de Galio Aluminio).
- $\text{GaAs}_{(1-x)}\text{P}_x$  (Fosfuro Arseniuro de Galio)
- InGaAsP (Fosfuro Arseniuro de Galio Indio).

Nota: El Silicio y el Germanio son materiales por naturaleza indirectos, y por lo tanto no se usan para fabricar diodos LED.

### **2.4.3 Composición de los LED.**

El diodo emisor de luz, también conocido como LED (acrónimo del inglés de Light-Emitting Diode) es un dispositivo semiconductor (diodo) que emite luz cuando se polariza de forma directa. El color (longitud de onda) depende del material semiconductor empleado en la construcción del diodo

y puede variar desde el ultravioleta, pasando por el visible, hasta el infrarrojo. Los diodos emisores de luz que emiten luz ultravioleta también reciben el nombre de UV-LED (UltraViolet Light-Emitting Diode) y los que emiten luz infrarroja suelen recibir la denominación de IRED (Infra-Red Emitting Diode). [6]

- **LED Rojo.**

Formado por GaP (Fosforo de Galio) consiste en una unión p-n obtenida por el método de crecimiento epitaxial del cristal en su fase líquida, en un sustrato.

La fuente luminosa está formando por una capa de cristal p junto con un complejo de ZnO (Oxido de Zinc), cuya máxima concentración esta limitada, por lo que su luminosidad se satura a altas densidades de corriente. Este tipo de LED funciona con baja densidad de corriente ofreciendo una buena luminosidad, utilizándose como dispositivo de visualización en equipos portátiles.

El constituido por GaAsP (Fosforo de Arseniuro de Galio) consiste en una capa p obteniendo por difusión de Zn durante el crecimiento de un

cristal n de GaAsP, formado en un substrato de GaAs, por el método de crecimiento epitaxial en fase gaseoso.

Actualmente se emplea los LED de GaAlAs (Arseniuro de Galio Aluminio) debido a su mayor luminosidad, que está formado según la figura 21. El máximo de radiación se halla en la longitud de onda 660nm. [4]

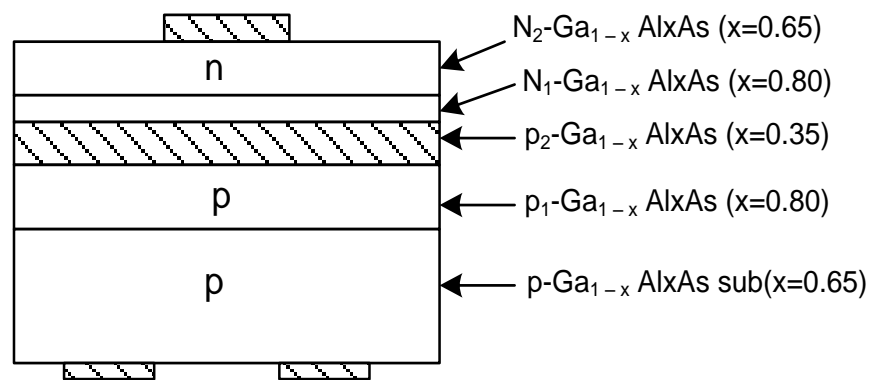


Figura 21: LED de GaAlAs (Arseniuro de Galio Aluminio).

Fuente: P. Rodriguez. (2012)

- **LED Anaranjado y Amarillo.**

Están compuestos por GaAsP (Fosforo de Arseniuro de Galio) al igual que sus hermanos los rojos pero en este caso para conseguir luz anaranjada y amarillo así como luz de longitud de onda mas pequeña, lo que hacemos es ampliar el ancho de la “banda prohibida” mediante el aumento de fósforo e el semiconductor. Su fabricación es la misma que se

utiliza para los diodos rojos, por crecimiento epitaxial del cristal en fase gaseosa, la formación de la unión p- n se realiza por difusión de Zn. <sup>[4]</sup>

Como novedad importante en estos LED se mezcla el área emisora con una trampa isoelectrónica de nitrógeno con el fin de mejorar el rendimiento.

- **LED Verde**

El LED verde está compuesto por GaP. Se utiliza el método de crecimiento epitaxial del cristal en fase líquido para formar la unión p-n .

Al igual que los LED amarillos también se utiliza una trampa isoelectrónica de nitrógeno para mejorar el rendimiento, Debido a que este tipo de LED posee una baja probabilidad de transición fotónica, es importante mejorar la cristalinidad. Su máxima emisión se consigue en la longitud de onda 555nm. <sup>[4]</sup>

- **LED azul y blanco.**

A final de los 90 se cerró el círculo sobre los colores del arco iris , cuando gracias a las tareas de investigación del Shuji Nakamura , investigador de Nichia, una pequeña empresa fabricante de LED siempre había sido difícil

de conseguir debido a su elevada energía de funcionamiento y relativamente baja sensibilidad del ojo a esta frecuencia ( del orden de los 460 nm) Hoy en día coexisten varias técnicas diferentes para producir luz azul, una basada en el SiC Silicio - Carbono otra basada en el GaN Galio – nitrógeno, otra basada en InGaN Nitruro de galio indio sobre sustrato de Zafiro y otra GaN sobre sustrato SiC. El compuesto GaN, inventado por Nakamura, es actualmente el más utilizado,

En el nitruro de galio indio (InGaN) su banda prohibida puede ser manipulada variando la cantidad de Indio en la aleación. El GaN es un material rico en defectos, los pozos cuánticos de InGaN, son eficientes emisores de luz en diodos verdes, azules, blancos y ultravioleta Las regiones ricas en indio tienen una banda prohibida menor que el material que las rodea, creando regiones con menor energía potencial para las portadoras de carga. Los pares electrón - hueco (excitones) son atrapados en estas regiones recombinándose, produciendo así emisión de luz,

Dado que el azul es un color primario, junto con el verde y el rojo, tenemos hoy en día la posibilidad de formar el blanco con la combinación de los tres y toda la gama de colores del espectro, esto permite que los display gigantes y carteles de mensajes variables full color se hagan cada día mas habituales en nuestra vida cotidiana.

Otros colores también son posibles de conseguir como por ejemplo el púrpura, violeta o ultravioleta. Este último es muy importante para la creación de una forma más eficiente de producir luz blanca, que la mera combinación de los colores primarios, ya que añadiendo fósforos blanco dentro del encapsulado, este absorbe la radiación ultravioleta y emite frecuencia dentro de todo el espectro visible, logrando luz blanca en un proceso similar al que se produce en el interior de los tubos fluorescentes. A veces el fósforo posee una leve tonalidad amarillenta para contrarrestar el tono azulado de la luz del semiconductor. [4]

**Tabla 12: Longitudes de onda de algunos Semiconductores Directos.**

<b>Compuesto</b>	<b>Color</b>	<b>Long. de Onda</b>	<b>Tensión de operación</b>
Arseniuro de Galio (GaAs)	Infrarrojo	940 nm	
Arseniuro de Galio y Aluminio (AlGaAs)	Rojo e infrarrojo	890 nm	1,8 a 2,2 V
Arseniuro fosfuro de Galio (GaAsP)	Rojo, naranja, amarillo	630 nm	2,1 a 2,4 V
Fosfuro de Galio (GaP)	Verde	525 nm	2,0 a 3,5 V
Nitruro de Galio (GaN)	Verde		
Seleniuro de Zinc (ZnSe)	Azul	450nm	3,5 a 3,8 V
Nitruro de galio e Indio (InGaN)	Azul	480nm	3,5 a 3,8 V

Fuente: P. Rodriguez. (2012)

#### **2.4.4 Tipos de LED**

Podemos clasificar los LED en : Discretos (individuales) y Agrupados (Displays o matrices). También podemos encontrar a los nuevos integrantes de la familia LED, los LED de alto poder o alta eficiencia.

##### **a) Discretos.**

Dentro del grupo de LED individuales o discretos podemos encontrar varios tipos de LED, como los estándar, de alto brillo y LEDs dobles o tricoloreados.

##### **a.1) Estándar.**

Son los LED clásicos de toda la vida, que se pueden ver en la figura 22. Con la forma cilíndrica, abovedada y que se presentan en tamaño de 3 y 5 mm de diámetro . se caracterizan por tener el encapsulado teñido del mismo color que luz que emiten. Es frecuente encontrarlos en color y verde, aunque también los hay amarillos. Además pueden encontrarse con formas variadas para adaptarlos a diferentes necesidades. Se usan principalmente como señalizadores

para indicar el funcionamiento de algún dispositivo. Aunque también cumplen una función de adorno y estética.



**Figura 22. LED estándar.**

Fuente: led.wordpress (2014)

### **a.2) Alto Brillo o Ultra Lumínicos**

Similares en tamaño y forma a los anteriores, se caracterizan porque su encapsulado es transparente (o levemente tintado), como se muestra en la figura 23. Además emiten mucha más luz que los anteriores, por los que se usan para señalización en ambiente muy iluminados (donde los estándar apenas se harían notar); aunque sus aplicaciones se amplían hacia el campo de la iluminación y estética. Se los puede encontrar en varias formas y tamaños.

Es habitual encontrarlos con forma cilíndrica, abovedada. En tamaño de 3 y 5mm. La gama de colores es mas amplia. Incorporando

los azules, rojos, amarillos, anaranjados, verdes (con varias tonalidades según los fabricantes) y el blanco; entre otros colores.



**Figura 23. LED de alto brillo.**

Fuente: led.wordpress (2014)

En los últimos años están comenzando a aparecer nuevas variantes de LED ultra lumínicos, con tamaños mayores, de hasta 10 mm de diámetro, que se encuentran en la figura 24.



**Figura 24. LED de 3 mm junto a LEDs de 10mm.**

Fuente: led.wordpress (2014)

Con encapsulados que evitan para soldar, a favor de conexiones a rosca o bayoneta, como se muestran en la figura 25, con usos que abarcan linternas pilotos para bicicletas.



**Figura 25. LED con rosca o bayoneta.**

Fuente: ledupnfm.wordpress (2014)

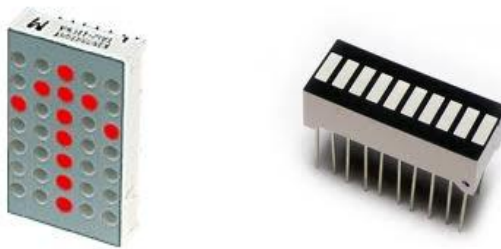
En cuanto a las agrupaciones de LED, decir que son LED colocados junto dentro del mismo encapsulado. Uno de los terminales es común para todos los LED que componen el grupo, mientras que habrá otro terminal para cada uno de los LED.

#### **b) Agrupados.**

Dentro del grupo de LED agrupados podemos encontrar también varios tipos de agrupaciones, como los de matrices de puntos, barras, displays y otras agrupaciones.

### b.1) Matrices

En la figura 26 se muestran las típicas barras de LED aunque también hay matrices de puntos para componer paneles.



**Figura 26. Matrices de punto y barras.**

Fuente: ledupnfm.wordpress (2014)

Dentro de este encuentro los típicos displays de 7 segmentos que se encuentran en la figura 27.



**Figura 27. Displays de 7 segmentos.**

Fuente: ledupnfm.wordpress (2014)

## **b.2) Otras agrupaciones**

Los avances tecnológicos en torno a la fabricación de LED permiten utilizarlos como fuentes de luz en automoción, en el hogar, etc.

Para lograr una iluminación adecuada se emplean grupos de LED conectados en común, a los que se añaden otros componentes electrónicos y “enlatados” en casquillos estándar, como muestra la figura 28, que permiten conectarlos como si se tratase de bombillas corrientes.



**Figura 28. Grupo de LED de alto brillo en socket de aluminio.**

Fuente: ledupnfm.wordpress (2014)

- **LED de alto poder .**

La familia de LED de alto poder o conocidos comercialmente como High Power utilizan una tecnología de encapsulado totalmente

nueva que la de los indicadores LED típicos. Se utiliza un chip semiconductor montado en un disipador de calor. Las propiedades térmicas mejoradas y el tamaño de chip permiten que las corrientes de funcionamiento sean mucho más altas que las previamente posible.

Las fuentes luminosas de estado sólido se calientan cuando pasa por ellas una corriente. El calentamiento de un LED blanco convencional de 5 mm limita la disipación de potencia e impide que la corriente sea superior a unos 20 mA. a 20 mA, un LED blanco de 5mm genera aproximadamente 1 lumen de luz blanca. Aunque el LED de alto poder también se calienta, sus propiedades térmicas mejoradas le permiten funcionar sobre los 20 mA, de modo que emitan mayor cantidad de lúmenes de luz blanca. Por lo tanto, se necesitarían varios LED de 5 mm para generar tanta luz como una sola fuente de energía luminosa de alto poder. De hecho, el LED de alto poder puede conseguir una densidad de flujo mucho mayor ( $\text{lm/m}^2$ ) que una matriz compacta de LED de 5 mm y, por tanto, permite aplicaciones de iluminación no posible previamente con la tecnología LED.

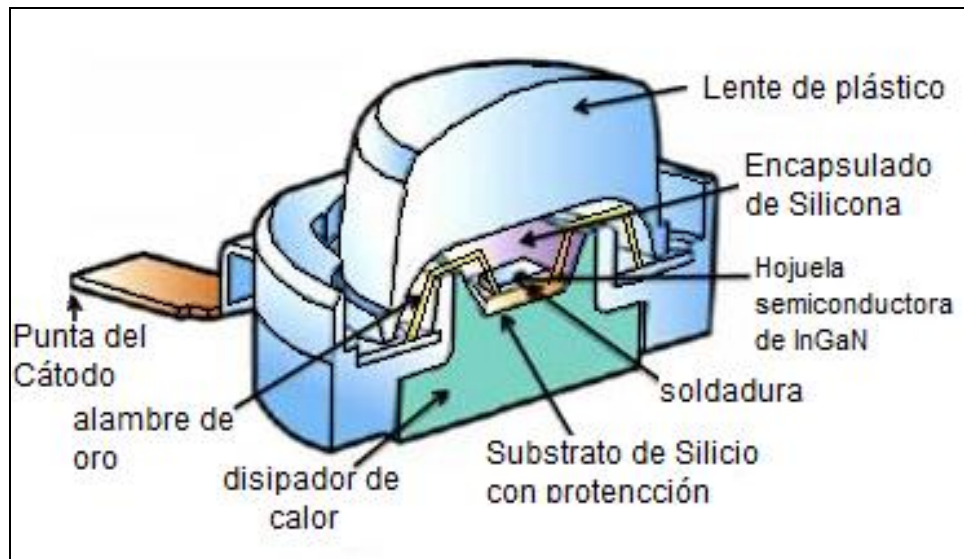
La fuente de energía luminosa de alto poder también incluye otras mejores en el encapsulado diseñadas para aumentar la emisión de

luz y la fiabilidad de este. El chip semiconductor que se encuentra dentro del dispositivo encapsulado optimizando para la eficiencia de extracción de luz. El control térmico y la densidad de corriente. El chip semiconductor esta soldado a un subsustrato de silicio que incluye protección contra las descargas electrostáticas (ESD). Además, se ha diseñado de tal modo que elimina varios mecanismos que afectan negativamente al mantenimiento del flujo luminoso como, por ejemplo:

- La resistencia térmica del emisor es 20 veces que la de un indicador LED estándar de 5mm. Esto permite la excitación con corrientes de hasta 350 mA.
- Utiliza un encapsulante de silicona de acoplamiento óptico que no amarille como la resina epoxy de calidad óptica. Esto aumenta significativamente el mantenimiento del flujo luminoso durante la vida útil.
- Utiliza en los terminales un material protegida contra la decoloración debida a la oxidación. Esto también ayuda a mejorar el mantenimiento del flujo luminoso.

- Utiliza un substrato de silicio bajo el chip semiconductor, de modo que el epoxy de fijación del chip al encapsulado solo entra en contacto con el substrato, no con el chip activo. Esto también ayuda a mejorar el mantenimiento del flujo luminoso.

La figura del LED de alto poder se muestra en la figura 29.



**Figura 29. Estructura del LED de alto poder.**

Fuente axoled.com (2014)

Una vista del LED de alto poder modelo murciélago (**Batwing**) de 1 Watt se muestra en la figura 30.



**Figura 30. Vista del LED de alto poder modelo Batwing.**

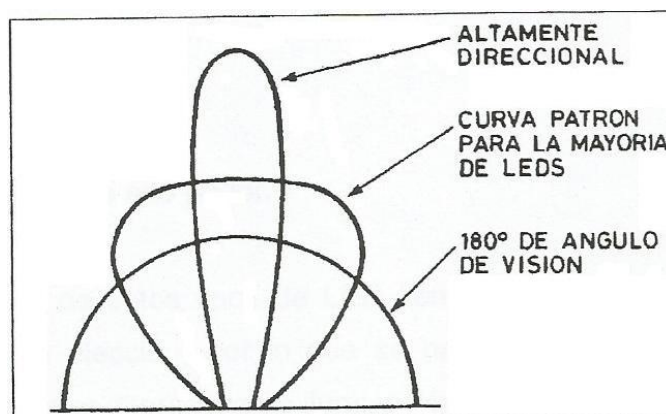
Fuente: snowdragonledhk.com (2014)

### **2.3.5 Criterios de elección para diodos emisores LED**

- **Angulo de vista en un LED**

Esta característica es importante, pues de ella depende el modo de observación del LED, es decir, el empleo practico de aparato realizado.

Cuando el LED es puntual la emisión de luz sigue la ley de Lambert, permite tener un ángulo de vista relativamente grande y el punto luminoso se ve bajo todos los ángulos, como se muestra en la figura 31.



**Figura 31. Curva del flujo luminoso a diferentes ángulos de vista**

Fuente: iearobotics.com (2014)

- **Luminosidad.**

La intensidad luminosa en el eje y el brillo están intensamente relacionados. Tanto si el LED es puntual o difusor, el brillo es proporcional a la superficie de emisión. Si el LED es puntual, el punto será más brillante, al ser una superficie demasiado pequeña. En uno difusor la intensidad en el eje es superior al modelo puntual.

## **CAPITULO 3**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación realizada es de tipo aplicada, ya que se tuvo que indagar sobre nueva tecnología (LED de potencia) y su forma de operación correcta para así dar una propuesta de luminaria y lámpara LED que pueda satisfacer las necesidades ya normadas por la CIE (Comisión Internacional de Iluminación)

El nivel de la investigación es Descriptiva y el diseño de investigación es de tipo no experimental. <sup>[11]</sup>

En el capítulo anterior se definieron las principales características de un diodo LED como también los diferentes tipos de diodos que existen actualmente.

Cada uno de estos tipos de LED tiene que ser analizado en detalle para su correcta elección, por lo que se hará uso de algún método para lograr elegir la mejor alternativas de iluminación LED.

### 3.2 SELECCIÓN DEL METODO DE ANALISIS

Para elegir el mejor método de análisis primero tenemos que tener en cuenta el tipo de información que se pueda obtener con las medidas de flujo luminoso, entonces elegiremos el método de curvas *isolux*, que consiste en realizar un mapa, para lograr determinar diferencias del flujo luminoso, estos gráficos son muy útiles porque dan información sobre la cantidad de luz recibida en cada punto de la superficie de trabajo y son utilizadas especialmente en el alumbrado público, donde a simple vista nos podemos hacer una idea de cómo iluminan la farolas la calle.

Para lograr el gráfico de las curvas isolux utilizaremos el software MATLAB, donde con algunos comandos sencillos obtendremos las características de cada LED con respecto a su flujo luminoso.

### 3.3 POBLACION Y MUESTRA

Una vez seleccionado el modo de analizar el flujo luminoso de nuestras alternativas de iluminación, se tuvo que implementar una pantalla de 1 metro cuadrado de superficie, la cual corresponderá a nuestra "*población*" y estará ubicado a un metro de distancia de la fuente luminosa (ver figura 33). En la pantalla de 1 metro cuadrado se trazará líneas formando cuadrículas de 10cm x

10cm, en las intersecciones de estas líneas se procederá a medir con un luxómetro la iluminación en cada punto, la iluminación en estos puntos serán nuestra **“muestra”** a tomar, medida que se realizará en unidades “lux”.

### **3.4 MÉTODO Y TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Considerando que una de las partes más importante para un buen análisis de la iluminación en nuestro trabajo lo constituyen los datos recolectados sobre la población y muestra, explicados en la parte 3.3 de este capítulo, así el método de recolección y procesamiento se realizó de modo sistemático con el máximo cuidado y mínimo de error.

#### **3.4.1 Método de recolección - Montaje**

Para realizar el montaje inicial y la posterior toma de datos, se consideró 1 metro de distancia desde la fuente de luz hasta la pantalla o superficie a medir, la cual fue de 1 metro cuadrado de superficie.

Para realizar el montaje de los diodos de 5 mm se utiliza un protoboard sencillo montado sobre un trípode, para lograr alcanzar el centro del mapa, la toma de datos se realiza empleando un Luxómetro proporcionado por el área de

Energías Renovables de la Escuela de Física Aplicada de la UNJBG como se muestra e la figura 32.



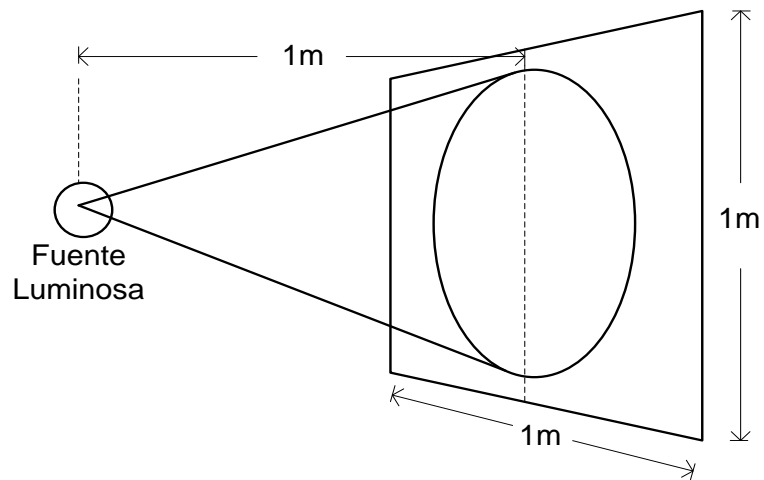
**Figura 32. Luxómetro (Lx-101).**

Fuente : directindustry (2014)

Para realizar el montaje de los LED de alto poder se utiliza solo un tripode, de tal forma que se pueden alcanzar las distancias deseado para la recolección de datos, la cual se realiza sobre la cuadrícula de la pantalla cada 10cm, como se muestra en la figura

Debido a la resolución media del instrumento de medida (Luxómetro Lx-101) se realizo 3 toma de datos por cada uno de los puntos analizados en la pantalla cuadriculada, para posteriormente obtener un mejor valor mediante la media de estos datos obtenidos por punto, esto nos garantiza la confiabilidad de los datos tomados.

A continuación en la figura 33 se muestra el montaje para la obtención de las **curvas isolux**, donde se puede apreciar el foco luminoso con respecto a la distancia hacia el mapa.



**Figura 33 : Esquema general de montaje.**

Fuente: Diagrama propio



**Figura 34. Fotografía de la toma de datos.**

Fuente propia - fotografía (2014)

### **3.5 EVALUACIÓN DE LUMINARIAS TIPO LED – OBTENCION DE CURVAS**

#### **ISOLUX**

Para la siguiente obtención de curvas solo se utilizan los LED que tienen una mayor cantidad de lúmenes, que en este caso serían los de alto brillo de 5 mm, y los LED de alto poder de 1 watt. Para lo cual se mide en lux, que significa 1 lumen por metro cuadrado.

#### **Materiales y equipos**

- Luxómetro (Lx-101)
- Mapa de 1 metro cuadrado con cuadrícula cada 10 cm
- Tripode

#### **3.5.1 Prueba de 18 LED de alto brillo de 5 mm en 1 metro cuadrado.**

Durante el análisis de este tipo de LED de alto brillo, se pudo observar que su tipo de luz emitida es enfocada, como se esperaba, ya que en su hoja técnica del componente, indica que solo tiene un ángulo de apertura total de 80 grados como máximo (ver anexo G). En la tabla 13 se puede observar los datos y la forma del flujo luminoso real.

De acuerdo a lo expuesto en el punto 3.4.1 del presente capítulo, se procede a tomar muestras de flujo luminoso dentro de un mapa cuadrado cada 10 cm. Los datos obtenidos con este tipo de LED son los que se muestran en la tabla 13 y que posteriormente se visualizará mediante la herramienta gráfica que proporciona el software de Matlab.

**Tabla 13: Flujo luminoso de 18 LEDs alto brillo de 5 mm en lux.**

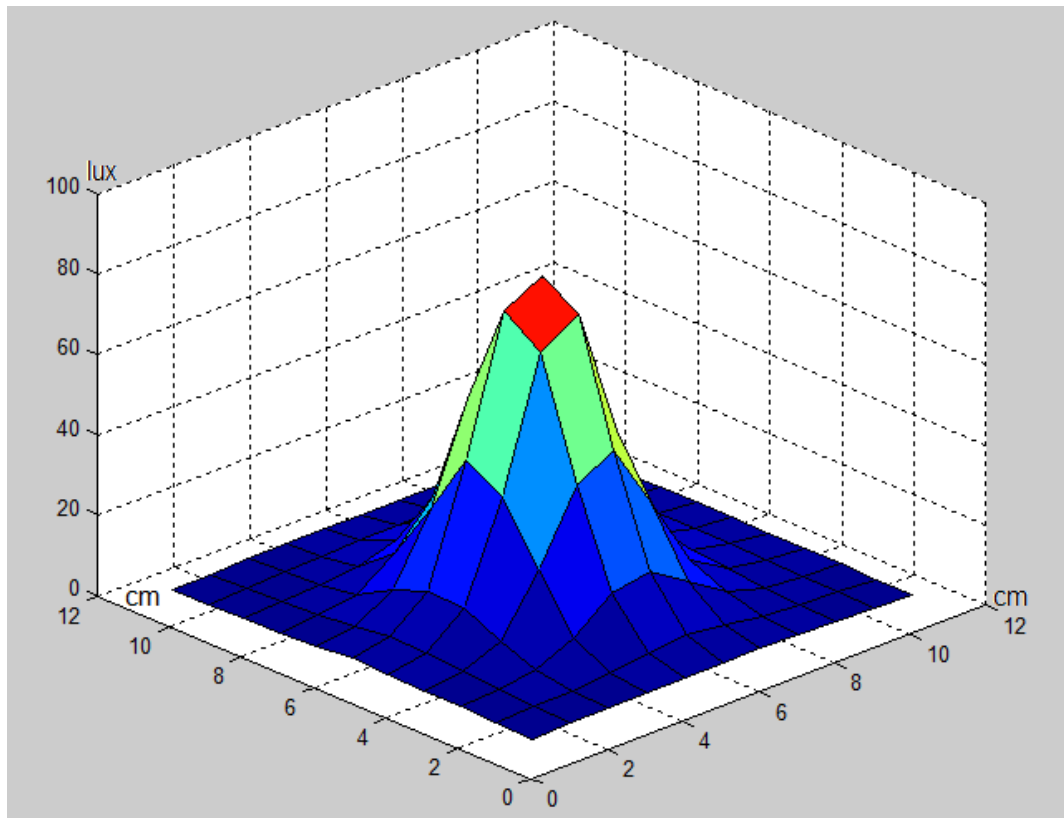
cm	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	2.4	2.9	2.9	3.1	3.3	3.5	3.5	3.2	2.9	2.7	2.3
10	2.7	3.3	3.4	4.2	5.6	6.7	5.5	7.1	3.3	2.9	2.5
20	2.9	3.7	4.8	9.3	17.0	18.7	12.5	6.5	3.9	3.1	2.6
30	3.1	4.2	8.3	22.3	40.0	45.1	28.1	10.7	4.8	3.4	2.7
40	3.5	5.3	12.6	36.8	69	75.2	42.4	15.5	5.7	3.6	2.8
50	3.6	5.5	13.2	42.1	75.5	80.8	45.6	17.6	6.2	3.7	2.9
60	3.0	4.3	9.7	26.3	50.0	55.6	34.7	14.7	5.6	3.5	2.8
70	2.5	3.3	4.8	11.3	21.7	25.9	18.3	9.1	4.4	3.1	2.7
80	2.2	2.8	3.3	4.4	7.4	9.5	8.1	4.9	3.3	2.9	2.5
90	2.0	2.4	2.8	3.1	3.4	3.7	3.7	3.2	2.8	2.5	2.2
100	1.8	2.0	2.3	2.5	2.6	2.6	2.5	2.6	2.3	2.1	1.9

Fuente : Elaboración propia (2014)

Ingresando a Matlab, los datos de la tabla 13, mediante una matriz y mediante el comando SURFC y CONTOUR, se obtiene la siguiente curva, mostradas en las figura 35 y 36. (ver anexo F)

Con ayuda del editor (EDIT) ingresamos los datos en una matriz la cual llamaremos "tabAB" y guardaremos con el nombre de "tablaAB".

Línea de comando: `>> surfc (tabAB)`



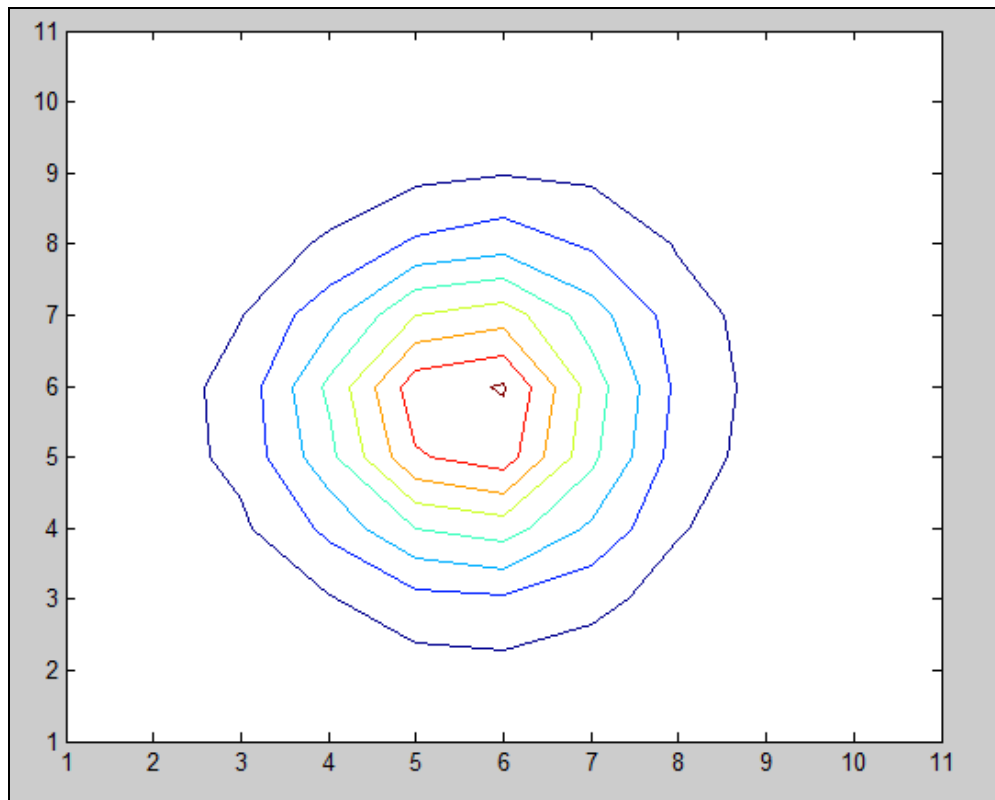
**Figura 35. Curvas isolux 18 LED de 5 mm – vista lateral.**

Fuente: Elaboración propia (2014)

También utilizando el comando **CONTOUR** se puede obtener una grafica de contorno en vista superior, la cual nos muestra las curvas de nivel para la iluminación en cada punto, como se mostrará en la figura 36.

Línea de comando: `>> contour (tabAB)`

Los valores fueron obtenidos realizando por cada punto 3 toma de datos, para la posterior media de estos presentados en la tabla 13.



**Figura 36. Curva isolux 18 LEDs 5 mm –contorno.**

Fuente: Elaboración propia (2014)

Como observamos las curvas isolux obtenidas son próximas lo cual nos indicará que el flujo luminoso es como indica también la figura 35 un flujo centralizado .

### 3.5.2 Prueba de 1 LED de alto poder de 1Watt en 1 metro cuadrado.

Durante el análisis de este tipo de LED de alto poder de 1 W, se pudo notar a simple vista en la figura 38 que tiene un ángulo mucho mayor que el LED de 5 mm, información que se puede ver en su hoja técnica, donde dice que tiene un ángulo de apertura de 120° grados. (ver Anexo B)

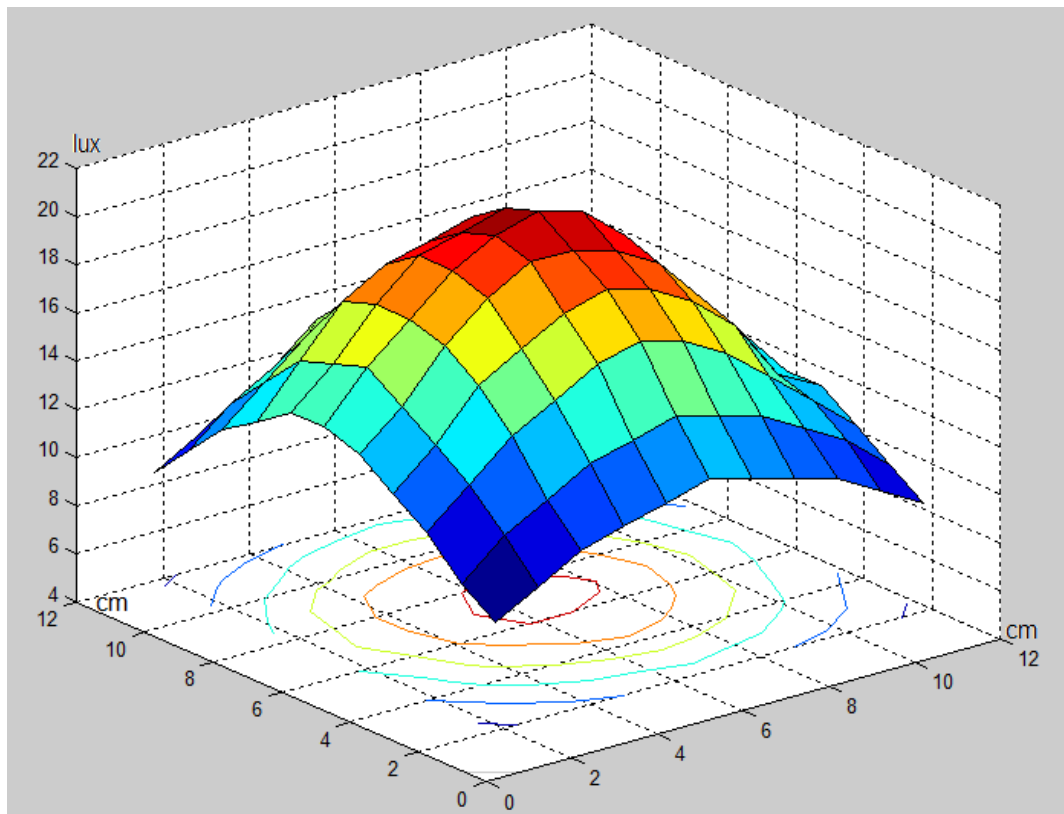
Los datos obtenidos con este tipo de LED de potencia (1 Watt) con alimentación de 350 mA, se muestran en la tabla 14, se realizaron 3 tomas de datos por cada punto, presentando el valor promedio en la tabla 14 mediante una matriz denominada "tabla1d", visualizaremos con la instrucción: >> tabla1d

**Tabla 14 : Flujo luminoso de 1 LEDs potencia 1W (350 mA).**

cm	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	9.5	10.5	11.5	12	12.5	13.0	12.5	12.0	11.5	10.5	9.5
10	10.5	12.0	13.0	14.0	14.5	15.0	14.5	14.0	13.0	12.0	10.5
20	12.0	13.5	15.0	16.0	17.0	17.5	17.0	16.0	14.5	13.0	11.5
30	13.0	14.5	16.5	17.5	18.5	19.0	18.5	17.5	16.0	13.5	12.5
40	14.0	15.5	17.5	19.0	20.0	20.0	19.5	18.5	16.5	14.5	12.5
50	14.5	16.5	18.0	19.5	20.5	21.0	20.5	19.0	17.0	15.0	13.0
60	14.5	16.0	18.0	19.5	20.0	20.5	19.5	18.5	16.5	14.5	12.5
70	13.5	15.5	17.5	18.5	19.0	19.5	18.5	17.5	15.5	14.0	12.0
80	12.5	14.0	15.5	16.5	17.5	17.5	17.0	16.0	14.5	12.5	11.0
90	11.0	12.5	13.5	15.0	15.5	15.5	15.0	14.0	12.0	11.5	10.5
100	9.5	10.5	11.5	12.0	13.0	13.5	13.0	12.0	11.5	10.0	9.5

Fuente : Elaboración propia (2014)

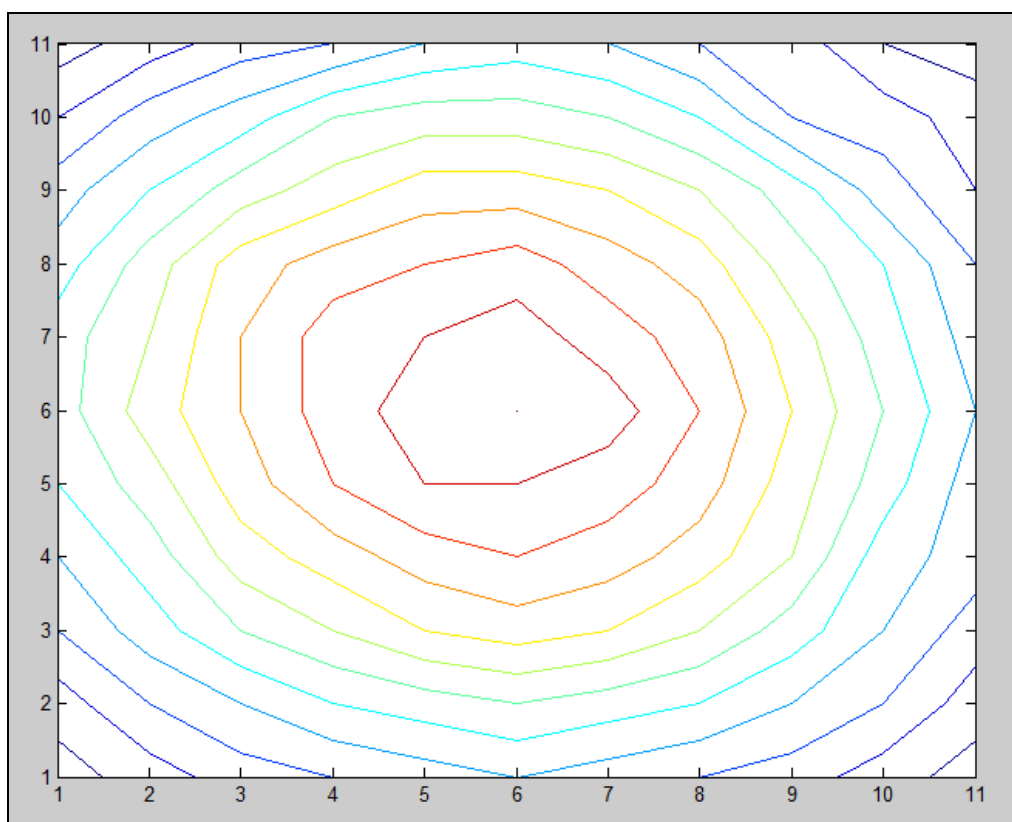
En la tabla 14, podemos decir que el máximo valor recolectado es 21 lux en el centro de la pantalla y el mínimo es los extremos es 9.5 lux, por lo que ingresando los datos de la tabla 14 mediante una matriz en Matlab y mediante el comando SURF, se obtienen la curva mostrada en la figura 37 la cual nos indica la forma que toma el flujo luminoso la zona de rojo de mayor intensidad, anaranjado, amarillo, celeste y por último el azul que respectivamente indican una menor intensidad de flujo luminoso .



**Figura 37. Curva isolux LED 1 Watt—vista lateral.**

Fuente: Elaboración propia (2014)

Utilizando el comando CONTOUR se puede obtener una gráfica de contorno que se muestra en la figura 38.



**Figura 38. Curva isolux LED 1 watt - contorno.**

Fuente: Elaboración propia (2014)

Mediante la figura 38, observamos las curvas isolux más dispersas ocupando mayor área, lo cual nos indicará que el flujo luminoso ocupa mayor área efectiva que en la figura 36, correspondiente a los LED de alto brillo de 5mm..

### 3.5.3 Prueba de 1 LED de alto poder de 1 watt en 2 metros cuadrados.

Ya que el ángulo de los LED de alto poder es más abierto, 120° de ángulo de apertura (anexo B), es necesario ampliar el mapa a 2 metros cuadrados, y realizar una toma de datos con dos repeticiones por punto de análisis y presentar los promedios en una nueva tabla.

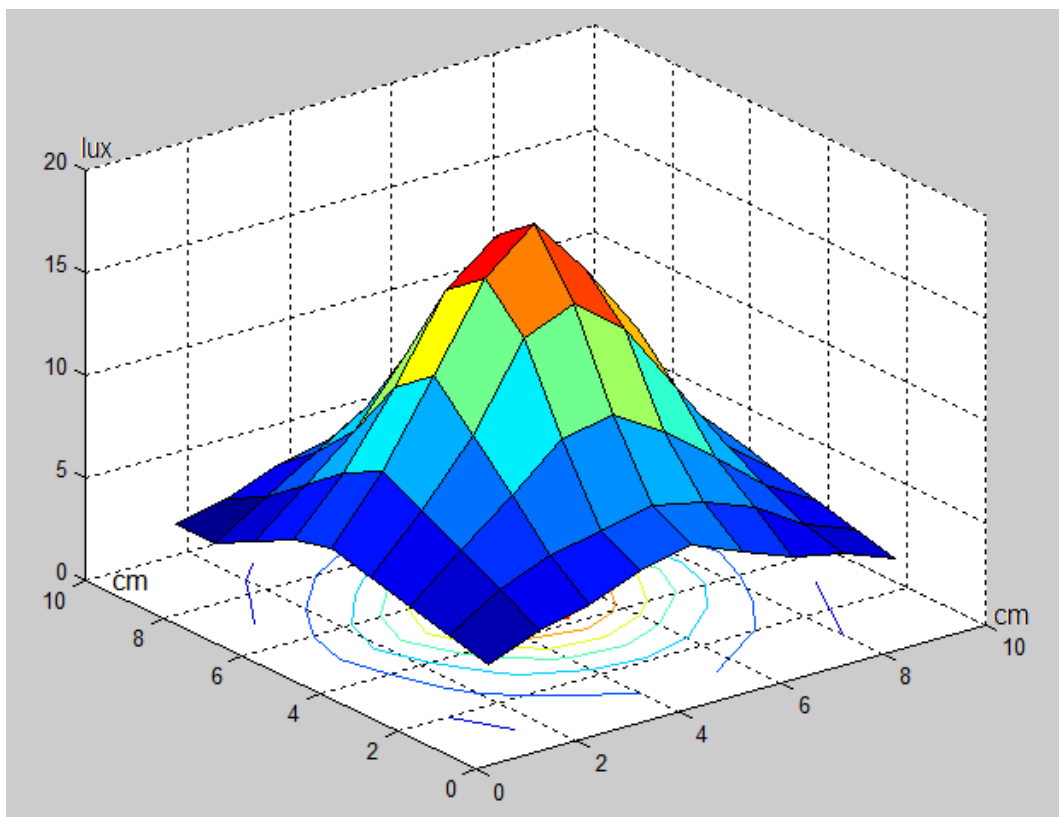
Los datos obtenidos son presentados en la tabla 15, datos obtenidos con corriente de operación que atraviesa los LED de 350 mA, estos datos se muestra a continuación.

**Tabla 15: Flujo luminoso de 1 LED alto poder de 1 watt en lux  
(corriente de operación = 350 mA)**

cm	0	25	50	75	100	125	150	175	200
0	3.5	4.5	5.0	6.0	6.5	5.5	4.5	4.0	3.0
25	4.0	5.2	6.5	7.0	7.5	7.0	6.0	4.5	3.5
50	4.5	6.5	8.5	10.5	11.0	9.5	7.5	5.5	3.9
75	5.0	7.5	10.5	14.5	15.5	13.5	10.0	6.5	4.5
100	5.5	8.5	12.5	16.5	18.5	15.5	12.0	7.5	5.0
125	5.0	7.5	11.0	15.0	17.0	14.0	10.5	7.0	4.5
150	4.0	6.0	8.0	11.0	11.5	10.5	7.5	5.5	4.0
175	3.0	4.5	6.0	7.5	8.0	7.0	6.0	4.0	3.5
200	3.0	3.5	4.5	5.0	6.0	5.0	4.0	3.5	3.0

Fuente : Elaboración propia (2014)

Ingresando la matriz de datos de la tabla 15 en Matlab (ver anexo F) y mediante el comando SURF, se obtienen las siguientes curvas, mostradas en la figura 39.



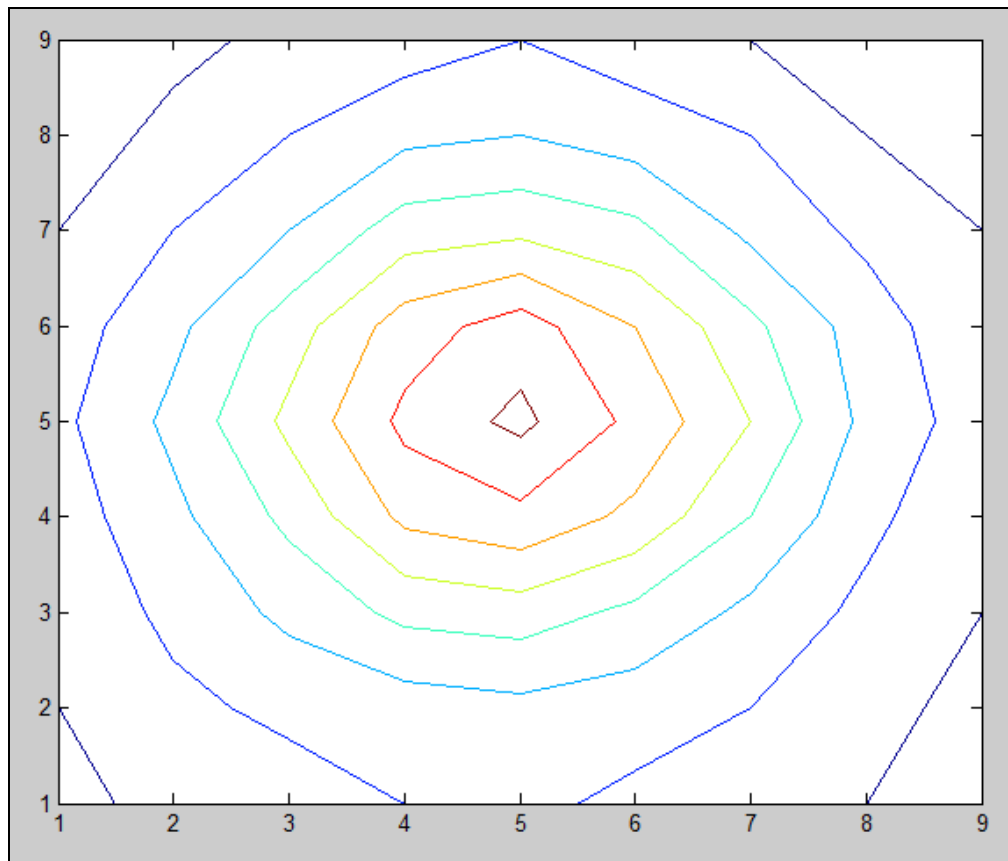
**Figura 39. Curva isolux LED 1 watt - vista lateral.**

Fuente : Elaboración propia (2014)

Como observamos en la figura 39, el flujo luminoso producido por 1 LED de alto poder de 1 watt a 2 metros de distancia de la fuente de luz , reduce

su área efectiva a medida que se aleja de los puntos más céntricos y según la tabla 15, su iluminación máxima en el centro de la pantalla es 18,5 lux .

Utilizando el comando CONTOUR se puede obtener una gráfica de contorno, como muestra en la siguiente figura 40.



**Figura 40. curva isolux LED 1 watt - contorno.**

Fuente: Elaboración propia (2014)

Como pudimos observar en las figuras anteriores el flujo luminoso producido por 1 LED de alto poder de 1 watt evaluada a 2 metros pierde

intensidad en sus contornos más externos, por lo cual probaremos seguidamente con un LED de mayor potencia (3 watt).

#### 3.5.4 Prueba de 1 LED de alto poder de 3 watt en 2 metros cuadrados.

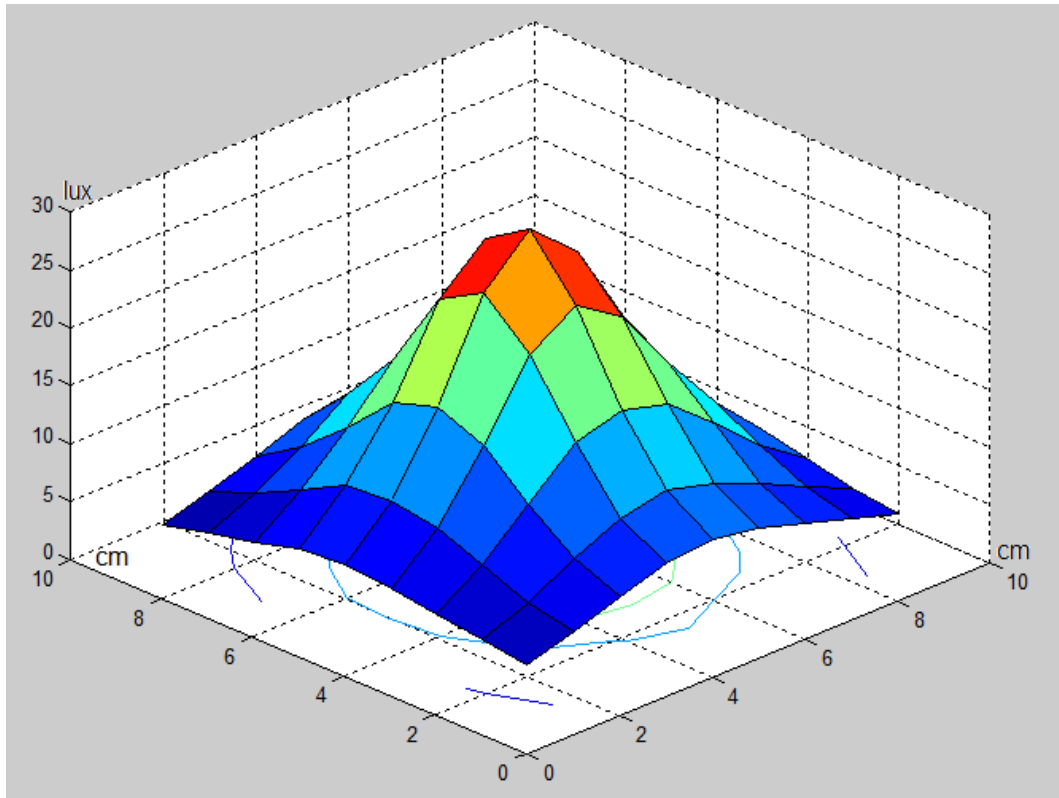
Los datos obtenidos con este tipo de LED son los que se muestran en la tabla 16 presentada a continuación.

**Tabla 16: Flujo luminoso de 1 LED de alto poder de 3 watt en lux.**

cm	0	25	50	75	100	125	60	175	200
0	4.3	5.6	6.9	8.2	8.6	7.9	6.7	5.4	4.2
25	4.8	6.4	8.5	10.3	11.2	10	8.4	6.5	4.7
50	5.4	7.9	11.6	15.3	16.3	15.3	12	8.4	5.7
75	5.9	9.5	14.9	21.1	23.8	21.1	15.5	10.4	6.4
100	6.3	10.1	16.6	24.8	28.6	25.1	17.8	11.2	6.8
125	6	9.8	15.3	22.6	26.1	22.9	16.8	10.5	7
150	4.8	7.7	11.4	15.7	18.3	16.5	12.9	8.7	5.6
175	4	5.8	8.1	11	11.9	11.1	9	9.2	4.3
200	3	4.3	5.6	7.1	7.8	7.4	5.7	4.8	3.4

Fuente : Elaboración propia (2014)

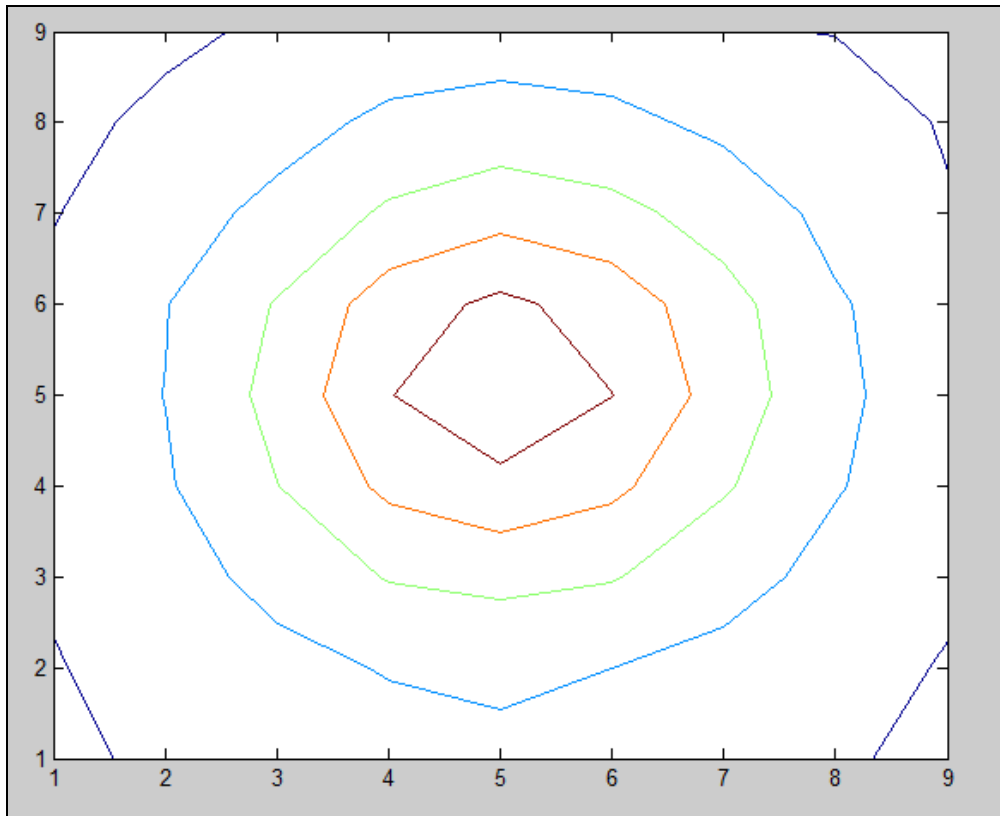
Ingresando en Matlab la tabla 16 y mediante el comando SURF, se obtiene la siguiente curva, mostrada en la figura 41 .



**Figura 41. Curva isolux LED 3 watt—vista lateral.**

Fuente: Elaboración propia (2014)

Utilizando el comando CONTOUR se puede obtener una grafica de contorno, como se muestra en la figura 42.



**Figura 42. Curva isolux 1 LED de 3 watt - contorno.**

Fuente: Elaboración propia (2014)

Es importante aclarar, que las figuras presentadas en este documento son de tipo descriptivas puesto que nos muestran “la forma” que toma el flujo luminoso en los diferentes casos de configuración de fuente luminosa elegida hasta el momento, los datos tomados son presentados en la tablas adjuntas ingresadas como matrices mediante la herramienta que nos facilita para graficar Matlab.

### 3.5.5 Prueba de tres LED de alto poder de 1 watt en 2 metros cuadrados.

Los datos obtenidos con este tipo de LED son los que se muestran en la tabla 17, ingresada en Matlab mediante la matriz que denomine “tab1w”

**Tabla 17: Flujo luminoso de 3 LED de alto poder de 1 watt en lux.**

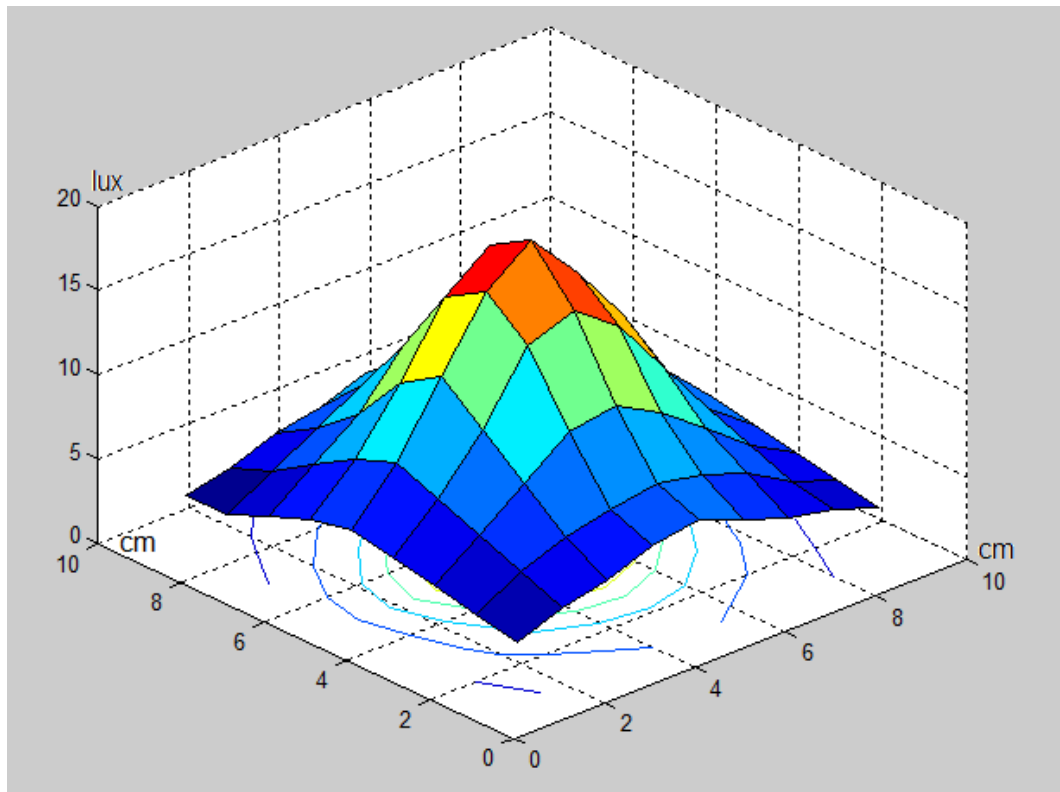
cm	0	25	50	75	100	125	150	175	200
0	5.5	7.5	9.0	11.5	11.5	11.5	9.5	8.0	6.0
25	6.5	9.0	11.5	14.5	15.5	14.5	12.5	9.5	7.0
50	7.5	10.0	15.5	21.0	23.0	21.0	17.0	12.0	8.0
75	8.5	13.0	20.0	28.5	32.5	29.0	22.0	15.0	10.0
100	9.0	14.5	22.5	33.5	39.0	34.5	25.5	16.5	10.5
125	8.5	13.5	20.5	30.0	35.5	31.5	23.5	15.5	10.0
150	7.0	10.5	15.5	21.5	25.5	23.5	18.0	12.5	8.5
175	5.5	8.5	11.5	15.0	16.5	15.5	12.5	9.0	6.5
200	4.0	6.0	7.5	9.0	11.0	10.0	9.0	7.0	5.5

Fuente : Elaboración propia (2014)

Ingresando en Matlab la tabla 17, la cual llamaremos “tab3w” y mediante el comando “surfc”, se obtienen la siguiente curva, mostrada en la figura 43.

Línea de comando: >> surfc(tab3w) ←

El Flujo luminoso de 3 LED de alto poder de 1 watt mostrado en vista lateral según la figura 43 sobre una pantalla de 2 m<sup>2</sup>, a 1 metro de distancia, posee según tabla 17, un valor máximo de iluminación de 39 lux, a un metro de distancia.



**Figura 43. Curva isolux 3 LEDs 1 watt - vista lateral.**

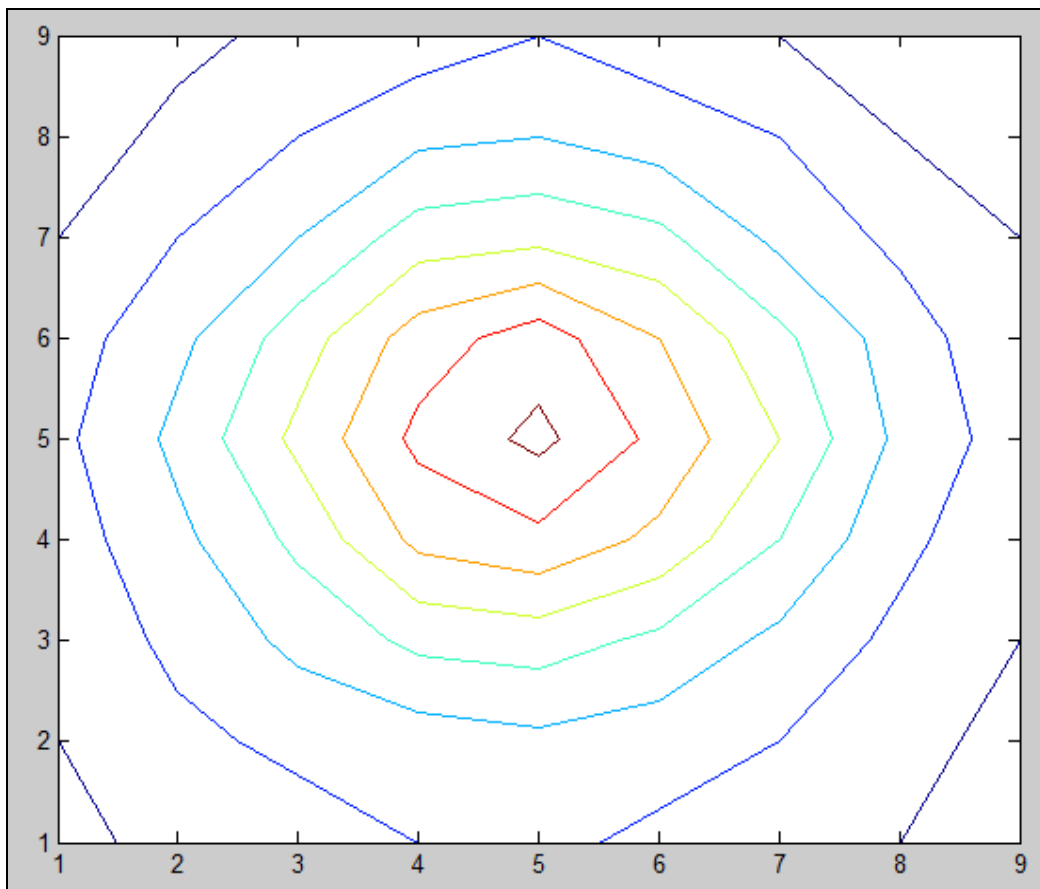
Fuente : Elaboración propia (2014)

Para observar mejor el área efectiva del flujo luminoso correspondiente al uso de 3 led de alto poder de 1 watt, emplearemos el comando CONTOUR, para a obtener una gráfica de contorno, como se muestra en la figura 44.

En la ventana de comando de Matlab escribiremos la línea de comando:

>> contour(tab3w) ←

Se abrirá a continuación la ventana mostrando la gráfica de contorno:



**Figura 44. Curva isolux 3 LED 1 watt – contorno.**

Fuente: Elaboración propia (2014)

Estas curvas isolux nos indican como el flujo luminoso se va aumentando su área efectiva mediante el empleo de tres LED de 1 watt , en comparación al flujo luminoso producido por 1 Led de 3 watts mostrado en la figura 42.

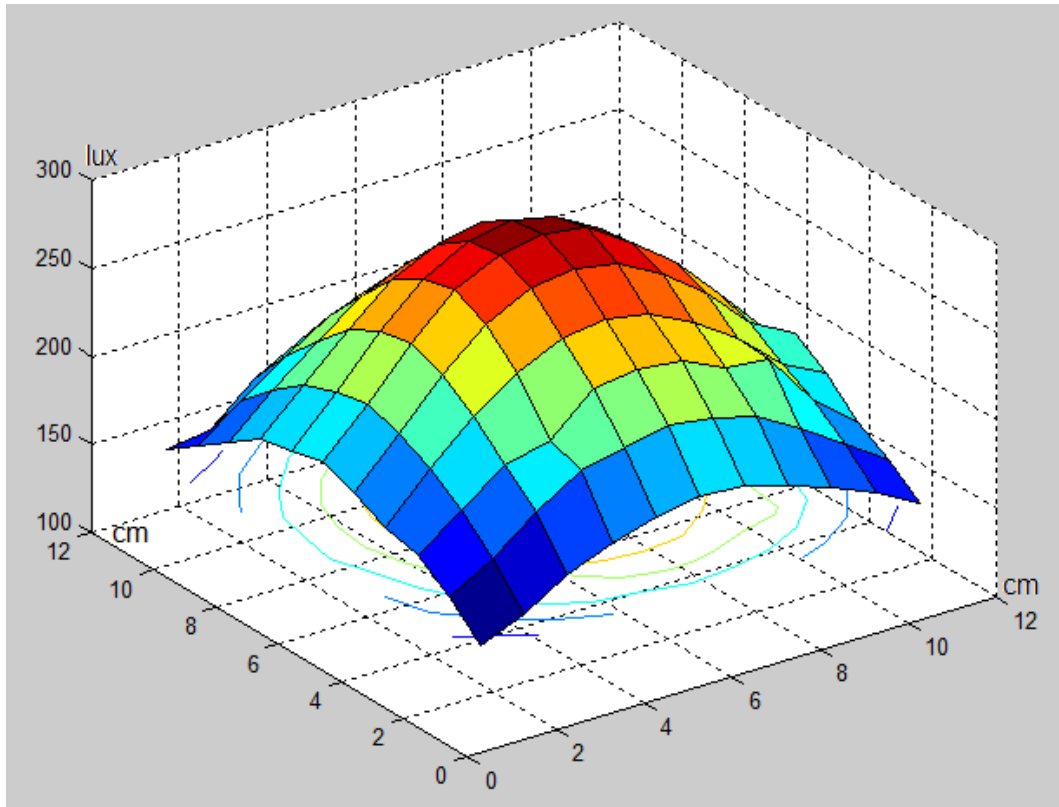
### 3.5.6 Prueba de 18 LED de alto poder de 1 watt en metro cuadrado.

Una de las complicaciones fue la de adquirir una buena corriente que atravesase los 18 Led , la tabla siguiente muestra los datos del flujo luminoso de 18 Led con corriente de operación de 325 mA que fue el primer resultado obtenido en mi sistema de alimentación de corriente de operación para los 18 LED de potencia.

**Tabla 18: Flujo luminoso 18 LED de alto poder de 1 watt (325 mA)**

cm	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	114	125	139	150	157	161	160	153	144	133	120
10	131	146	165	181	186	192	188	181	167	151	134
20	144	162	181	187	209	213	210	199	196	165	145
30	150	176	198	215	227	231	226	214	197	175	164
40	159	185	211	232	245	249	244	231	212	188	175
50	166	191	218	241	254	258	254	238	219	193	168
60	163	188	215	237	251	255	250	236	216	191	168
70	158	181	205	226	239	244	237	224	205	182	158
80	145	167	188	206	216	220	217	207	190	170	148
90	133	151	169	184	193	196	194	185	170	153	134
100	119	134	146	159	167	171	166	159	149	135	123

Fuente : Elaboración Propia (2014)



**Figura 45. Curva isolux 18 LED 1 watt - vista lateral (325 mA).**

Fuente: Elaboración propia (2014)

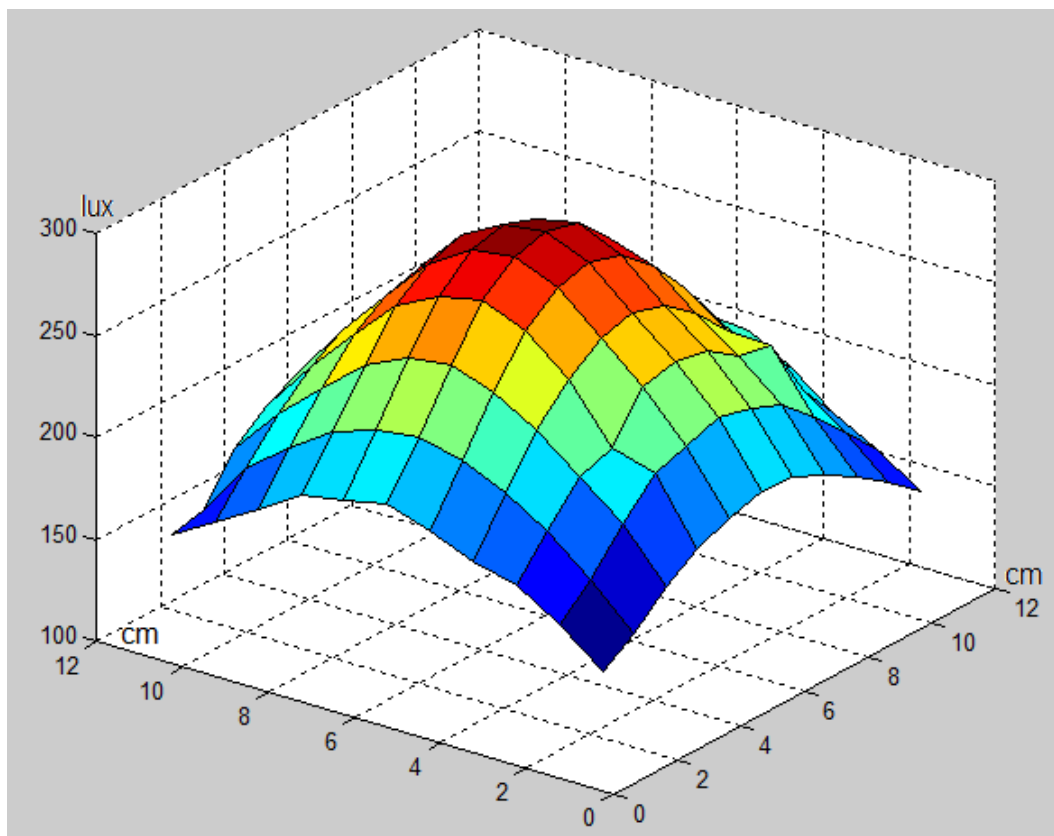
Una vez corregida esta complicación sobre la buena corriente que atraviese los 18 Led, se consiguió una corriente de 350 mA, solución que se detalla en la parte 4.2.2 (Circuito de luminaria) de este trabajo, la tabla siguiente muestra los datos del flujo luminoso de 18 Led con corriente de operación de 350 mA, tomado a una distancia de 1 metro de la fuente luminosa.

**Tabla 19: Flujo luminoso 18 LED de alto poder de 1 watt (350 mA)**

cm	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	145	155	170	180	187	192	190	183	174	163	150
10	162	176	195	211	216	222	218	211	197	181	164
20	175	193	211	217	239	243	240	229	226	195	175
30	180	206	228	245	257	261	256	244	227	205	192
40	189	215	241	262	275	279	274	261	242	218	204
50	196	221	248	271	284	288	284	268	249	224	197
60	192	218	245	267	281	285	280	265	246	222	195
70	188	211	235	256	268	274	267	254	235	212	188
80	175	197	218	236	246	251	247	237	220	201	178
90	163	181	199	214	223	226	224	215	200	183	164
100	150	164	176	189	197	201	196	189	179	165	154

Fuente : Elaboración propia (2014)

En la figura 46 se puede observar que el flujo luminoso mejora en los valores medidos en unidades “Lux” por puntos en nuestra pantalla, consiguiendo un valor máximo de 288 lux y la forma del flujo no se altera demasiado en comparación a la forma presentada en la figura 45.



**Figura 46. Curva isolux 18 LED 1 watt - vista lateral (350 mA).**

Fuente: Elaboración propia (2014)

### **3.5.7 Prueba de 24 LED de alto poder de 1 watt en metro cuadrado**

Se realizó por último una nueva propuesta, la cual consiste en realizar una matriz de 24 LED, para mejorar el flujo luminoso, los datos de esta propuesta se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 20: Flujo luminoso 24 LED de alto poder de 1 watt (en Lux)**

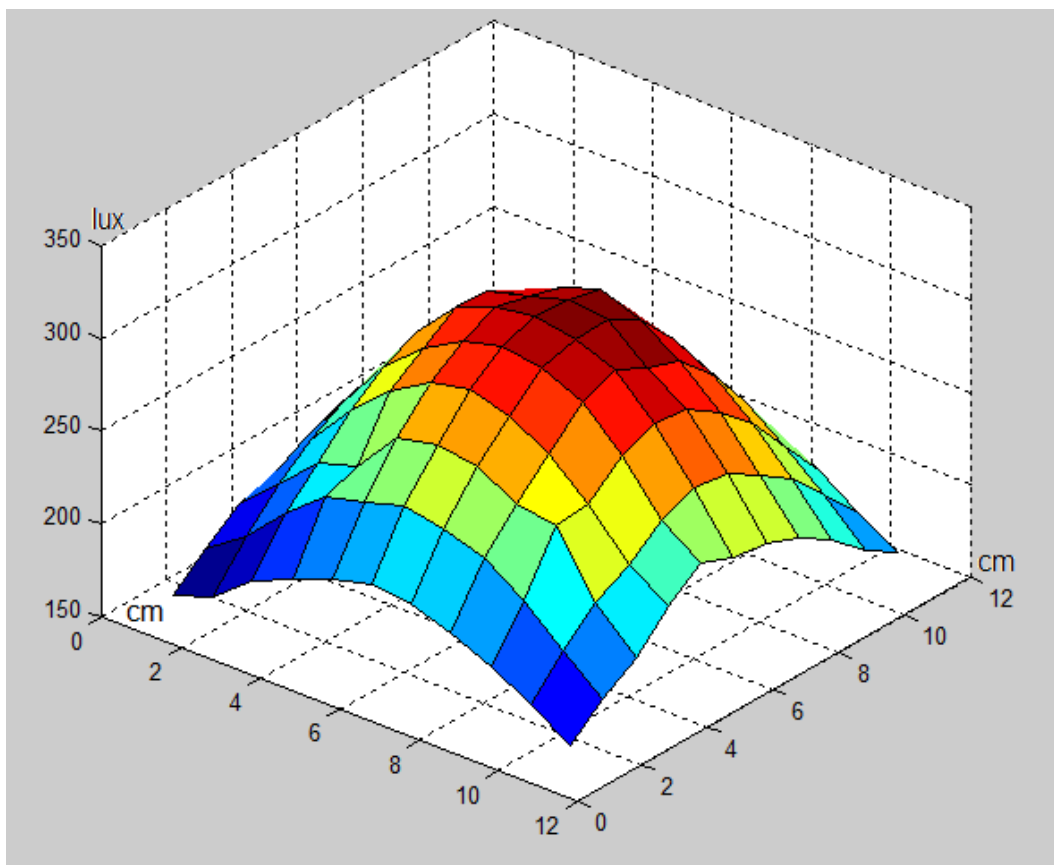
Cm	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	160	167	184	194	202	207	205	198	188	176	162
10	175	190	211	228	233	240	235	228	213	195	177
20	189	208	228	234	258	262	259	247	244	211	189
30	194	222	246	265	278	282	276	264	245	221	207
40	204	232	260	280	290	295	293	282	261	235	220
50	212	239	268	292	298	302	297	284	269	242	213
60	207	235	265	288	294	300	298	280	266	240	211
70	203	222	250	276	289	296	288	274	254	229	203
80	189	213	235	255	266	271	267	256	238	217	192
90	176	195	215	231	241	244	242	232	216	198	177
100	162	177	190	204	213	217	212	204	193	178	166

Fuente : Elaboración Propia (2014)

A continuación ingresando en Matlab los datos de la tabla 20, y se obtienen la siguiente superficie (ver anexo F), mostrada en la figura 47.

Línea de comando: >> surf (tab24LED) ←

Pulsando “intro” (↵) luego de la línea de comando mencionada, se abrirá la ventana donde se muestra la curva siguiente:



**Figura 47. Curva isolux de 24 LED - 1 watt (vista lateral).**

Fuente: Elaboración propia (2014)

### **3.6 ELECCION DE LA MEJOR ALTERNATIVA.**

Para elegir la mejor alternativa utilizaremos los criterios de elección descrita en el punto 2.3.5 del capítulo 2.

#### **3.6.1 Ángulo de vista.**

Los LED de alto poder tienen un ángulo de vista que bordea los 120 grados, mucho mayor que los encapsulados estándar de alto brillo que solo pueden alcanzar hasta 80 grados (ver anexo H), perdiendo más del 50% de su luminosidad. Para lograr ampliar el ángulo de los LED de alto brillo se cambió la dirección de cada LED por separado, para lograr algún ángulo similar al de los LED de alto poder.

Pero no se obtuvieron muy buenos resultados, ya que el flujo luminoso obtenido resulta demasiado variable.

Comparando las curvas isolux de los gráficos de las figuras 35 y 36 con las de los gráficos 37 y 38 podremos descartar el LED de alto brillo, ya que el tipo de luz que se necesita es del tipo difuso y no enfocada como se aprecia en la curva de los gráficos mencionados.

### 3.6.2 Luminosidad.

Para lograr una buena comparación entre el LED de 1 watt y el de 3 watt se igualaron las potencias, de tal forma que se puede comparar con respecto a una sola variable, que en este caso sería el flujo luminoso. Si comparamos las curvas obtenidas en los gráficos 39 y 41 se podrá observar que el que tiene un mejor flujo luminoso es el LED de 3 watt, pero las potencias consumidas son diferentes, ya que el LED de 1 watt es alimentado con 3.3 V y 350 mA. Esto equivale a 1.16 watt, y el LED de 3 watt está alimentado con 3.2 V y 900 mA que equivale a 2.9 watt. Por lo que se procede a juntar 3 LED de 1 watt consumiendo 9.6 V y 310 mA equivalente a 2.9 watt, para lograr un consumo similar de potencia, donde ahora las curvas a comparar son las obtenidas en los gráficos de las figuras 41 y 43, donde podemos concluir que el mayor flujo luminoso produce a un mismo consumo de potencia es el grupo de 3 LED de 1 watt.

## **CAPITULO 4**

### **IMPLEMENTACION DEL DISPOSITIVO DE ILUMINACION LED Y CONTROL DE INTENSIDAD**

#### **4.1 INTRODUCCION.**

El presente capitulo consiste en el diseño e implementación de un dispositivo de iluminación vial basada en tecnología LED. Para comenzar se presenta el cálculo de la iluminación obtenida empleando los LED de poder 1 Watt.

#### **4.2 IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE LUMINARIA**

Primero describiremos el cálculo de la iluminancia y la configuración de los LED para el montaje de la luminaria.

##### **4.2.1 CALCULO DE ILUMINANCIA Y MONTAJE LA LUMINARIA**

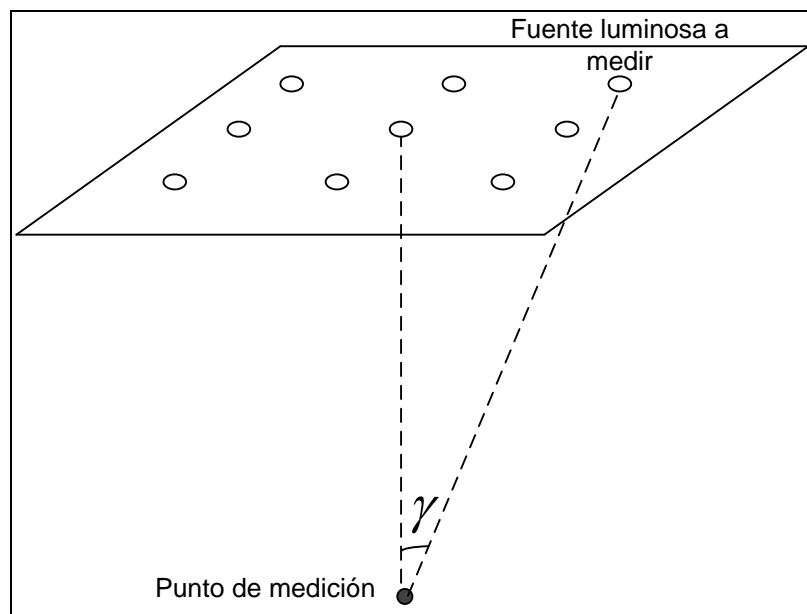
En el siguiente diseño utilizaremos diodos LED de alto poder de 1 watt y 36 lúmenes, y se considera que estarán a una altura de 6 metros sobre el suelo.

Para encontrar la cantidad de LED a utilizar en el diseño no existe una ecuación específica, ya que la iluminancia a obtener depende no solo de la altura y la densidad luminosa, como se muestra en la ecuación 2 del capítulo 2, también depende de la forma y distancia en que están ordenados los LED en la luminaria.

También tendremos que tener en cuenta que la ecuación 2 es estrictamente para el caso de fuentes puntuales, por lo que para este caso tendremos que considerar el aporte lumínico de cada uno de los LED con sus respectivos ángulos que provoca la geometría de la luminaria, entonces la ecuación 3 (pág. 28), la expresamos para nuestro caso en la ecuación 11:

$$E_H = \sum_{i=1}^n E_{pi} = \frac{I_i(\gamma)}{h_i^2} \cdot \text{Cos}^3(\gamma_i) \quad (11)$$

Donde  $\gamma$  representa el ángulo producido por la posición del LED, como se muestra en la figura 48 :

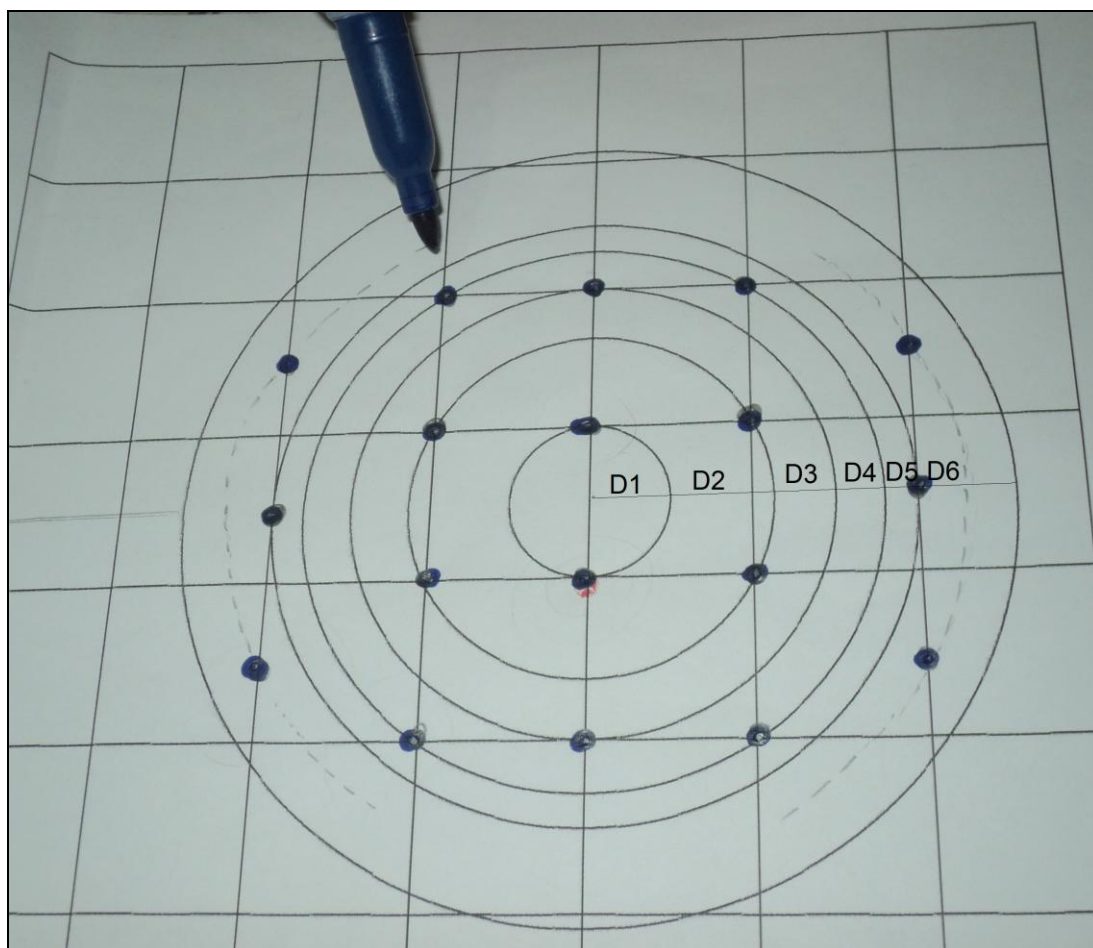


**Figura 48. Ángulo Gamma de posición de los LED.**

Fuente : Elaboración propia (2014)

Para este caso consideraremos 6 arreglos de 3 LED cada uno, haciendo un total de 18 fuentes, para que sea posible considerar el circuito más adelante para un tipo de valor de fuente standard, como puede ser el de 12 Voltios (Vcd).

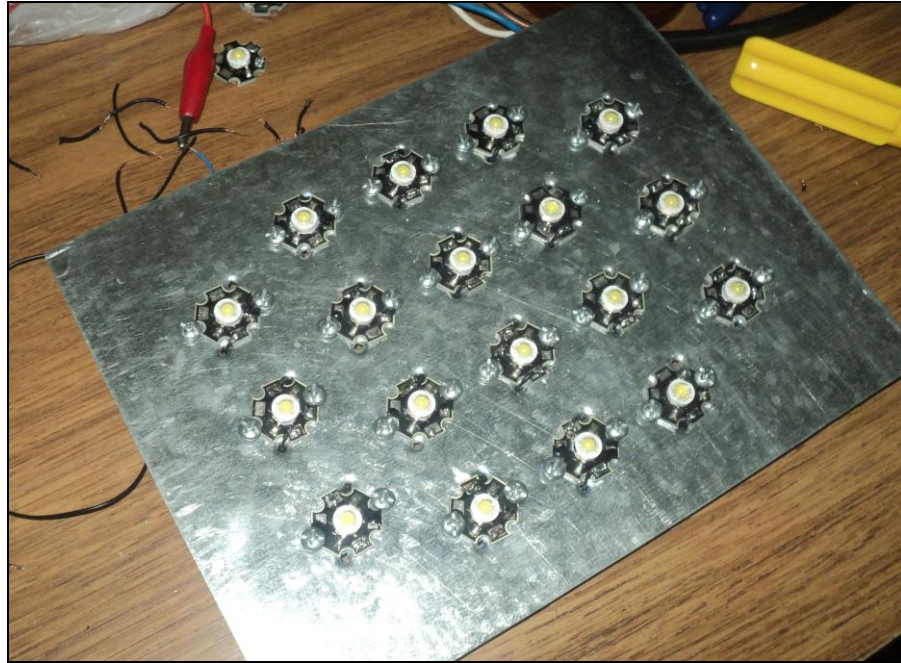
La disposición de los LED en la matriz se puede apreciar en la figura 49, que se muestra a continuación:



**Figura 49: plano de distribución LED en la luminaria.**

Fuente: Elaboración propia – fotografía (2014)

La implementación en físico de la matriz de 18 LED, se puede observar en la figura 50, presentada a continuación.



**Figura 50: Montaje de la luminaria.**

Fuente: Elaboración propia (2014)

Las distancias vistas en la figura 49, inicialmente fueron menores, obteniéndose una matriz con los LED muy juntos, esto se modificó para mejorar la disipación térmica en la placa, así se dispuso aumentar las distancias a los valores presentados continuación:

D1 = 1,75 cm

D2 = 4,0 cm

D3 = 5,3 cm

D4 = 6,3 cm

D5 = 7,0 cm

D6 = 7,9 cm

Ahora con estas medidas podemos definir la ecuación 11 para nuestro caso, quedando de la siguiente forma, como se muestra en ecuación 12:

$$E_H = 2 \cdot \frac{I \gamma^1}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma_1 + 4 \cdot \frac{I \gamma^2}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma_2 + 2 \cdot \frac{I \gamma^3}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma_3 + 4 \cdot \frac{I \gamma^4}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma_4 + 2 \cdot \frac{I \gamma^5}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma_5 + 4 \cdot \frac{I \gamma^6}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma_6 \dots (12)$$

Donde podremos simplificar la ecuación de la siguiente manera, como se muestra en la ecuación 13, ya que sabemos que  $I_i(\gamma) = I_o \cdot \cos \gamma_i$ .

$$E_H = \frac{2I_o}{h^2} (\cos^4 \gamma_1 + 2 \cos^4 \gamma_2 + \cos^4 \gamma_3 + 2 \cos^4 \gamma_4 + \cos^4 \gamma_5 + 2 \cos^4 \gamma_6) \dots (13)$$

Teniendo el valor de la distancia del centro de la luminaria a la posición del LED y la altura desde el suelo, obtendremos el valor de los cosenos de la siguiente forma:

$$\cos \gamma_1 = \frac{6}{\sqrt{6^2 + 1,75^2}} = 0,960$$

$$\cos \gamma_2 = \frac{6}{\sqrt{6^2 + 4,0^2}} = 0,832$$

$$\cos \gamma_3 = \frac{6}{\sqrt{6^2 + 5,3^2}} = 0,7494$$

$$\cos \gamma_4 = \frac{6}{\sqrt{6^2 + 6,3^2}} = 0,6896$$

$$\cos \gamma_5 = \frac{6}{\sqrt{6^2 + 7^2}} = 0,6508$$

$$\cos \gamma_6 = \frac{6}{\sqrt{6^2 + 7,9^2}} = 0,605$$

Ahora reemplazamos los valores en la ecuación 13 y nos quedaría la ecuación 14, que se muestra a continuación:

$$E = \frac{2 \cdot I_o}{h^2} \cdot (3,02127) \quad \dots\dots\dots (14)$$

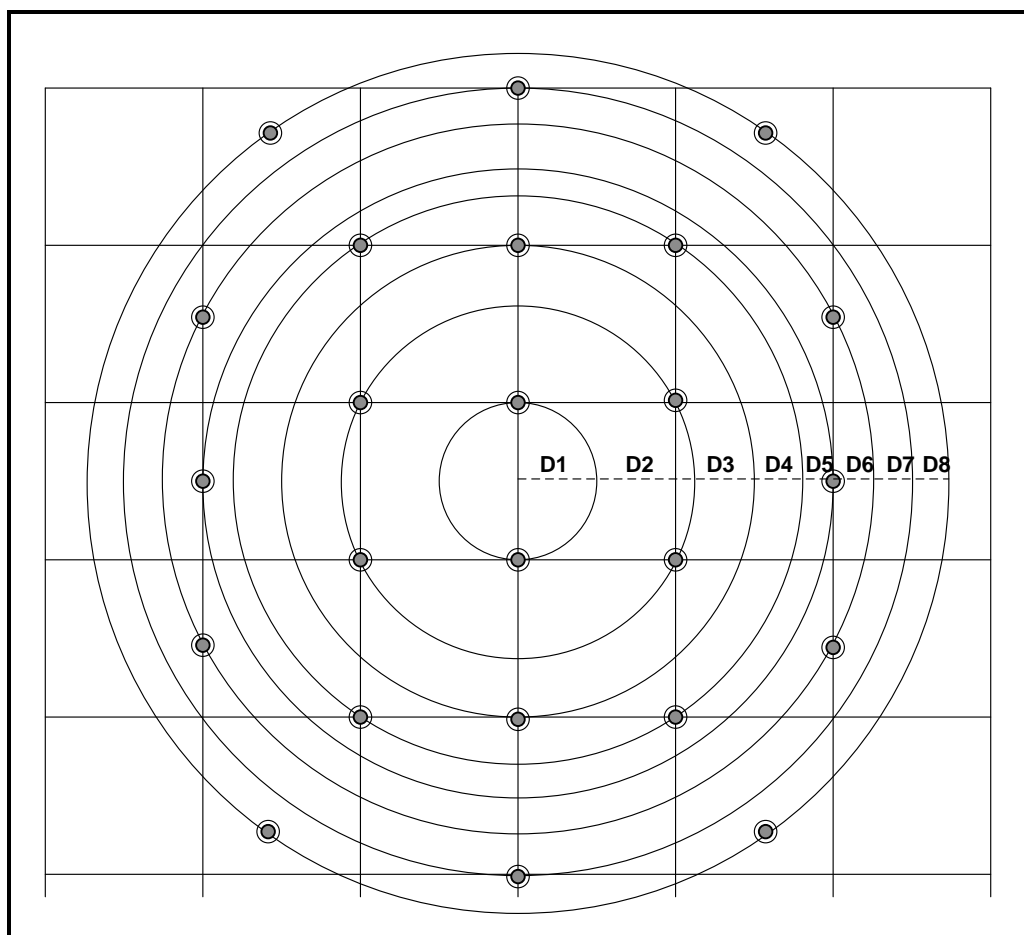
Para el cálculo de la intensidad luminosa  $I_o$ , se tomó el valor máximo de la tabla 19, que es 288 lux, para la distancia de 1m de la pantalla a la fuente luminosa ( $h = 1$  metro). Por lo tanto de la ecuación 14, resulta:

$$288 = \frac{2 \cdot I_o}{(1)^2} \cdot (3,02127)$$

$$I_o = 47,66 \text{ candelas}$$

Ahora con este valor de intensidad lumínica  $I_o$ , y con una distancia  $h = 6$  metros, en la ecuación 14 resultaría con valor de iluminancia de: 7,98 lux.

Para mejorar nuestra propuesta, se incorporó 6 LED más, por lo que nuestra matriz LED quedó con 24 LED de potencia de 1 watt cada uno, mejorando así la superficie del flujo luminoso como se puede observar comparando las figuras 46 y 47.



**Figura 51 : Plano de distribución en matriz de 24 LED de potencia**

Fuente : Elaboración propia (2014)

Los cálculos son análogos a los anteriores, donde las distancias en nuestro nuevo plano de distribución es:

$$D1 = 1,75 \text{ cm}$$

$$D2 = 4,0 \text{ cm}$$

$$D3 = 5,3 \text{ cm}$$

$$D4 = 6,3 \text{ cm}$$

$$D5 = 7,0 \text{ cm}$$

$$D6 = 7,9 \text{ cm}$$

$$D7 = 8,7 \text{ cm}$$

$$D8 = 9,4 \text{ cm}$$

Con estos datos podemos obtener el valor de los cosenos, que resultarían los mismos que anteriormente, excepto por el cálculo de los dos últimos cosenos “ $\cos \gamma_7$ ” y “ $\cos \gamma_8$ ”, con sus correspondientes cosenos a la cuarta potencia, se muestran a continuación :

$$\cos \gamma_1 = \frac{6}{\sqrt{6^2 + 1,25^2}} = 0,978980 \quad \rightarrow \quad \cos^4 \gamma_1 = 0,849$$

$$\cos \gamma_2 = \frac{6}{\sqrt{6^2 + 3,0^2}} = 0,894427 \quad \rightarrow \quad \cos^4 \gamma_2 = 0,479$$

$$\cos \gamma_3 = \frac{6}{\sqrt{6^2 + 3,75^2}} = 0,847998 \quad \rightarrow \quad \cos^4 \gamma_3 = 0,3153$$

$$\cos \gamma_4 = \frac{6}{\sqrt{6^2 + 4,5^2}} = 0,8 \quad \rightarrow \quad \cos^4 \gamma_4 = 0,2261$$

$$\cos \gamma_5 = \frac{6}{\sqrt{6^2 + 5,0^2}} = 0,768221 \quad \rightarrow \quad \cos^4 \gamma_5 = 0,179$$

$$\cos \gamma_6 = \frac{6}{\sqrt{6^2 + 6,5^2}} = 0,678280 \quad \rightarrow \quad \cos^4 \gamma_6 = 0,1338$$

$$\cos \gamma_7 = \frac{6}{\sqrt{6^2 + 8,7^2}} = 0,568 \quad \rightarrow \quad \cos^4 \gamma_7 = 0,1038$$

$$\cos \gamma_8 = \frac{6}{\sqrt{6^2 + 9,4^2}} = 0,538 \quad \rightarrow \quad \cos^4 \gamma_8 = 0,0838$$

Con estos datos podemos obtener una expresión similar a la ecuación 12, para nuestro caso, ecuación 15:

$$E_H = 2 \cdot \frac{I \gamma^1}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma_1 + 4 \cdot \frac{I \gamma^2}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma_2 + 2 \cdot \frac{I \gamma^3}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma_3 + 4 \cdot \frac{I \gamma^4}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma_4 + 2 \cdot \frac{I \gamma^5}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma_5 + 4 \cdot \frac{I \gamma^6}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma_6 + \dots + 2 \cdot \frac{I \gamma^7}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma_7 + 4 \cdot \frac{I \gamma^8}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma_8 \dots (15)$$

Y similar a la ecuación 13, obtenemos para nuestro caso la ecuación 16.

$$E_H = \frac{2I_o}{h^2} (\cos^4 \gamma_1 + 2 \cos^4 \gamma_2 + \cos^4 \gamma_3 + 2 \cos^4 \gamma_4 + \cos^4 \gamma_5 + 2 \cos^4 \gamma_6 + \cos^4 \gamma_7 + 2 \cos^4 \gamma_8) \dots (16)$$

Ahora reemplazamos los valores en la ecuación 16 y nos quedaría la ecuación 17, que se muestra a continuación :

$$E_H = \frac{2(47,66)}{6^2} (0,849 + 2(0,479) + 0,3154 + 2(0,22614) + 0,179 + 2(0,1338) + 0,1038 + 2(0,0838)) \dots (17)$$

Que, resolviendo nos resultaría a 6 metros de altura un valor de iluminancia de:

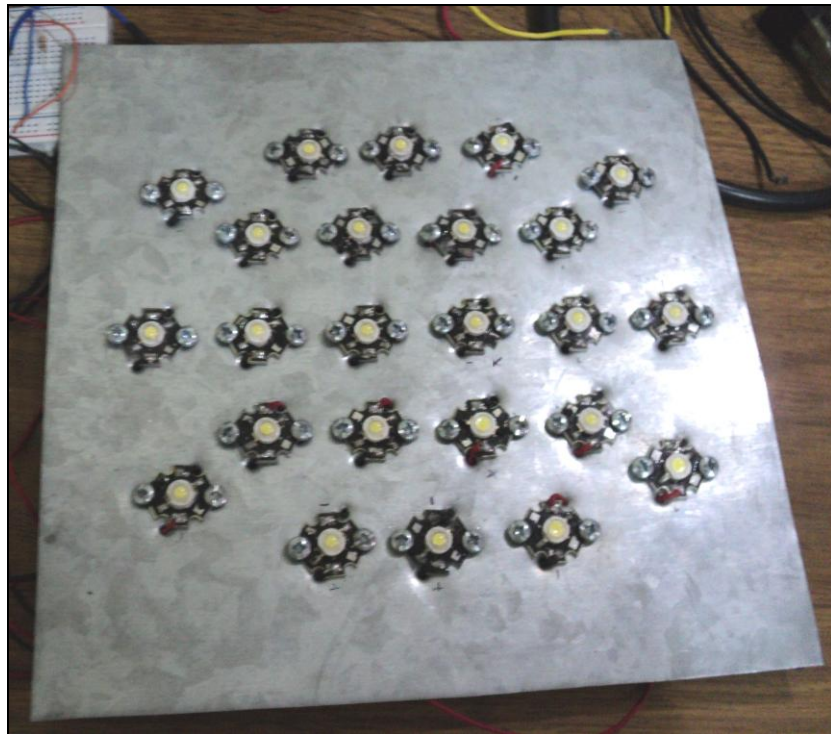
$$E_H = 8,218 \text{ lux.}$$

#### 4.2.2 CIRCUITO LUMINARIA LED y ALTERNATIVA DE ALIMENTACIÓN

Para el diseño del circuito es necesario conocer los parámetros de funcionamiento del Diodo LED de alto poder, para eso acudiremos a la hoja técnica (data sheet) del componente SS-PB2W1K2 (Ver anexo B), de donde se obtienen los siguientes datos necesarios:

Voltaje máximo de operación :  $V_{MAX} = 3,6V$

Corriente constante de operación :  $I_F = 350mA$



**Figura 52: MATRIZ 24 LED de potencia (1W)**

Fuente: Elaboración propia (2014)

En el proceso de diseño final, como ya se explicó, se decidió incrementar 6 LED a la matriz, siguiendo el plano de distribución propuesto inicialmente y visto en la figura 51, lo cual nos garantiza la simetría de nuestra luminaria, cuyos resultados de iluminación de dicha matriz de 24 LED se presentó ya en la tabla 20 y la forma del flujo luminoso que produce se mostró en la figura 47, cuya fotografía se presenta en la figura 52.

A continuación se presentan los valores de trabajo para el circuito, desarrolladas como sigue :

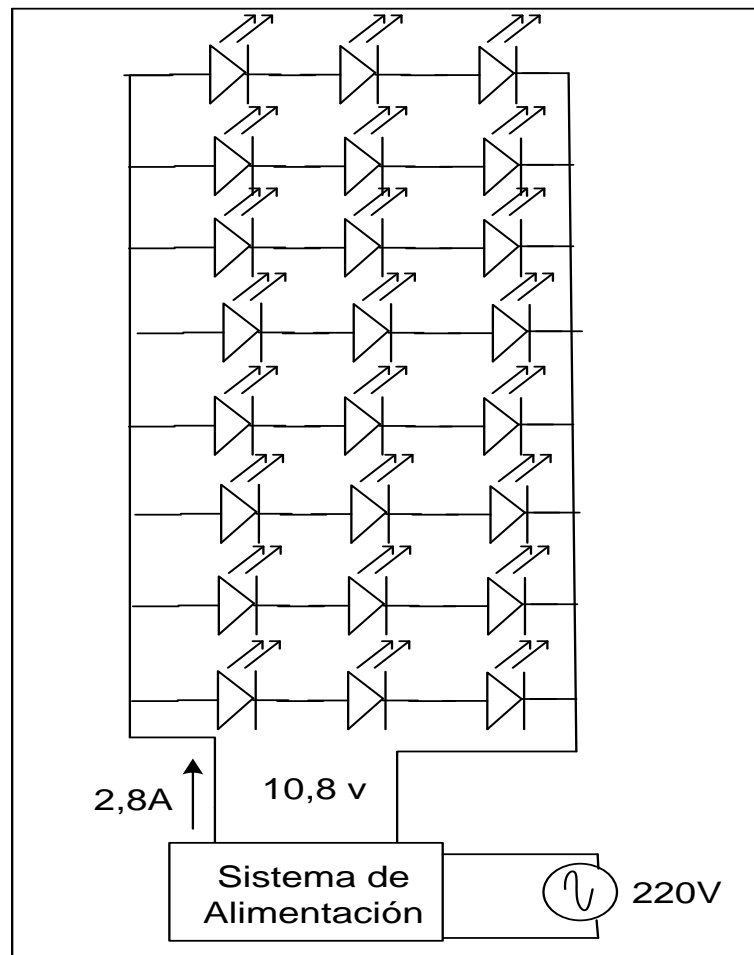
$$V_o = 3 \times V_{\max} = 3 \times 3,6 \text{ V} = 10,8 \text{ voltios}$$

$$I_o = 8 \times I_d = 8 \times 330 \text{ mA} = 2,64 \text{ Amperios}$$

$$P = V_o \times I_o = 10,8 \text{ V} \times 2,64 \text{ A} = 28,5 \text{ Watt}$$

Este resultado nos lleva a establecer que el real valor de la potencia de nuestros LED de 1 watt , es en realidad 1,2 watt y además las medidas tomadas respecto a la corriente de operación, al aumentar de 18 a 24 LED disminuyo a 330 mA, pero esta intensidad de corriente esta dentro del valor típico de operación de los LED de potencia (Ver anexo B).

Por lo tanto para mantener las condiciones de trabajo ideales necesitamos un LED Driver de Input = 220 (Vac) a Output=10,8 (Vdc). El diagrama que se muestra la configuración de la matriz LED en la figura 53:

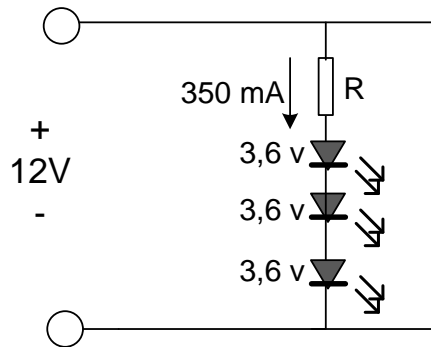


**Figura 53: Configuración de la matriz LED**

Fuente: Elaboración propia (2014)

He aquí nuestro primer problema técnico en alimentación; los Driver para Led's de potencia no está disponibles en nuestro mercado, por lo que presentamos 3 alternativas de alimentación:

**a) Con resistencias limitadoras o Shunt en serie al LED**



**Figura 54: Esquema de alimentación con Resistencia limitadora**

Fuente : Elaboración propia

Calculando el valor de la resistencia limitadora:

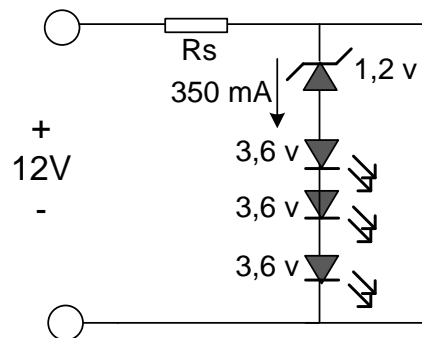
$$R = \frac{12 - (3,6 \times 3)}{0,35} = 3,428\Omega$$

Calculando la potencia necesaria en la resistencia limitadora:

$$P_R = 3,4 \times 0,35 = 2,19 \text{ watt}$$

Para esta alternativa necesitaríamos colocar una resistencia limitadora en serie a cada fila de 3 LED, además se necesitará un sistema de refrigeración o disipador para cada resistencia. En conclusión el sistema presenta cierto grado de inestabilidad.

**b) Con diodo ZENER como regulador**



**Figura 55: Esquema de alimentación con Regulador Zener**

Fuente : Elaboración propia

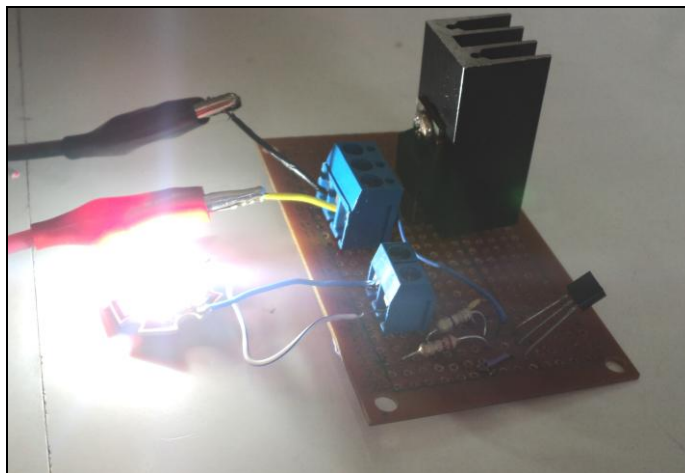
Calculando la potencia del diodo zener :

$$P_{\text{Zener}} = 1,2 \text{ v} \times 0,35 \text{ A} = 0,42 \text{ watt}$$

Esta alternativa, necesitaría una resistencia  $R_s$  que soporte la corriente total de nuestro circuito y por ello tendría que ser de una potencia considerable ya que esta resistencia calentaría fácilmente. Así la alternativa elegida será la siguiente, que consiste en un regulador de corriente mediante un transistor de potencia Mosfet de canal N, que se detalla a continuación.

### c) Con Regulador de corriente mediante MOSFET de potencia

Se implementa una solución basada en un Regulador de Corriente mediante un transistor Mosfet (IRF 530), el cual inicialmente se uso para las pruebas de encendido de los LED anteriormente mencionados en la prueba de encendido para los LED de potencia y así realizar la toma de datos para la obtención de las curvas isolux, esta alternativa se detalla a continuación.



**Figura 54:** Regulador de corriente basado en Mosfet IRF 530  
Fuente propia – fotografía (2014)

### 4.2.3 REGULADOR DE CORRIENTE CONSTANTE

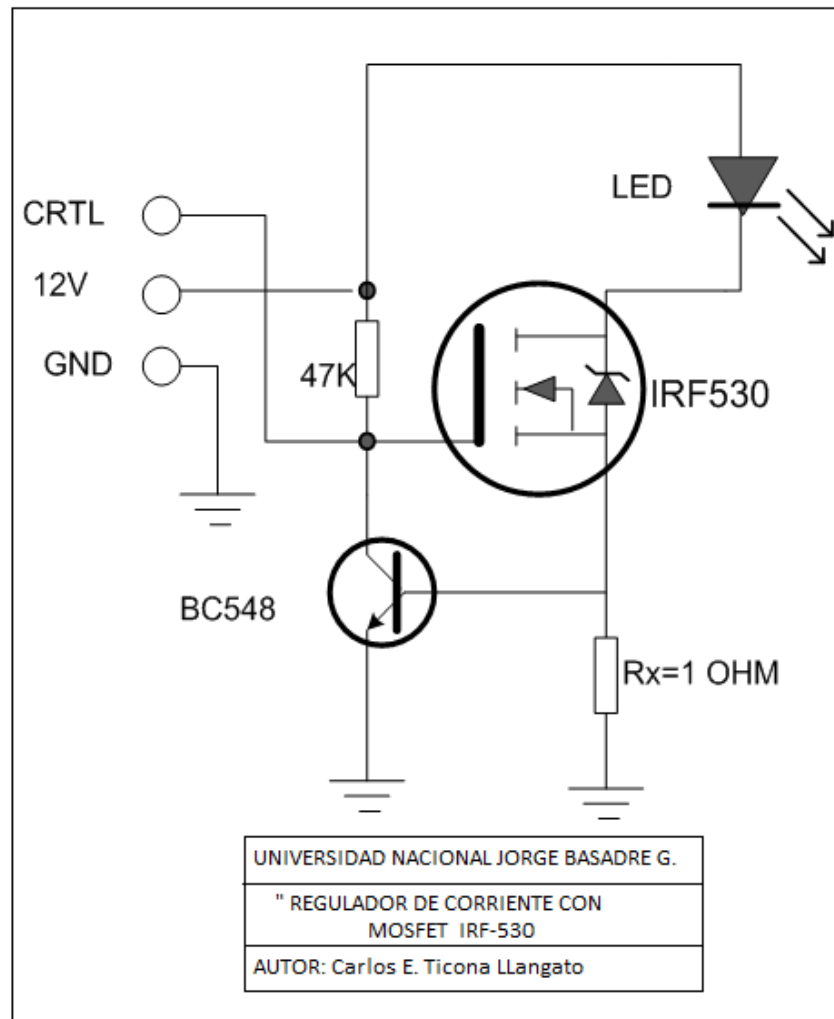
Poniendo atención a la corriente que necesitan los Led (350 mA) y a la tensión de umbral y así aplicar una tensión más alta para que el Led se

encienda. Los reguladores de corriente se pueden hacer de diferentes maneras: con transistores, con MOSFET de potencia o con reguladores lineales de tensión conectados en modo particular. Todos usan el mismo principio de funcionamiento: una resistencia de bajo valor en serie con el led que “mide” la corriente que pasa por ella y controla el circuito que regula la corriente. Nuestro modelo usa un MOSFET (IRF 530) de canal N como regulador por ser eficiente y simple de hacer. El circuito es una típica fuente de corriente constante.

- **PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO**

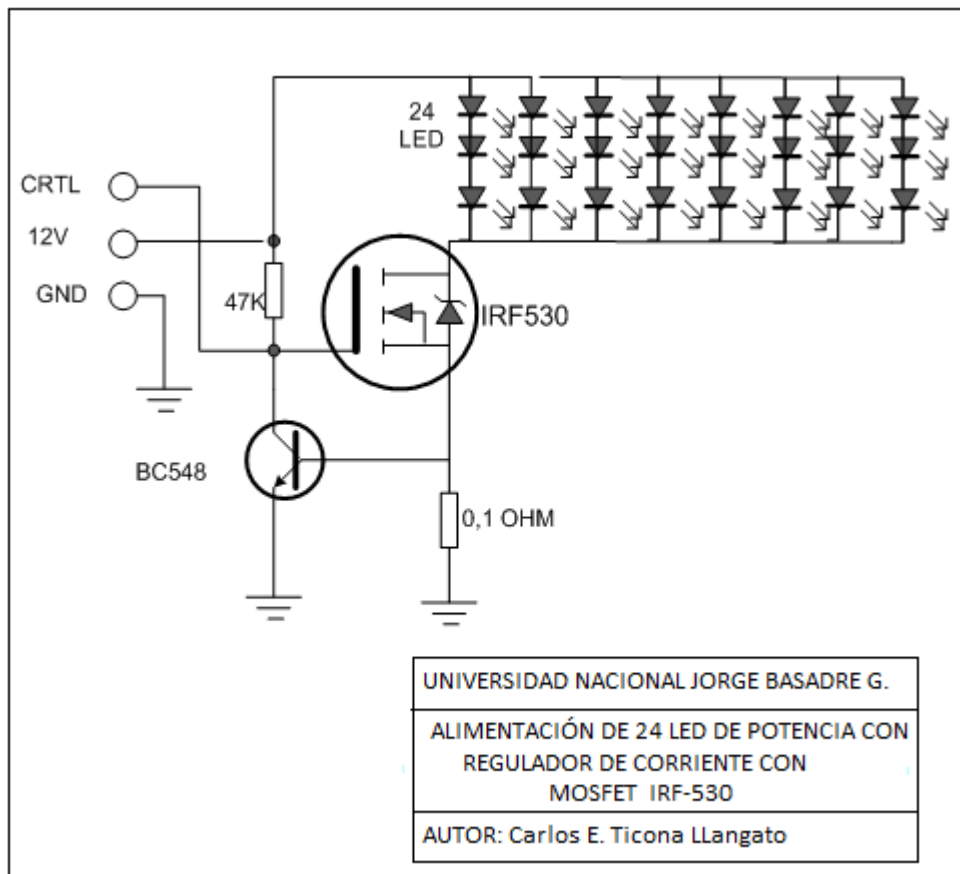
El “gate” del MOSFET recibe una tensión positiva a través de la resistencia de 47 K y por lo tanto conduce. Esta conducción enciende el led y produce una caída de tensión sobre la resistencia en serie “Rx” con el led. Si la corriente aumenta, también aumenta la caída de tensión y si supera la tensión de umbral de la base del transistor (2 Voltios - Anexo C), este último, empieza a conducir disminuyendo la tensión de gate del Mosfet y reduciendo de consecuencia la corriente sobre el led (realimentación negativa). Por lo tanto, la corriente sobre el led depende del valor de la resistencia “Rx” en serie.

Debido a que parte de la potencia consumida se pierde en forma de calor en el MOSFET es necesario agregarle un disipador térmico.



**Figura 55 : Esquemático del circuito regulador de corriente**

Fuente: Elaboración propia (2015)



**Figura 56 : Esquemático del circuito regulador para la matriz de 24 Led**

Fuente: Elaboración propia (2015)

En la figura 56 se muestra el esquema del circuito regulador de corriente final para la matriz de 24 Led (8 filas en paralelo de 3 Led en serie por fila, en este circuito se muestra la resistencia limitadora de 0,1 ohmio la cual se implemento mediante ensayos de “prueba y error” con resistencias en paralelo para así llegar a un valor bajo.

#### 4.2.4 CÁLCULO DE LA POTENCIA EN EL MOSFET Y RENDIMIENTO GENERAL DEL REGULADOR

La potencia disipada en el Mosfet depende de la tensión que cae sobre este y de la corriente que hacemos pasar para alimentar al LED. Por lo tanto, podemos mejorar la eficiencia del circuito disminuyendo la tensión de alimentación.

Para 1 LED de 1W modelo Batwing y según dataSheet lo conectáramos a 3,6V y 350 mA (1 Watt) a nuestro circuito alimentado por 12V, el mosfet disipará una potencia, según la fórmula:

$$P_{fet} = (V_{power} - V_{led} - V_{res}) * I_{led} \quad \dots\dots (18)$$

Donde:  $V_{power} = 12$  voltios (voltaje de alimentación)

$V_{led} = 3,6$  voltios (voltaje en el Led)

$V_{res} = I \cdot R_x = (0,35 \text{ A}) \cdot (1 \text{ ohm}) = 0,35$  voltios

Reemplazando en la ecuación 18

$$= (12V - 3,6V - 0,35V) * 0,35A = 2,8 \text{ Watt}$$

Si usáramos una alimentación de 9 Voltios:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{mosfet}} &= (V_{\text{power}} - V_{\text{led}} - V_{\text{res}}) * I_{\text{led}} \\
 &= (9\text{V} - 3,6\text{V} - 0,35\text{V}) * 0,6\text{A} = 1,76 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Como podemos ver, la potencia disipada por el MOSFET en el segundo caso se reduce bastante. Además, en el primer caso con 12 V, el rendimiento del circuito es más bajo porque de los casi 4 Watt que consume, 2,8 Watt se pierden en forma de calor sobre el MOSFET. De cualquier manera, no siempre se dispone de la tensión justa como en el segundo caso para reducir la potencia disipada por el MOSFET. Si tenemos disponibles solamente 12 V podemos mejorar el sistema conectando 3 LED en serie (dependiendo de la tensión de cada uno). Por ejemplo, al emplear 3 LED de 3,6 V y 350 mA, la ecuación 18 resultaría:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{mosfet}} &= (V_{\text{power}} - V_{\text{led1}} - V_{\text{led2}} - V_{\text{led3}} - V_{\text{res}}) * I_{\text{led}} \\
 &= (12\text{V} - 3,6\text{V} - 3,6\text{V} - 3,6\text{V} - 0,35\text{V}) * 0,35\text{A} \\
 &= 0,29 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Es decir, casi todo el consumo del circuito es usado por los LED mientras que una mínima parte se pierde en el MOSFET. La conclusión es simple: conviene alimentar el circuito con una tensión poco superior a la suma de las tensiones de umbral de los LED conectados.

Mediante este circuito se pudo conseguir alimentar las anteriores pruebas de 1 Led y 3 Led's de potencia

Al alimentar la matriz de 18 LED se empleo una fuente Switching de PC modelo AT 12V – 7,5 A , surgió el segundo inconveniente puesto que necesitamos que la salida de 12 V de estas fuentes sea estable y según requerimientos de estas fuentes solo la salida de 5 Voltios está estabilizada ya que esta es la que alimenta a la tarjeta madre y procesador por tal necesitamos modificar y estabilizar la salida de 12 V.

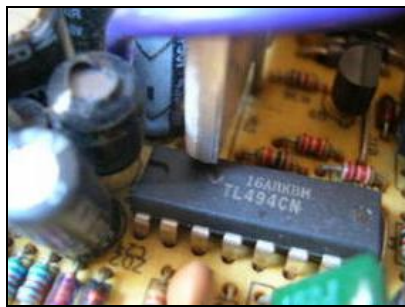


**Figura 57: Fuente de PC AT- de 12V y 7,5 A**  
Fuente: propia FOTOGRAFÍA (2014)

#### 4.2.5 ACONDICIONAMIENTO DE LA FUENTE

Visto que nuestra fuente es una modelo AT de 200 W la cual nos proporciona 12 V – 7.5 A cuya placa es sencilla en comparación a las fuentes de última generación, por lo que ubicar el controlador PWM dentro de la placa de la fuente fue sencillo. En este caso nos encontramos un TL 494. Encendiendo la fuente para así medir la tensión presente en la patilla 1 del controlador. En este caso, he encontrado 2,5 V (en realidad 2,48 V debido a tolerancias de componentes). Podemos ver en el diagrama de bloques presente en la hoja técnica del integrado TL 494 (ver anexo I ) que los terminales 1 y 2 son las entradas de un comparador. En la patilla 1 nos vamos a encontrar una tensión de realimentación tomada de la línea de 5V; en la práctica y tras probar en 3 fuentes diferentes siempre he encontrado referencias de 2,5 V ó 5 V. En la patilla 2, que es la otra entrada del comparador, nos vamos a encontrar la tensión de referencia, tomada a partir de la salida de 5 V presente en la patilla 14 del controlador, que en la práctica va a ser exactamente la misma tensión que habremos medido en la patilla 1; en realidad es el propio controlador el que se encarga de mantener igualadas estas tensiones, ya que si la tensión de la línea de 5 V cae por un aumento de consumo, el controlador sube el duty-cycle de la señal de conmutación para que esta tensión suba y se iguale con la referencia, y si la tensión sube por una disminución de consumo, el controlador baja el duty-cycle para que la tensión baje y vuelva a igualarse con la de referencia. En

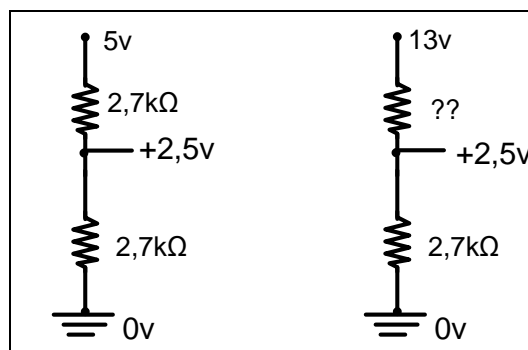
esto consiste la regulación de una fuente conmutada (switching), y nuestra misión es conseguir que la señal de realimentación presente en la patilla 1 del controlador proceda de la salida de 12 V en lugar de la de 5 V.



**Figura 58: Vista del controlador TL494 en nuestra fuente PC.**

Fuente: propia (2014)

La idea es muy simple: Mediante un divisor resistivo debemos obtener una señal de realimentación para el comparador; y este divisor debe ser tal que, cuando la tensión proporcionada por la línea de 12 V sea la deseada, la tensión de salida del divisor sea igual a la referencia presente en la patilla 2.



**Figura 59 : Esquemas del divisor de tensión aplicados.**

Fuente : Elaboración propia

En la imagen anterior podemos ver dos redes de realimentación compuestas por simples divisores de tensión resistivos. La primera es muy similar a la de una fuente de PC que tenga tensión de referencia de 2.5 Voltios, la segunda es la que deberíamos poner en su lugar. En teoría, sin más modificación que cambiar una resistencia podríamos obtener 12 Voltios en la línea de 5 Voltios; pero en la práctica esto nos causaría serios problemas, así que lo que haremos es anular la realimentación existente y proporcionarle al controlador una realimentación nueva desde la salida de 12 Voltios.

Vamos a tomar un valor fijo para una de las resistencias y calcularemos la otra. El valor debe ser relativamente alto para no desperdiciar corriente pero suficientemente bajo como para que la impedancia de entrada del comparador no nos influya en el resultado, 2 K $\Omega$  puede ser un valor adecuado. Ahora calcularemos el valor de la otra resistencia para obtener la tensión deseada, que en este caso van a ser 13 V, este valor es para tratar aprovechar unos vatios más a la fuente, que nos vendrán muy bien si queremos más adelante ampliar más LED en nuestra matriz.

Supongamos en primer lugar una tensión de referencia de 2.5 V, que es la que nos hemos encontrado en este caso:

$$R2 = [(V_{out} * R1)/V_{ref}] - R1 \quad \dots\dots\dots (19)$$

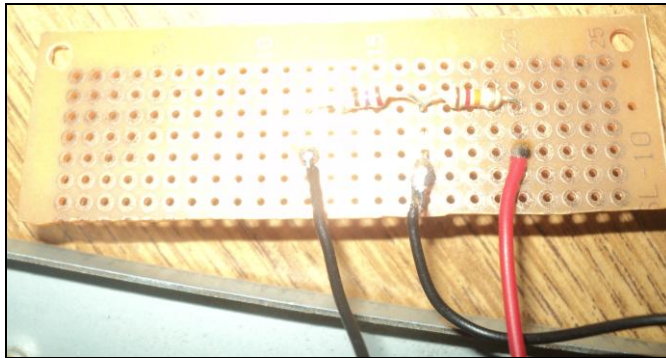
$$R2 = ((13 * 2700) / 2.5) - 2700 = 11340 \text{ ohmios}$$

En la práctica vamos a usar una resistencia de 12 KΩ, que es el valor comercial más cercano.

Es decir si la tensión de referencia es de 2.5 V usaremos una resistencia de 12 KΩ en el lado positivo (+12V en la placa aunque obtendremos 13v aproximadamente) y otra de 2 KΩ en el lado de masa.

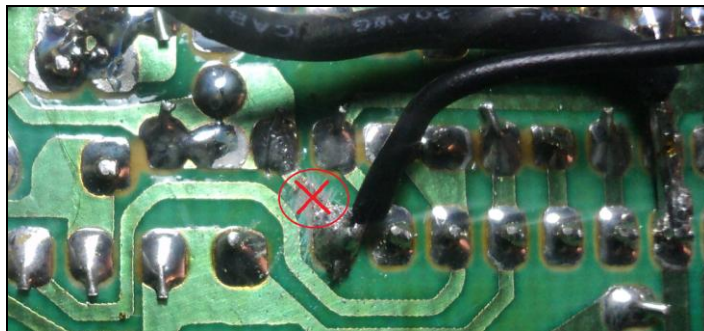
Una vez que hemos adquirido las resistencias necesarias desmontamos la placa del chasis y eliminamos todos los cables de salida que no vamos a usar, en este caso nos hemos quedado solo con 3 amarillos (+12 V) y 3 negros (masa). Dejamos varios amarillos y varios negros porque son de una sección demasiado fina como para que uno solo soporte la intensidad que puede proporcionarnos la fuente. Como alternativa podríamos eliminarlos todos y sustituirlos por dos cables de sección adecuada

Ahora preparamos nuestra red de realimentación según la figura 60 (divisor de tensión) la cual lo monte sobre una placa acondicionada



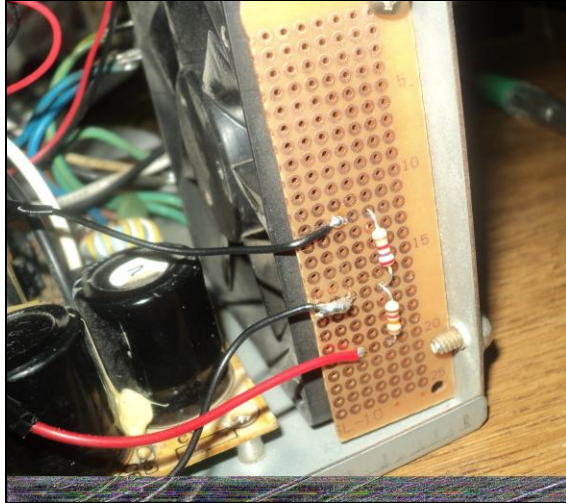
**Figura 60: vista del divisor de tensión armado.** (Fuente: propia)

Ahora debemos desmontar la placa de su chasis para localizar el pin 1 del controlador. Una vez identificado el pin 1, cortaremos la pista que lo une a la realimentación de la línea de 5 V.



**Figura 61: corte en pista de Pin1 y soldando nuevo cable para la realimentación a 12V.** Fuente: propia

Ahora unimos mediante un cable el pin1 del controlador con el punto medio de nuestra red de realimentación. Tenemos que asegurarnos de que las soldaduras sean buenas, siendo especialmente cuidadosos con la del pin1.



**Figura 62: Divisor de tensión montado.**

Fuente: propia – fotografía (2014)

La realimentación de divisor de tensión se monto sobre un costado del ventilador de la fuente por ser un lugar estable y seguro. Finalmente encendemos la fuente y comprobamos que se obtuvo una salida de 13 V la cual va a mantener estable cuando le pidamos corriente a nuestra fuente, ahora si tenemos una fuente estabilizada en 13 voltios.

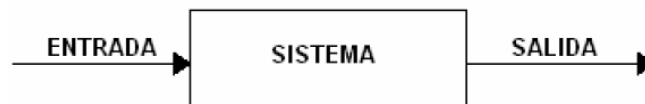


**Figura 63: Voltaje de tensión de nuestra fuente estabilizada modificada.**

Fuente: fotografía propia

#### **4.2.6 SISTEMA DE CONTROL DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED**

Recordemos que el problema de control consiste en seleccionar, para un sistema dado, una entrada que haga responder a la planta de una manera deseada, esto es, que se obtenga una salida con cierta característica <sup>[8]</sup>.



**Figura 64: Esquema de un Sistema**

Fuente: B.C. Kuo (1996)

- **Sistema de control en LAZO ABIERTO**

En este control la salida ni se mide ni se realimenta para compararla con la entrada. Los sistemas de control de lazo abierto son sistemas de control en los que la salida no tiene efecto sobre la señal de acción de control. Es decir un sistema de control en **lazo o bucle abierto** es aquél en el que **la señal de salida no influye sobre la señal de entrada**. La exactitud de estos sistemas depende de su calibración, de manera que al calibrar se establece un relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada. El diagrama de bloque de un sistema en lazo abierto es:



**Figura 65: Esquema de un control lazo abierto**

Fuente: B.C. Kuo, (1996)

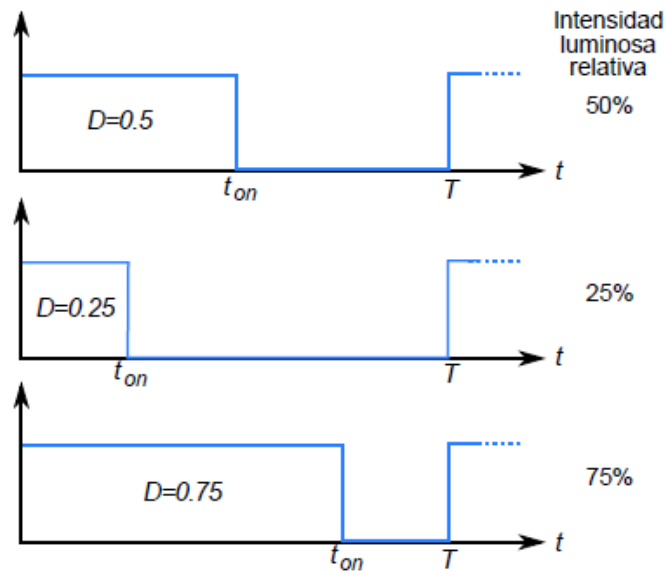
Ahora nuestra misión es el control de la intensidad luminosa de nuestro sistema de Iluminación, el cual se decidió implementarlo mediante una técnica de control PWM (modulación por anchura de pulso) por ser sencilla y practica para este caso de control de intensidad de un fuente luminosa, este control será de lazo abierto por lo dicho anteriormente, la salida no se realimenta a la entrada, solo se toma valores del medio

ambiente (Lux) para así modificar en dos niveles (medio y alto) la intensidad de nuestra luminaria Led .

- **Teoría PWM (Modulación por Ancho de Pulso)**

Por lo general, todo sistema que procesa información binaria para controlar un proceso analógico requiere una etapa de entrada analógico – digital y una etapa de salida digital –analógica (convertidores ADC y DAC). Para reducir costos en los diseños que no requieren alta resolución en la etapa de salida, es posible sustituir el DAC por un algoritmo de Modulación por Ancho de Pulsos (**PWM** - Pulse-Width Modulation). Una *unidad PWM* permite asignar cierta duración de tiempo en alto o en bajo a un dato digital en bits que se considera salida de la etapa procesadora. Lo anterior se logra conectando un contador y un circuito comparador.

*Por lo expuesto, PWM* es la técnica propuesta para el control de la intensidad luminosa de los LED Power, en ella se usa una señal frecuencia fija con pulso periódico. El ancho del pulso es variado entre cero y el máximo valor posible (periodo de la señal,  $T$ ). La razón entre el tiempo de duración del pulso ( $ton$ ) y la máxima duración posible del pulso (ciclo de trabajo) define la intensidad luminosa del LED (Figura 66).

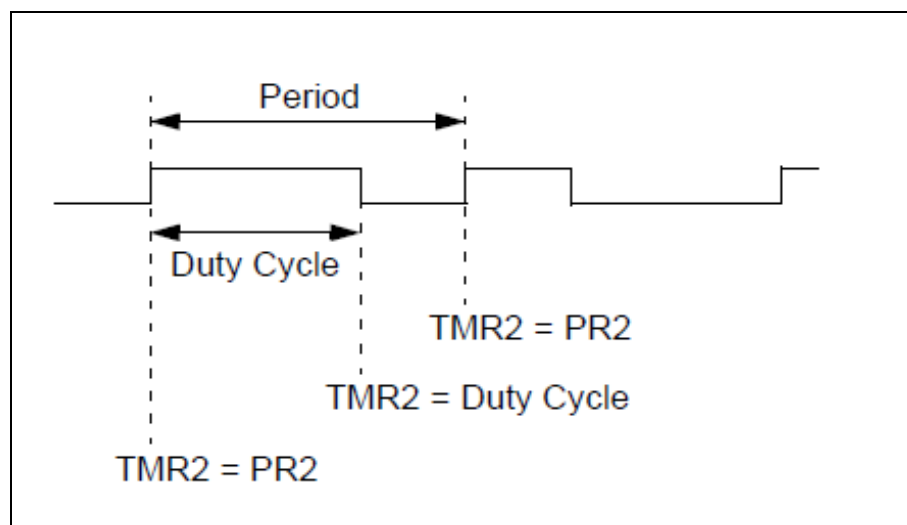


**Figura 66: Modulación por Ancho de Pulso (PWM)**

El control PWM es uno de los tres posibles modos de operación del módulo CCP de los microcontroladores PIC16F873. Una señal PWM es una forma de onda digital binaria de una determinada frecuencia y ciclo de trabajo (duty cycle) variable. La potencia que consume la carga es directamente proporcional a la duración del pulso.

El pin CCP1 del microcontrolador produce una señal PWM de hasta 10 bits de resolución, lo que significa que se tienen hasta 1024 opciones de configuración del ciclo de trabajo. Este pin tiene que configurarse como salida por medio del registro TRISB.

Una señal PWM (figura 67) se caracteriza por una base de tiempo (período) y un tiempo durante el cual la salida tiene un nivel alto (ciclo de trabajo o Duty Cycle). La frecuencia es el inverso del período.



**Figura 67: Señal PWM**

Fuente: Elaboración propia

Mediante esta técnica variamos el ancho de pulso de la señal y esto nos permite entregar una potencia determinada a un dispositivo en nuestro caso a la matriz de LED. El módulo PWM del micro genera una onda cuadrada con una frecuencia dada (típicamente bastante alta, por ejemplo 10 KHz). Luego nosotros podemos ir cambiando el ciclo de trabajo (% del periodo en ON) de la señal.

- **El módulo PWM de un Microcontrolador PIC**

El parámetro fundamental de una modulación PWM es la frecuencia (o su inverso el periodo) de modulación. En los PIC dicha frecuencia es programable (con ciertas limitaciones) en base a varias variables:

- La frecuencia del oscilador principal  $F_{osc}$
- El pre-scaler (PRE) o divisor previo del timer TMR2 que puede tomar los valores 1:1, 1:4 o 1:16
- El registro PR2 (0-255) asociado al timer TMR2

La frecuencia PWM responde a la fórmula:

$$F_{pwm} = F_{osc} / [4 \times PRE \times (PR2+1)] \dots\dots\dots (20)$$

o lo que es lo mismo, el periodo del PWM será el inverso de dicha frecuencia:

$$T_{pwm} = [(PR2+1) \times 4 \times PRE] \times T_{osc} \dots\dots\dots (21)$$

El valor máximo del divisor previo PRE es 16 y el de (PR2+1) es 256. Por lo tanto la frecuencia PWM más baja posible será  $F_{osc}/16384$ . Para un oscilador de 20 MHz tenemos una  $F_{pwm}$  mínima de 1.22 KHz (20000/16384).

El módulo PWM usa el timer TMR2, por lo que éste no podrá usarse como temporizador de propósito general mientras se esté usando PWM. Si que es posible usarlo (y ahorrarnos gastar otro timer) si queremos hacer saltar una interrupción cada cierto tiempo. El postscaler del TMR2 no tiene efecto sobre la frecuencia PWM, pero si influye sobre cuando salta (si está habilitada) la correspondiente interrupción (TMR2\_flag). Si por ejemplo el post-scaler es 1:16 entonces la interrupción del TMR2 saltará cada 16 periodos del PWM.

Lo primero que tenemos que hacer para usar el módulo PWM es habilitarlo indicando que va a usarse como generador de una onda PWM, ya que dicho módulo es compartido con otras funciones (Capture/Compare). La forma de hacerlo es poner a 11XX los 4 bits menos significativos del registro **CCP1CON**. Solo los PIC18 suelen tener 2 módulos PWM por lo que existe un segundo registro **CCP2CON**. Podemos habilitar uno o los dos módulos independientemente. Sin embargo, como ambos usan el registro PR2 y el timer TMR0 como base de tiempos, la frecuencia programada será la misma en ambos módulos.

Lo que si es posible variar por separado es el ciclo de trabajo (duty cycle o DC) de cada módulo. El ciclo de trabajo se codifica con un número de hasta 10 bits (0-1023) almacenado de la siguiente forma:

- **CCPR1L** : 8 bits más significativos del ciclo de trabajo.
- **CCP1CON.DC1B0 y DC1B1** (bits 5 y 6 de CCP1CON): Guardan los 2 bits menos significativos.

La programación del % ON del segundo módulo es similar pero usando los registros CCP2CON y CCPR2L. Con los 10 bits dados el ciclo de trabajo se podrá especificar en principio con 1024 niveles (0 corresponde a 0% y 1023 al 100%). Sin embargo, los valores válidos pueden ser menores que los 1024 posibles.

La razón es que el valor de DC (duty\_cycle) determina el tiempo que la señal se mantiene alta (ON) de la forma:

$$T_{on} = [ DC \times PRE ] \times T_{osc} \dots\dots\dots (22)$$

Recordando que el tiempo total del periodo es (ecuación 21) :

$$T_{pwm} = [ (PR2+1) \times 4 \times PRE ] \times T_{osc}$$

Comparando ambas fórmulas y siendo obvio que el tiempo total ON no puede exceder el tiempo total del periodo tenemos que el valor máximo de DC es  $(PR2+1) \times 4$ . Por lo tanto, aunque podemos dar a DC cualquier valor entre 0 y 1023 está claro que en realidad debemos limitarnos al rango  $[ 0, (PR2+1) \times 4 ]$ . Valores más altos van a hacer que  $T_{on} > T_{pwm}$ , o lo que es lo mismo, la señal PWM se mantiene alta todo el rato (100%).

En resumen, para mantener la máxima resolución (10 bits) a la hora de especificar DC es preciso usar PR2=255. Para una cierta frecuencia del oscilador Fosc podemos optar por tres frecuencias con la máxima resolución:

**Tabla 21** : Frecuencias para el PWM

Registro PR2	PRE (divisor previo de TMR2)	F_pwm	Para Fosc = 20 MHz
255	1	Fosc / 1024	19.75 KHz
255	4	Fosc / 4096	4.88 KHz
255	16	Fosc / 16384	1,22 KHz

Fuente: picfernalía.blogspot.com (2012)

Frecuencias por debajo de Fosc/16384 no son posibles porque los valores de PR2 y PRE están ya en su máximo posible.

Frecuencias por encima de Fosc/1024 son posibles pero a costa de bajar PR2 y por lo tanto disponer de menor resolución para el ciclo de trabajo. Por ejemplo si aceptamos trabajar con 8 bits (valores de DC de 0 a 255) podemos llegar (según ecuación 20) a una frecuencia de:

$$F_{\text{pwm}} = F_{\text{osc}} / [\text{PRE} \times 4 \times (\text{PR2} + 1)] = F_{\text{osc}} / (1 \times 256) = 78 \text{ KHz}$$

para un oscilador de 20 MHz.

La razón por la que para frecuencias muy altas no podemos especificar con tanta precisión el ciclo es que el periodo empieza a hacerse muy pequeño. En el caso anterior ( $F_{pwm} = F_{osc}/256$ ) es obvio que en un ciclo del PWM sólo entran 256 ciclos del oscilador. Como es imposible que el micro haga algo entre ciclos de reloj, está claro que sólo puede bajar la línea del PWM en 256 puntos como mucho (esto es, con una resolución de 8 bits).

Valores de frecuencias intermedios son también posibles, pero de nuevo van a exigir  $PR2 < 255$ . Por ejemplo para conseguir 10 KHz con un oscilador de 20 MHz

$$F_{osc} / F_{pwm} = 20000/10 = 2000 = 4 \times PRE \times (PR2+1) \rightarrow PRE \times (PR2+1) = 500$$

lo que puedo conseguir con  $PRE=2$  y  $PR2 = 249$ . Pero entonces el valor del ciclo de trabajo (DC) tiene que moverse en el rango 0 a  $4(PR2+1) = 1000$ . Con  $DC=1000$  ya alcanzamos un 100% del ciclo de trabajo y valores superiores no tendrán ningún efecto extra.

En cuanto al pin de salida al que se manda la señal PWM, usualmente la salida PWM1 va al pin RC2 y la del PWM2 al RC1 (nota el cambio 1-2).

En algunos dispositivos (consultar datasheet) es posible cambiar la salida de PWM2 a otro pin mediante un bit de configuración.

Para nuestro oscilador de 40 MHz:  $PR2 = [F_{osc}/F_{PWM} \times PRE \times 4] - 1$

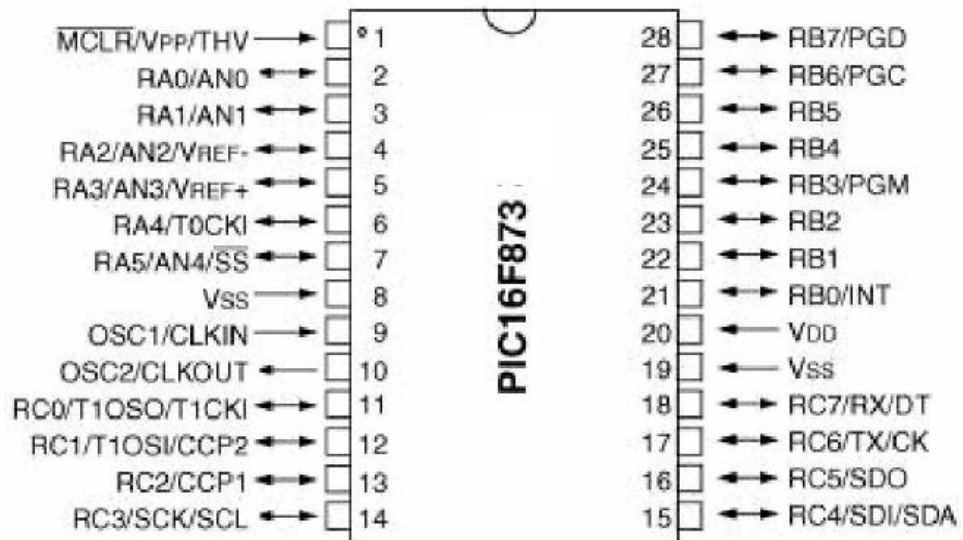
$$188 = [40\,000\,000 / F_{PWM} \times 16 \times 4] - 1$$

Resultando una frecuencia de oscilación de PWM de:  $F_{PWM} = 3,3 \text{ KHz}$

- **Elección del Tipo de Microcontrolador PIC**

Se eligió el microcontrolador PIC 16F873 de nivel medio por su bajo costo y puesto que cuenta módulos CCP1 y CCP2 (capturador, comparador y PWM) en el pin 12 y 13 suficiente para la tarea de control la cual será proporcionar una señal de pulso PWM señal modulada en amplitud de pulso. Cada módulo de CCP posee un registro de 16 bits que se puede usar de tres maneras posibles:

- Registro de 16 bits para capturar el valor del temporizador al producirse un evento (captura)
- Registro de 16 bits para comparar su valor con el valor del temporizador TMR1, pudiendo provocar un evento cuando se alcanza el valor del contenido en este registro (comparador)
- Registro de 10 bits para el ciclo de trabajo de una señal PWM.



**Figura 68: Encapsulado DIP de 28 pines del PIC 16f873**

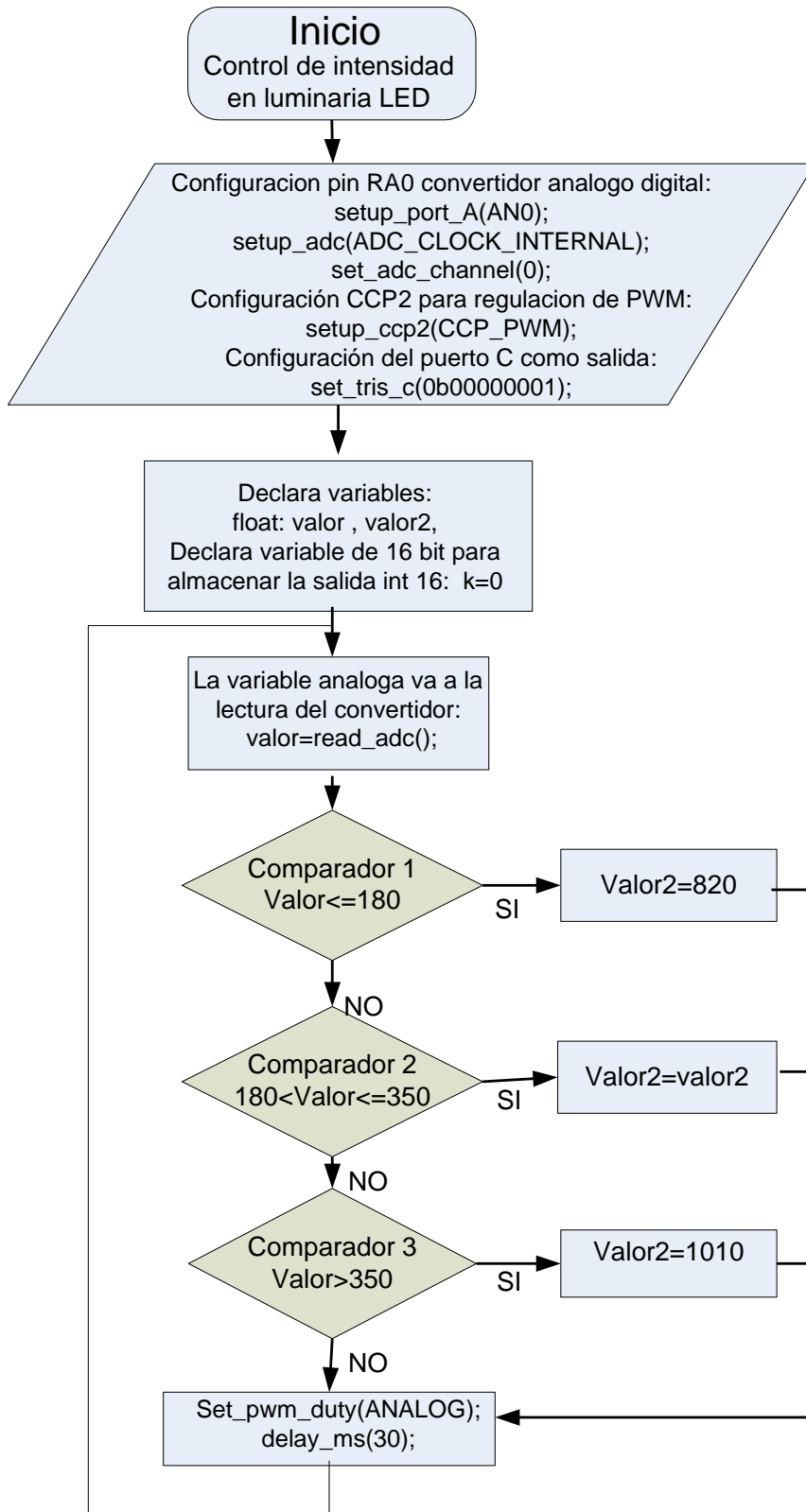
Fuente: Datasheet de 16F87X (2014)

- **Programa C en el Compilador CCS para microcontroladores**

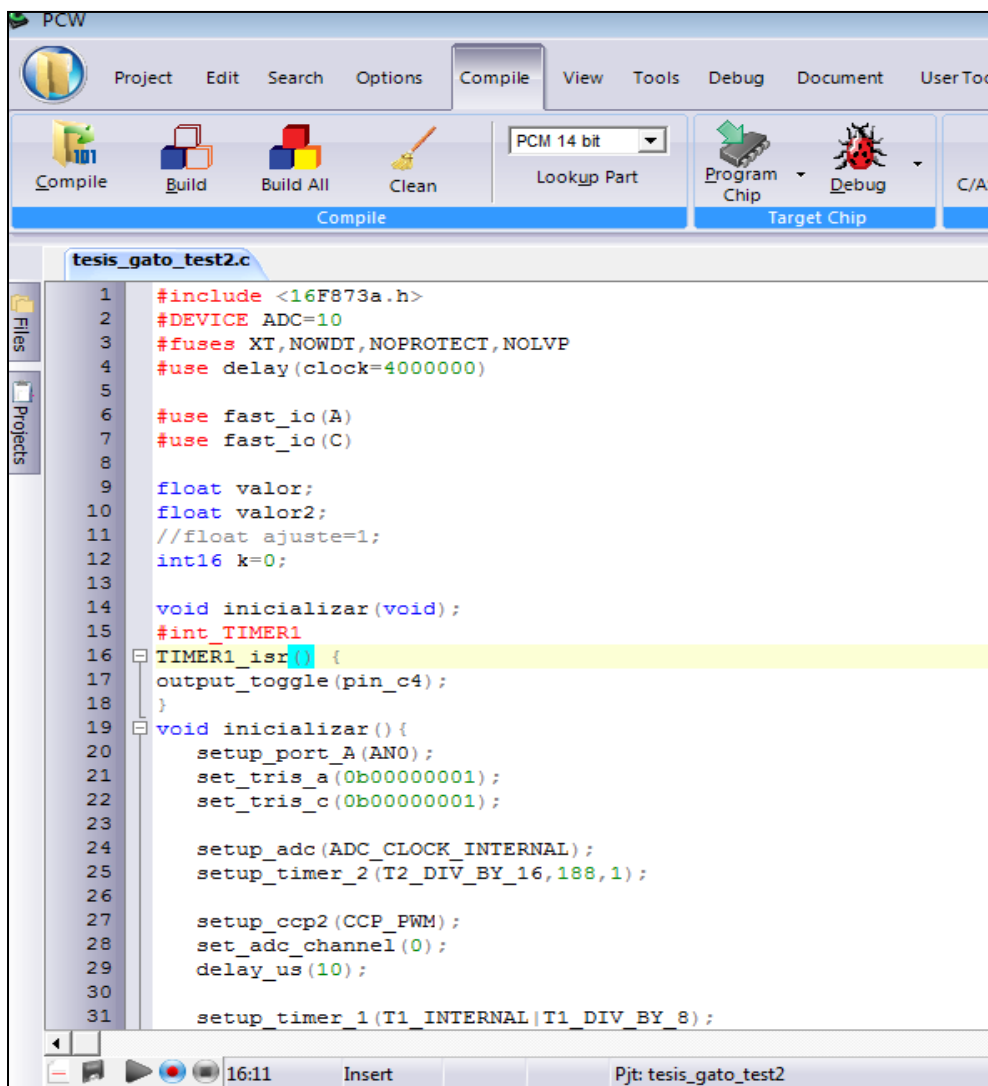
Para la construcción del programa se empleó el compilador de CCS (con código en lenguaje C), y las librerías del Microcontrolador 16F873, el cual se ilustra en las figuras 70 y 71, capturadas de la misma pantalla de interface del compilador de CCS.

En la figura 69 se presenta el diagrama de flujo del programa principal que controla la intensidad de nuestros LED, el cual está basado en el PWM del módulo CCP2 del microcontrolador 16F873

Figura 69: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PRINCIPAL



En la figura 70 se muestra parte del código fuente del programa, donde se puede observar la resolución de 10 bits (ADC =10) por lo que nuestra señal tendrá 1023 divisiones o valores para ser tomados.



```
1 #include <16F873a.h>
2 #DEVICE ADC=10
3 #fuses XT, NOWDT, NOPROTECT, NOLVP
4 #use delay (clock=4000000)
5
6 #use fast_io(A)
7 #use fast_io(C)
8
9 float valor;
10 float valor2;
11 //float ajuste=1;
12 int16 k=0;
13
14 void inicializar(void);
15 #int_TIMER1
16 TIMER1_isr {
17     output_toggle(pin_c4);
18 }
19 void inicializar() {
20     setup_port_A(AN0);
21     set_tris_a(0b00000001);
22     set_tris_c(0b00000001);
23
24     setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
25     setup_timer_2(T2_DIV_BY_16, 188, 1);
26
27     setup_ccp2(CCP_PWM);
28     set_adc_channel(0);
29     delay_us(10);
30
31     setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_8);
```

**Figura 70: Código en CCS – para el control PWM de intensidad**

Fuente: Elaboración propia (2015)

La figura 71 muestra que la iluminación corresponderá a un valor de duty (ciclo de trabajo) de 1010 (98,7 % respecto a 1023) y que el otro nivel de intensidad se adoptará mediante el valor 820 que corresponderá a un 80 % de la iluminación de nuestra lámpara.

```
}  
void main() {  
    inicializar();  
  
    while(true){  
        valor=read_adc();  
        if (valor<=180){valor2=820;}  
        if (valor>180&&valor<=350){valor2=valor;}  
        if (valor>350){valor2=1010;}  
  
        k=valor2;  
        k=-k+1023;  
  
        set_pwm2_duty(k);        //aumento  
        delay_ms(30);  
    }  
}
```

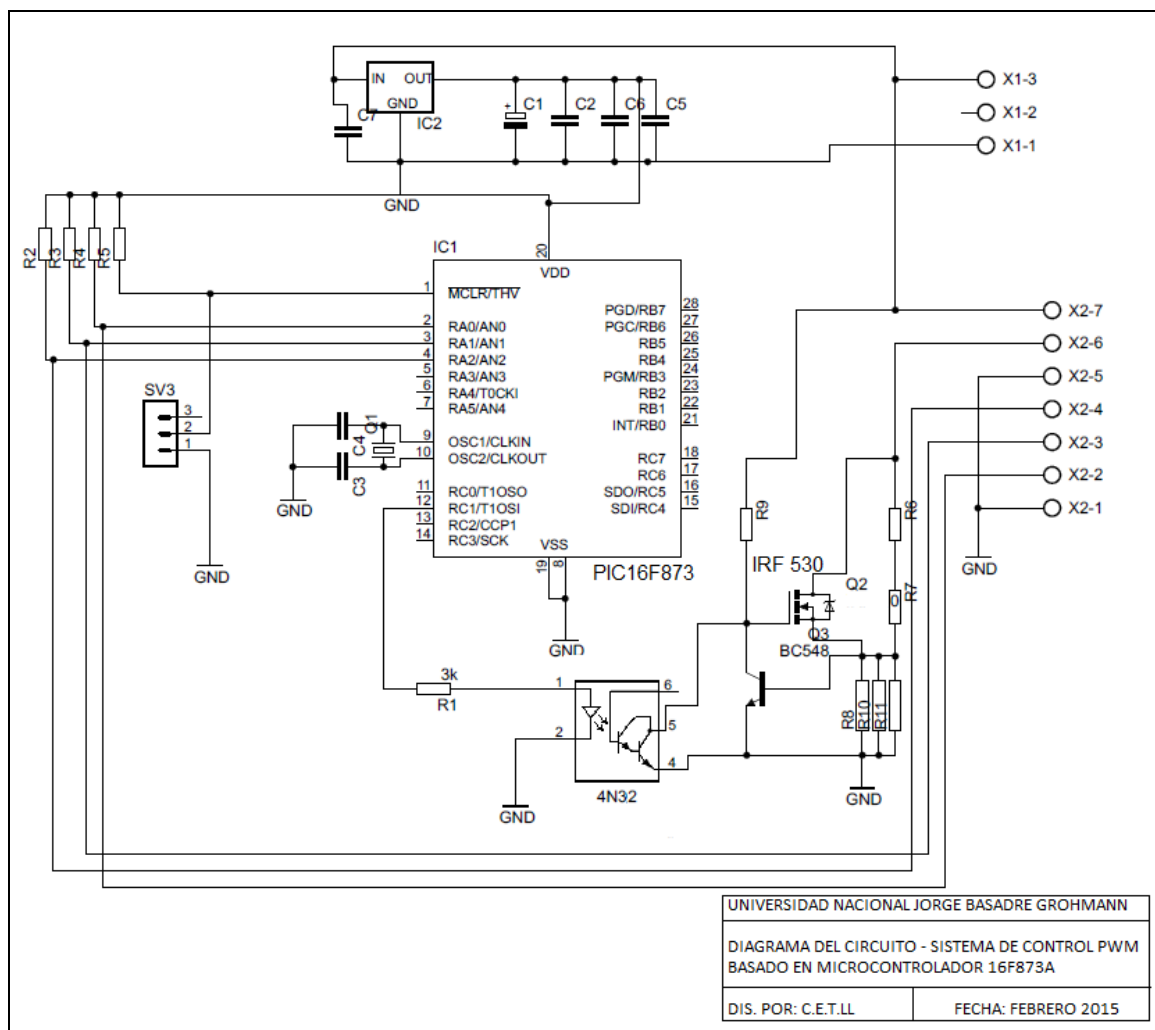
Figura 71: Código – parte de comparación – bucle While

Fuente: Elaboración propia (2015)

- **Descripción del circuito de control de Intensidad:**

El sistema regulador de intensidad, cuyo funcionamiento consiste en colocar un potencial positivo en el “gate” del MOSFET IRF 530 mediante una resistencia de 47 K y así ponemos al MOSFET en estado para conducir entre sus pines Source y Dream, produciendo la caída de tensión en nuestro sistema de resistencia R8, R10 y R11 las cuales se ubican en serie con los LED, encargándose así de delimitar la corriente que pase por los LED, si la corriente aumenta, también aumenta la caída de tensión y si supera la

tensión de umbral de la base del transistor BC 548 , este último, empieza a conducir disminuyendo la tensión de gate del mosfet y reduciendo de consecuencia la corriente sobre el led (realimentación negativa). Por lo tanto, la corriente sobre el led, depende del valor de la resistencia resultante del paralelo de las resistencias R8, R10 y R11.



**Figura 72: Esquemático del circuito de Control de Intensidad**

Fuente: Elaboración propia (2015)

Debido a que parte de la potencia consumida se pierde en forma de calor en el MOSFET es necesario agregarle un disipador térmico y/o un sistema de enfriamiento mediante un ventilador.

El sistema basa su control en un Microcontrolador PIC 16F873A el cual recibe la señal análoga del sensor LDR conectada a X2-2 y X2-1 del esquemático visto en la figura 72 , ingresando así diferencias de voltaje al PIN A0 del PIC, el cual según código CCS activa el conversor A/D de dicho PIN, para así procesar la señal y aplicarla en nuestro control de tipo PWM (modulación por ancho de impulso) , este sistema es de tipo serial y regula la corriente que pasa por los LED conectados a través de nuestro mosfet de canal N (IRF530). Hemos dicho que cuando encendemos el circuito, el transistor no trabaja y el "gate" del mosfet recibe una tensión positiva a través de la resistencia de 4,7 K que lo hace conducir. Esta conducción enciende el led y produce una caída de tensión sobre las resistencias en paralelo R8, R10 y R11 que se encuentra en serie con el LED. Si la corriente aumenta, también aumenta la caída de tensión en dicha resistencia superando la tensión de umbral de la base del transistor (aproximadamente de 0,6V). Por lo tanto, este último, empieza a conducir disminuyendo la tensión de gate del mosfet y reduciendo de consecuencia la corriente sobre el LED (realimentación negativa). R8,R10 y R11 son resistencias de 5 watts

ya que el esfuerzo realizado por el paso de la corriente genera un calor relativamente alto.

Por lo tanto, la corriente sobre los LED depende del valor de la resistencia en serie. Es importante notar que la entrada de control trabajaba inicialmente en modo invertido, puesto que la etapa de aislamiento se realizaba mediante un transistor BJT colocado en la puerta del mosfet de canal N (IRF 530) es decir, cuando la tensión de la entrada de control es positiva, los LED se apagan mientras que cuando es cercana a masa (menor de 0,6V) los LED se encienden.

En una segunda etapa de desarrollo se incorporo en lugar del BJT a la puerta un optoacoplador MOC 4N32 el cual consta internamente de un Led emisor y un sistema transistores Darlington mediante el cual la señal de control trabajará ahora en modo directo, así ingresa el pulso de control a la puerta GATE de nuestro Mosfet IRF 530 .

Debe notarse que se ha dispuesto resistencias en paralelo R8, R10 y R11 para regular la corriente en el caso sea necesaria una corriente que no logramos obtener con una sola resistencia o también si no tuviéramos en casa la resistencia del valor adecuado. La fórmula para 3 resistencias en paralelo es la siguiente:

$$R = \frac{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2}{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}$$

Si usamos tres resistencias del mismo valor la fórmula se reduce a  $R/3$ , es decir, el valor de una de ellas dividido por tres. Por ejemplo si, usáramos tres resistencias de 1,5 ohmios, el valor resultante será de 0,5 ohmios.

#### 4.2.7 ETAPA DE IMPLEMENTACION DE LA LÁMPARA LED

Para la implementación de la luminaria, se utilizara como ya hemos indicado una fuente switching de computadora PC (reciclable) modelo AT estabilizada a 12V - 220(Vac). Los valores para el circuito son los mismos vistos en la parte 5.2.2 del circuito luminaria LED y alternativa de alimentación:

$$V_o = 3 \times V_{\max} = 3 \times 3,6 \text{ (V)} = 10,8 \text{ voltios}$$

$$I_o = 8 \times I_d = 8 \times 330 \text{ (mA)} = 2,64 \text{ Amperios}$$

$$P = V_o \times I_o = 10,8 \text{ V} \times 2,64 \text{ A} = 28,5 \text{ Watt}$$

Estos valores se obtiene en función a las variables mostradas en la hoja técnica (datasheet) del LED. Lo que tendremos que agregar en el circuito es

una resistencia "R" de carga para dejar los LED con 10,8 (Vdc), cuyo valor es obtenido mediante el paralelo de las resistencias R8, R10 y R11 vistos en el circuito regulador y en la caída de potencial en el mosfet (en voltios) :

$$V_o = 3.V_{led} + V_{mosfet} + I_o.R \quad \dots (23)$$

Si los valores son:

Voltaje de alimentación :  $V_o = 13$  voltios

Voltaje en cada Led :  $V_{LED} = 3,6$  voltios

Corriente deseada a través de los Led:  $I_o = 0,35$  Amperios

Reemplazando estos valores en esta ecuación (23) :

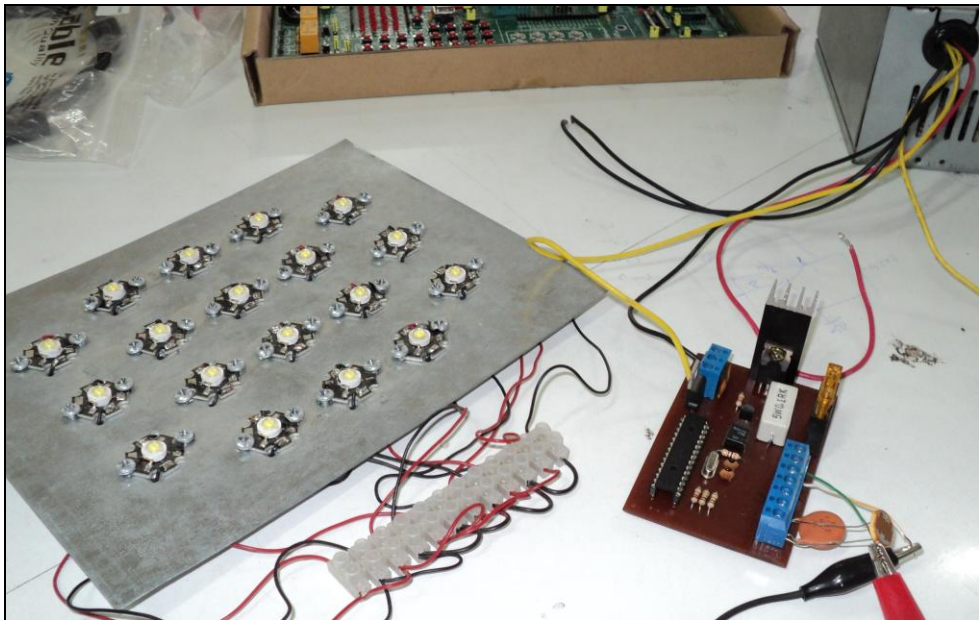
$$13 = 3.(3,6) + (2) + (0,35).R$$

Y despejando, el valor de R es igual a 0,57 ohmios.

- **Implementación practica.**

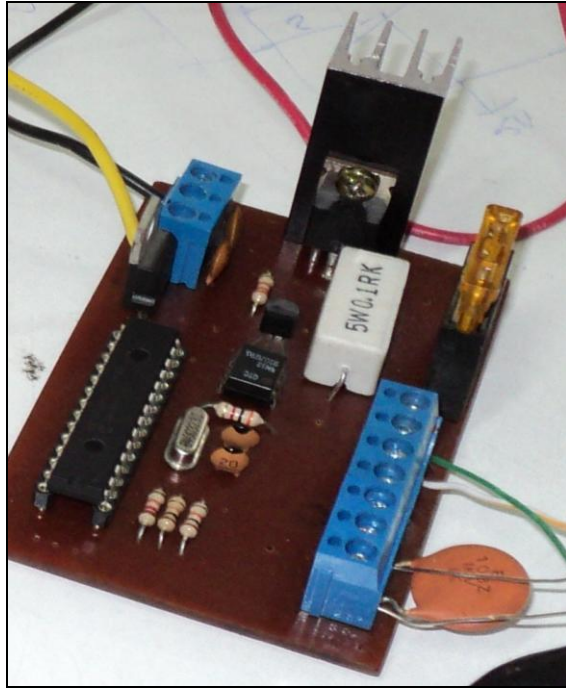
Sobre una placa de aluminio de 23 x 21 cm y 2mm de espesor se procede a montar los 24 LED en arreglos de 3 x 8, como se vio anteriormente en la figura 52, Para mejorar la disipación del calor se aplicó entre el LED y la superficie de aluminio una pasta térmica que mejora la transmisión del calor. Quedando como se mostrará en la figura 73.

Luego se conecta una resistencia de 1 ohm (6 Watt) entre las conexiones de los ánodos y los dispositivos de la salida de la fuente de alimentación, como se muestra en la figura 74:



**Figura 73: Conexiones del circuito.**

Fuente: propia – fotografía. (2014)



**Figura 74: Circuito controlador de Intensidad**

Fuente: propia – fotografía (2014)

Como observamos en la figura 74, se incorporó un sistema de protección mediante un fusible de 3 A y un condensador en paralelo con el sensor (fotoresistencia de alta sensibilidad) para ayudar a eliminar los posibles ruidos en la señal de entrada del sensor.

## CAPITULO 5

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 5.1 ANALISIS DEL ALUMBRADO ACTUAL DE LA CIUDAD.

Para realizar un muestreo de las luminarias actuales de la ciudad fue necesario ir a lugares un poco extremos de la ciudad para que no contaminaran la muestra con otras fuentes de luz. Además de contar con un instrumento como el LUMINOMETRO PR-382 (en escala lux) instrumento estandarizado y calibrado según norma ISO 9001 /ANSI/ISO/ASQ Q9001 (ver anexo E), el cual posee una resolución mejor al Luxometro Lx-101 empleado anteriormente.



**Figura 75 :LUMINOMETRO PR-382 .**

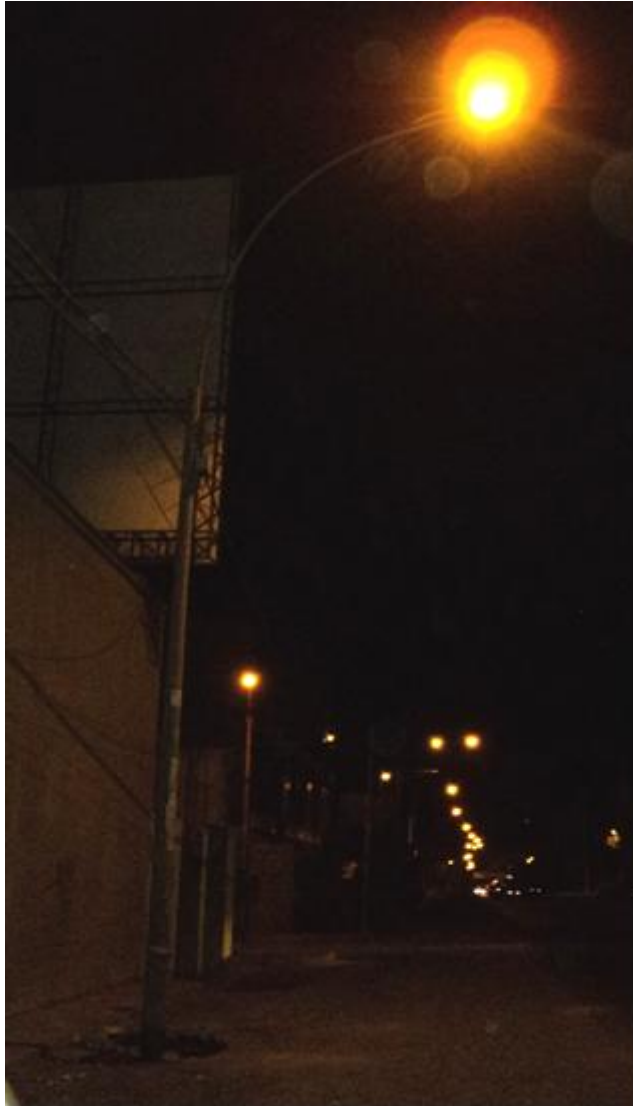
Fuente: fotografía propia. (2015)

En la figura 80 se toma medidas bajo el foco en una luminaria que se encuentra en la salida sur de la ciudad, esta es de 7,5 lux a nivel del suelo y 12,4 lux a nivel de los ojos (estatura 1,70m). Esta medida está poco afectada por la luminaria lateral, ya que existe una distancia considerable y la zona es de poco tránsito por vehículos.



**Figura 76: Luminaria - Villa Panamericana de Tacna (cerca al Hospital de la Solidaridad).** Fuente: fotografía propia (2015)

En la figura 81 se toma bajo el foco en una luminaria que se encuentra ubicada en la avenida Jorge Basadre – Sur , cerca al restaurant Perla negra, y la iluminaria medida es de 8,7 lux a nivel de la pista y 12,6 lux a nivel de los ojos (a 1,70 metros de altura) aproximadamente horas 10:30pm.



**Figura 77: Alumbrado peatonal, av. Jorge Basadre Sur (cerca restaurant Perla Negra).**

Fuente: fotografía propia (2015)

En la figura 82 se toma medida bajo el foco en una luminaria peatonal de la Av. Miraflores frente al local de la ciudad Universitaria de la UNJBG, y la

iluminancia medida es de 6,8 lux a nivel del suelo, esta medida está poco afectada ya que al frente no existe lámpara y las lámparas laterales están ubicadas relativamente lejos.



**Figura 78: Alumbrado peatonal, av. Miraflores frente UNJBG**

Fuente: propia – fotografía. (2015)

Las muestras obtenidas anteriormente están dentro de la norma CIE 136 (Ver extracto de norma en anexo A) como se puede apreciar en la tabla 22.

**Tabla 22: Niveles de iluminación según el tipo de tránsito  
(CIE 136-2000)**

<b>Zona</b>	<b>E media (iluminación media)</b>	<b>E mínima (iluminación media)</b>
P1	20	7.5
P2	10	4
P3	7.5	1.5
P4	5	1
P5	3	0.6
P6	1.5	0.2
P7	No aplicable	No aplicable

Fuente: cie.co.at /Publications (2014)

Descripción de la carretera:

P1: Carreteras de gran importancia.

P2: Uso intenso por ciclistas y peatones.

P3: Uso moderado por ciclistas o peatones.

P4: Uso menor por ciclistas o peatones únicamente relacionados con propiedades adyacentes.

P5: Uso menor durante las horas nocturnas por los peatones y los ciclistas relacionados exclusivamente con las propiedades adyacentes.

P6: De muy poco uso durante las horas nocturnas por los peatones y ciclistas relacionados exclusivamente con las propiedades adyacentes.

P7: Donde solo se requiere una guía visual proporcionada por la luz directa de las luminarias.

Ahora procedemos a realizar un mapa de 8 x 7 metros para obtener la curva isolux, como existe simetría, solo se toman valores de un lado de la calle, Los valores obtenidos son los mostrados en la tabla 23. (el montaje se realizo a una altura de 6 metros del suelo)

**Tabla 23: Mapa iluminancias.**

metro	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	3.6	4.6	5.9	7.5	7.7	7.5	5.9	4.6	3.6
1	3.9	4.8	6.2	7.1	7.8	7.1	6	4.8	3.9
2	3.6	4.8	6.2	7.1	7.6	7.1	6.2	4.5	3.3
3	3.4	4.4	5.6	6.6	6.9	6.6	5.6	4.4	3.4
4	2.7	4.1	4.8	5.3	5.7	5.3	4.8	4.1	2.7
5	2.4	3.1	3.9	4.1	4.4	4.1	3.9	3.1	2.4
6	1.9	2.8	3.1	3.5	3.5	3.5	3.1	3.8	1.9
7	2.1	2.3	2.5	2.8	2.9	2.8	2.5	2.3	2.1

Fuente: Elaboración propia (2014)

Los valores de la tabla se ingresan al programa Matlab , como se muestra en la figura 79, para obtener la curva isolux de contorno, como muestra la figura 80, y la curva isolux en 3D en la figura 81:

```

Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.
>> tablafin

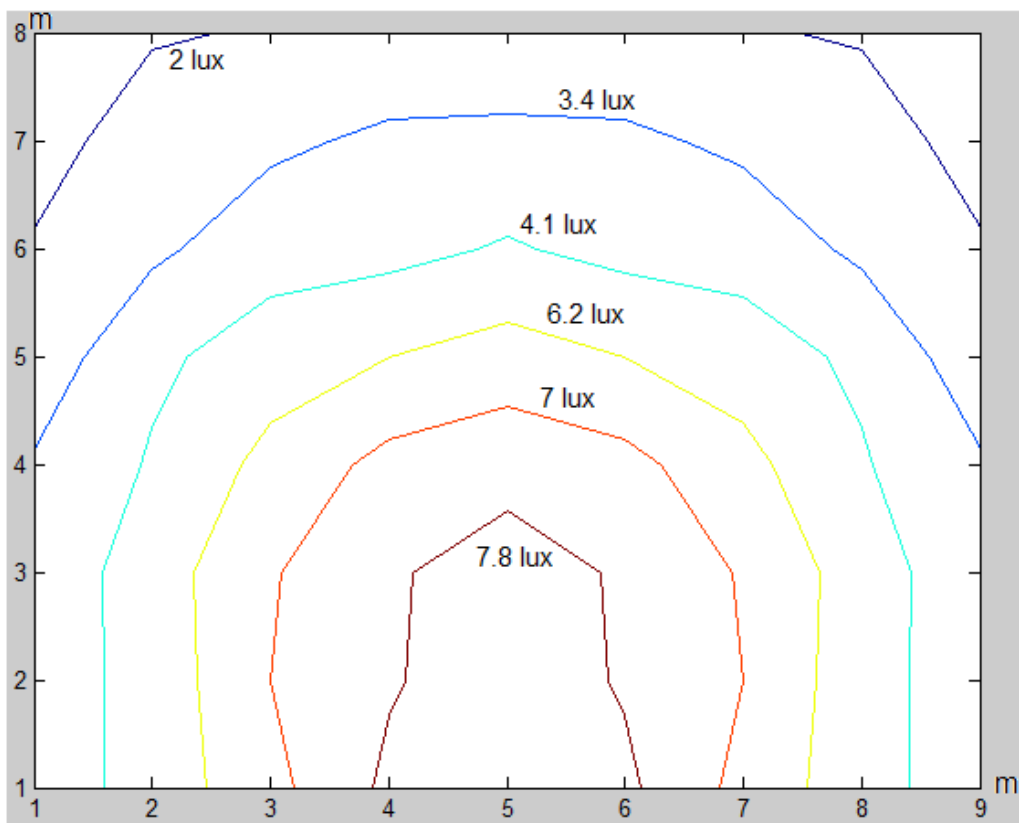
tabFIN =

    3.6000    4.6000    5.9000    7.5000    7.7000    7.5000    5.9000    4.6000    3.6000
    3.9000    4.8000    6.2000    7.1000    7.8000    7.1000    6.0000    4.8000    3.9000
    3.6000    4.8000    6.2000    7.1000    7.6000    7.1000    6.2000    4.5000    3.3000
    3.4000    4.4000    5.6000    6.6000    6.9000    6.6000    5.6000    4.4000    3.4000
    2.7000    4.1000    4.8000    5.3000    5.7000    5.3000    4.8000    4.1000    2.7000
    2.4000    3.1000    3.9000    4.1000    4.4000    4.1000    3.9000    3.1000    2.4000
    2.1000    2.8000    3.1000    3.5000    3.5000    3.5000    3.1000    2.8000    2.1000
    1.9000    2.3000    2.5000    2.8000    2.9000    2.8000    2.5000    2.3000    1.9000

```

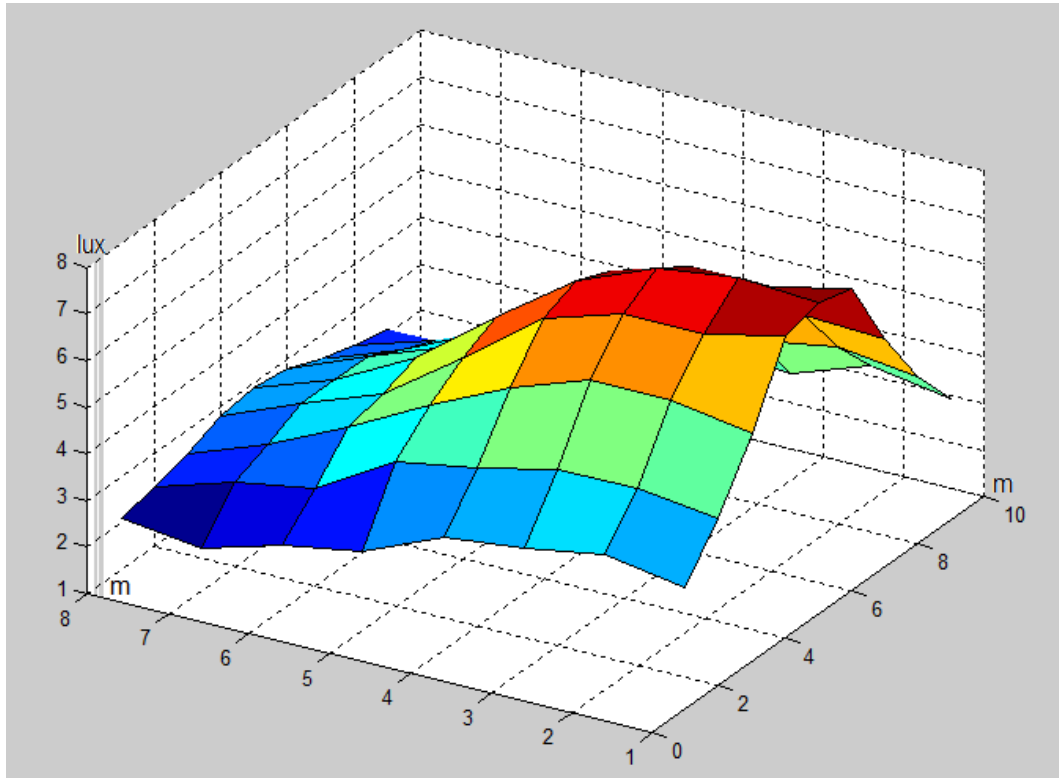
**Figura 79 : Matriz en la ventana de comando de Matlab.**

Fuente: Elaboración propia (2014)



**Figura 80 : Curva isolux de contorno metro vs Lux .**

Fuente: Elaboración propia (2014)



**Figura 81: Curva isolux en 3D metro vs Lux.**

Fuente : Elaboración propia.

En la figura 80, se indica que la curvas de colores indican iluminaciones según colores: Azul 1.9 lux , amarillo 4.8 lux , rojo 7.1 lux y café 7.5 lux. Así el valor máximo obtenido de iluminación en la tabla 23 resultó ser de 7.8 lux.

Así esta luminaria clasifica como del tipo P3, que en la Tabla 22 (Niveles de iluminación según el tipo de transito - CIE 136-2000) y en su descripción será para el “Uso moderado por ciclistas y peatones”.



**Figura 82: Luminaria Led ensamblada.**

Fuente propia – fotografía (2015)

## **5.2 CARACTERISTICAS DE LA LÁMPARA LED EN LA ILUMINACION VIAL**

A continuación se presenta una ficha con las características finales de la luminaria. Se considera un gabinete convencional, pero sin reflector ni refractor.

### **Aplicaciones:**

- Avenida y calles
- Áreas comerciales
- Áreas de estacionamiento

- Pasajes
- Iluminación de veredas.
- Áreas de exteriores en general.

#### **Características constructivas:**

- Gabinete de aluminio.
- Soporte de LED en aluminio.
- Mica externa transparente.
- Sello hermético anti-polvo y humedad.
- 24 LED de alto poder de 1W.

#### **Características eléctricas.**

- Conexión directa a 220 (Vac).
- Consumo 28.5 W.
- Fuente o Driver de 13 Voltios hasta 3 Amperios.
- Vida útil de 50 000 Horas.
- 8 Lux a 6 metros.

### 5.3 CARACTERISTICAS COMPARATIVAS ENTRE NUESTRA LÁMPARA LED Y LAS LÁMPARAS DE TIPO CONVECIONAL

En la tabla 24, se realiza la comparación de las características entre la lámpara implementada con tecnología LED y las lámparas con tecnología convencional como son la lámpara de vapor de mercurio (125 W) y la de Vapor de Sodio a alta presión (70 W), estas lámparas son de tipo P3 (para iluminar calles de uso moderado por peatones), al igual que nuestra lámpara implementada con tecnología LED.

**Tabla 24: Comparación Lámpara LED y lámparas Convencionales**

LÁMPARAS	TECNOLOGÍA LED	VAPOR DE MERCURIO	VAPOR DE SODIO ALTA PRESIÓN
Potencia de consumo (P)	28,5 Watt	125 Watt	70 Watt
Flujo luminoso ( $\Phi$ )	6 500 lm	6 200 lm	6 620 lm
Eficiencia ( $\Phi / P$ )	228 lm/W	50 lm/W	90 lm/W
Tono - luz emitida	blanco	blanco	Amarillo-dorado
Vida Operativa	50 000 horas	16 000 horas	25 000 horas
Consumo mes (8 hrs/día)	6,84 Kw.h	30 Kw.h	16,8 Kw.h
Costo por KW-mes	s/. 1.23	s/. 5.40	s/. 3.024

Fuente : Elaboración propia. (2015)

Los datos presentados en la tabla comparativa anterior se obtienen mediante Anexo I y realizando los siguientes cálculos :

- **CÁLCULO DEL FLUJO LUMÍNICO (LÚMENES) DE NUESTRA LUMINARIA LED**

Mediante la ecuación 17 (página 109), calculamos la iluminación de nuestra matriz LED a un metro de altura.

$$E_H = \frac{2(47,66)}{1^2} (0,849 + 2(0,479) + 0,3154 + 2(0,22614) + 0,179 + 2(0,1338) + 0,1038 + 2(0,0838))$$

$$E_H = \frac{2(47,66)}{1^2} (3,29268) = 313,98 \text{ lux}$$

Para nuestra área de placa 23 cm x 21 cm = 483 cm<sup>2</sup> = 0,0483 m<sup>2</sup>

Así el Flujo Luminoso será :  $\Phi = \frac{E}{A} = \frac{313,98}{0,0483} = 6500,62$  lúmenes

- **CALCULO DEL CONSUMO POR 8 HORAS DE ENCENDIDO DIARIO**

Con una potencia de 28,5 Watt la energía consumida por día (8 horas de encendido) , será: 28,5 x 8 = 228 Watts por día

Es decir : 0,228 kW/día

Mensualmente el consumo será : 0,228 x 30 días = 6,84 KW-h

[26] Y Aproximadamente, la tarifa y costo por generación y transmisión por Kilowatt hora es:

s/. 0.18 por cada 1 Kw-h

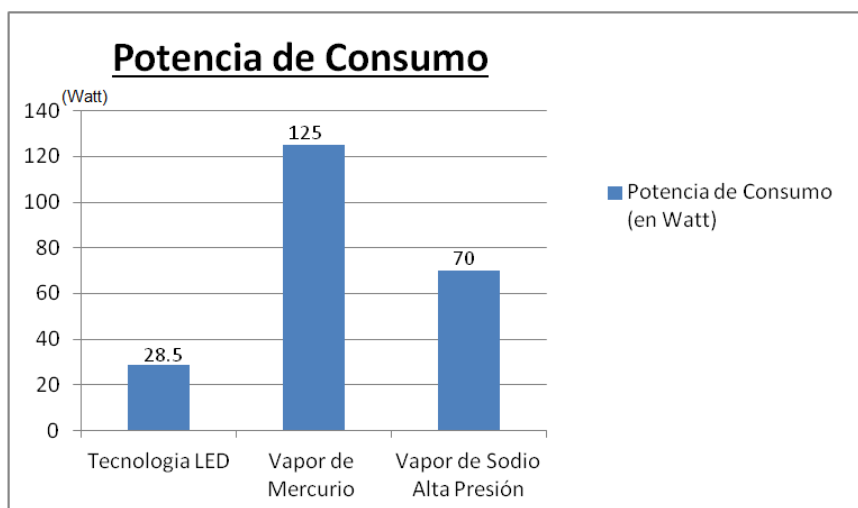
Por lo que nuestro consumo mensual en soles será: s/. 1.2312

## 5.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Centraremos nuestra discusión en cuatro aspectos importantes vistos en la tabla 24, como: potencia de consumo, flujo luminoso, eficiencia y consumo por mes

### a) Respecto a la potencia de consumo

En la figura 83, observamos que nuestra lámpara implementada con tecnología LED consume una potencia de 28,5 watts, mientras que las lámparas de vapor de Mercurio y de vapor de sodio a Alta Presión consumen 125 watt y 70 watt, respectivamente.



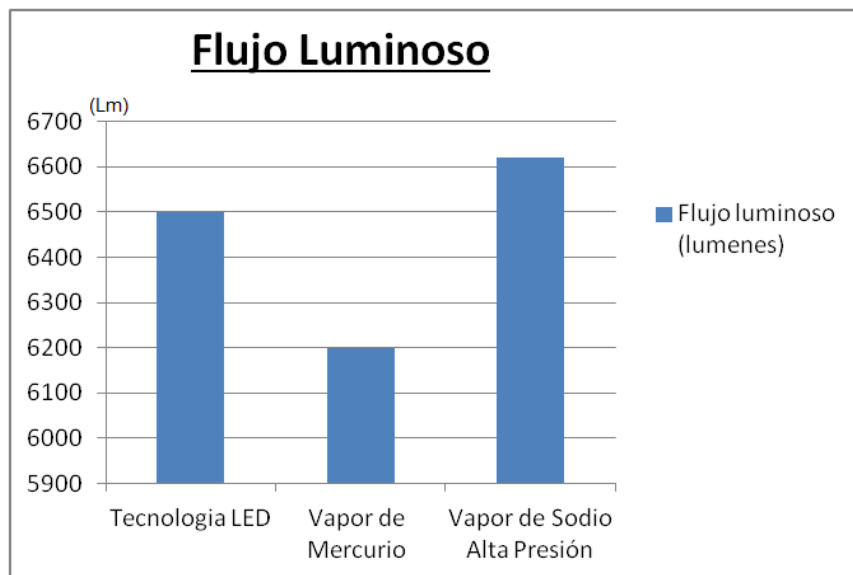
**Figura 83** : Comparación de la Potencia de consumo (en Watts)

Fuente : Elaboración propia. (2015)

Así nuestra lámpara aproximadamente consume solo un 22% del consumo de una lámpara de vapor de Mercurio y un 40% de la lámpara de vapor de sodio.

**b) Respecto al Flujo luminoso**

En la figura 84, se observa que nuestra lámpara implementada con tecnología LED produce un flujo luminoso de 6 500 lúmenes, mayor que el flujo producido por la lámpara de vapor de mercurio de 6 200 lúmenes.



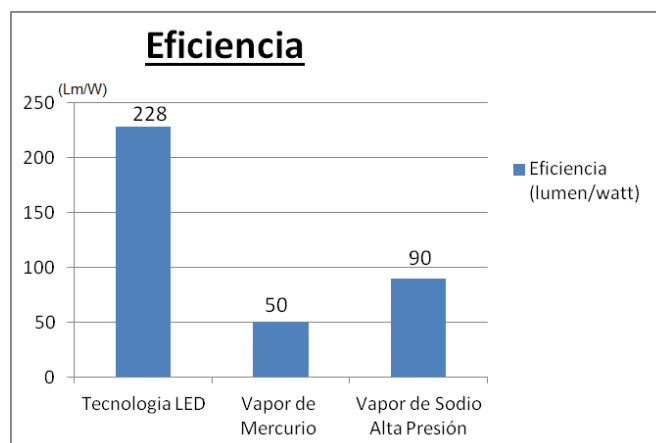
**Figura 84** : Comparación del flujo luminoso (en lúmenes)

Fuente : Elaboración propia. (2015)

Mientras que en comparación con el flujo producido por la lámpara de vapor de sodio a alta presión la cual tiene un flujo de 6 620 lúmenes, estamos con menor flujo, aunque podemos decir a nuestro favor, que el flujo obtenido por nuestra lámpara LED de 6 500 lúmenes es un valor muy cercano al flujo producido por la lámpara de vapor de sodio a alta presión.

**c) Respecto a la eficiencia medida en lumen por watt**

La figura 85 muestra, que nuestra lámpara implementada con tecnología LED posee una eficiencia de 228 lumen/watt, mientras que las lámparas de vapor de Mercurio y de vapor de sodio a Alta Presión presentan eficiencia de 50 lumen/watt y 90 lumen/watt, respectivamente.



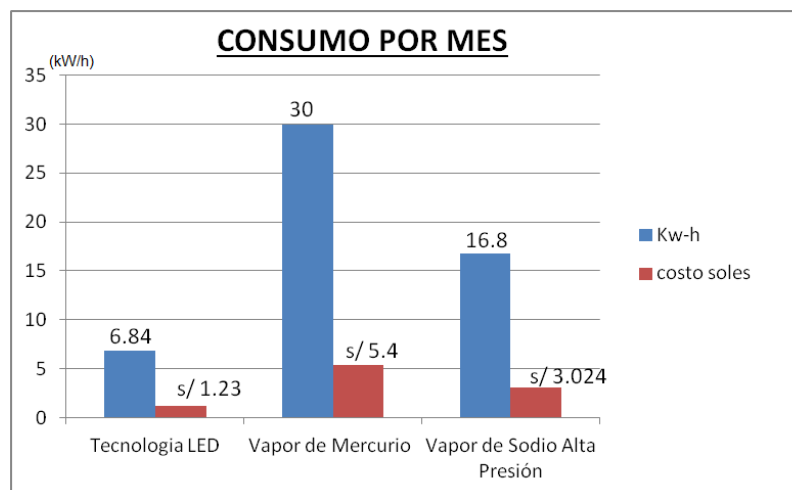
**Figura 85 :** Comparación de la eficiencia (Lumen/watt)

Fuente : Elaboración propia. (2015)

Por lo cual concluimos que nuestra lámpara LED presenta mejor eficiencia, es decir una mayor producción de flujo luminoso por watt de consumo

#### d) Respecto al Consumo por mes

La figura 86 muestra, que nuestra lámpara implementada con tecnología LED consumiría 6.84 kW-h (kilowatt hora) por mes, lo que representaría s/.1.23 nuevos soles de costo, mientras que las lámparas de vapor de Mercurio y de vapor de sodio a Alta Presión presentan un consumo y costo de 30 Kw-h que representa s/.5.4 y 16.8 Kw-h que representa s/.3.024, respectivamente, Así nuestra alternativa LED es claramente más rentable .



**Figura 86** : Comparación del consumo por mes en kW-h (kilowatt hora) y costo

Fuente : Elaboración propia. (2015)

## **CONCLUSIONES**

### **CONCLUSION GENERAL**

- En la presente tesis se muestra cada uno de los componentes que influyen en el desarrollo de un sistema de lámpara con tecnología LED para el alumbrado público, y cuyo análisis lumínico se realizó mediante matrices en Matlab, así los resultados obtenidos nos indican que se consiguió implementar una lámpara de alumbrado público del tipo P3 (ver anexo A), de uso moderado por ciclistas y peatones con una iluminación de 8,2 lux que con armadura en la práctica resultó 7,8 lux a una altura de 6 metros, y con una eficiencia de 228 Lumen/Watt que es superior frente a las lámparas de vapor de mercurio con 50 Lumen/Watt y de Vapor de Sodio con 90 Lumen/Watt, de la misma categoría P3.

### **CONCLUSIONES ESPECÍFICAS**

- Después de conocer los distintos tipos de LED que existen en el mercado y mediante la utilización del método de “Curvas Isolux”, se puede concluir que la mejor alternativa de iluminación vial LED sería el LED de alto poder, puesto que nos ofrece una mejor forma del flujo luminoso, cumpliendo así con los criterios de elección, porque tiene un mayor

ángulo de vista (120°) y una luminosidad suficiente para cumplir con las normas establecidas por CIE (Control Internacional de Iluminancia).

- Respecto a la eficiencia, durante el desarrollo de esta tesis se logró comprobar la alta eficiencia que la tecnología LED presenta, puesto que el sistema de luminaria implementada obtuvo una eficiencia lumínica de 228 Lumen/watt, es decir, que con solo 28,5 Watt de consumo eléctrico, se logró 65 000 lúmenes de flujo luminoso, se comprobó también la importancia de la altura de la luminaria con respecto al suelo, ya que la ecuación de iluminaria esta directamente relacionada con la inversión de la altura al cuadrado. También durante la implementación se comprobó la necesidad de tener una buena alimentación para los LED con una fuente de 13 voltios DC, puesto que los LED necesitan tener una corriente constante de 350 mA para mantener una iluminancia fija. Y adicionalmente comprobamos que un **control de anchura de pulso PWM con resolución de 10 bit y 3,3 kHz de frecuencia, es el tipo de control** que nos da buenos resultados en el **control de la intensidad luminosa** de los LED de Potencia .

## OBSERVACIONES Y SUGERENCIAS

- Respecto a la iluminancia, la ecuación 2 es estrictamente para fuentes puntuales, ya que si se intenta aplicar esta fórmula suponiendo que la luminaria LED es una sola fuente de luz, los resultados son **completamente erróneos**, como se muestra:

$$E = \frac{n \cdot I}{H^2} \cos \gamma = \frac{24 \cdot (47,66)}{36} = 31,77 \text{ Lux}$$

Donde n representa el número de LED empleados y considerando la medición bajo el foco, es decir el ángulo gama  $\gamma$  igual a cero. Así se aplica la sumatoria de cada LED en forma separada, de esta forma se obtiene el aporte real de cada LED a la iluminancia total. Y para posteriores trabajos, si se busca incrementar el flujo luminoso mediante el aumento del número de LED por área, debe contarse con un mejor sistema de enfriamiento, como con una placa de aluminio de mayor grosor u otro tipo de sistema disipador de calor.

- El sistema de alimentación recomendado para trabajos futuros es el de Fuente conmutadas (switching), La tecnología LED se abre camino rápidamente y por lo cual, desarrollar mejores fuentes de alimentación y sistemas de control de intensidad para esta tecnología, será a corto plazo un trabajo interesante para promocionar patentes en sus diseños.

## **REFERENCIA BIBLIOGRAFIA**

- [1] **Alfonso Gago – Jorge Fraile** “ILUMINACIÓN CON TECNOLOGÍA LED”. Ediciones Paraninfo S.A. - impreso en España - 2012.
- [2] **J. A. Taboada**, MANUAL DE LUMINOTECNIA - 4ta edición , editorial “dossat” S.A. , 2001
- [3] **Miguel A. Sarzo M.** “PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN”, Grupo Ed. Megabyte, 2007.
- [4] **Pedro Claudio Rodriguez.** “SEMICONDUCTORES.” Editorial Alcina (Biblioteca electrónica) - 2012.
- [5] **P. M. Mejías, R. Martínez Herrero.** “ÓPTICA GEOMÉTRICA.” Ed. Síntesis, 1999.
- [6] **Lluis Prat Viñas y Joseph Calderer Cardona** “DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS. FUNDAMENTOS” - Ediciones UPC. – 2010.
- [7] **Eduardo García Breijo**, “COMPILADOR C CCS Y SIMULADOR PROTEUS PARA MICROCONTROLADORES PIC” Ed. Técnicas Marcombo, 2da Ed. 2009.
- [8] **Benjamin C. Kuo**, “SISTEMAS DE CONTROL AUTOMATICO”, Septima edición, Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, México, 1996.
- [9] **Alfonso Pérez García**, “MANUAL DE OPTOELECTRONICA”. Instituto Tecnológico de SAN LUIS POTOSÍ - 2006.

[10] **Enriquez Harper, Gilberto**, EL ABC DEL ALUMBRADO Y LAS INSTALACIONES ELECTRICAS EN BAJA TENSION, Editorial Noriega - Limusa – 2004, Mexico.

[11] **Roberto Hernandez Sampieri**, “FUNDAMENTOS DE METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN”, McGraw-Hill – 2007.

[12] **Paul A. Tipler**, “FÍSICA PARA LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA” volumen II, Editorial Reverte , 2007

[13] **Carlo Manuel Lara Alvarado**, DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN PARA ESPACIOS PUBLICITARIOS PEQUEÑOS USANDO LEDS DE POTENCIA RGB, (Pontificia Universidad Católica del Perú) Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico - Lima , mayo 2009.

[14] **Paula Catalina Acuña Roncancio**, “IMPACTO DEL ALUMBRADO PUBLICO CON LED’S EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN” (Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica) . Tesis para optar al título de Magister en Ingeniería Eléctrica, Bogotá, Colombia, 2011.

[15] Julio Alfredo Cortéz Rodríguez, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA UN ARREGLO RGB DE TRES LED DE POTENCIA” (Universidad Tecnológica de la Mixteca). Tesis para optar al Título de ingeniero Electrónico México , agosto 2009.

#### **PAGINAS WEB DE REFERENCIA**

[16] PUBLICACIONES DE LA CIE (Comisión Internacional de Iluminación  
*Descargado de:* <http://www.cie.co.at/index.php/Publications> (13/04/2014)

- [17] PUBLICACIONES CITCEA – UPC , *Descargado de:*  
<http://recursos.citcea.upc.edu/llum/lamparas/lincan.html> (04/12/2013)  
[http://recursos.citcea.upc.edu/llum/exterio/vias\\_p.html](http://recursos.citcea.upc.edu/llum/exterio/vias_p.html) (08/12/2013)
- [18] DISPOSITIVOS OPTOELECTRÓNICOS” Facultad de Ingeniería  
“Universidad de Buenos Aires, 2do Cuatrimestre de 2011.  
*Descargado de:* [www.fi.uba.ar/materias/6625](http://www.fi.uba.ar/materias/6625) - (17/08/2014)
- [19] DMX Tecnologías “MANUAL DE ALUMBRADO PÚBLICO DE LED’S DE ALTA INTENSIDAD” *Descargado de:* <http://www.dmxledlights.com> (06/06/15)
- [20] Página Web “LAS LÁMPARAS MÁS EFICIENTES LED VERSUS CFL”  
*Descargado de:* <http://www.extend.cl/comunica/2013/04/24/ahorra-energia-sin-comprometer-la-calidad-de-la-luz/> (04/05/13)
- [21] “INSTALACIÓN DE ALUMBRADO CURVAS ISOLUX “, Página Webs :  
*Descargado de:* <http://www.netcom.es/pepeocu/alumbrado/alumbrado3.htm>,  
(06/02/2013)
- [22] “TEORÍA ILUMINACIÓN Y CURVAS ISOLUX “, Pag.Webs:, *Descargado de:*  
[http://www.ulpgc.es/hege/almacen/download/11/11748/Tema\\_02.pdf](http://www.ulpgc.es/hege/almacen/download/11/11748/Tema_02.pdf)  
(06/02/2013)
- [23] DISPOSITIVOS DIODOS LED , *Descargado de:*  
[http://www.iearobotics.com/personal/ricardo/articulos/diodos\\_led/m.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-luminarias-componentes.php](http://www.iearobotics.com/personal/ricardo/articulos/diodos_led/m.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-luminarias-componentes.php) (04/05/13)

[24] “XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA OBTENCIÓN DE CURVAS FOTOMÉTRICAS DESDE DIAGRAMA POLAR. APLICACIÓN DE PROGRAMA DE CAD “ *Descargado de:* <http://www.egrafica.unizar.es/ingegraf/pdf/Comunicacion17036.pdf> (06/02/2013)

[25] “TEORIA DE MODULACIÓN DE ANCHURA DE PULSO PWM” *Descargado de:* <http://picfernalia.blogspot.com/2012/06/modulacion-pwm-pulse-width-modulation.html> , (08/06/2012)

[26] OSINERGMIN “¿CÓMO SE CALCULAN LAS TARIFAS ELÉCTRICAS? ” Organismo supervisor de la inversión en energía y minas. *Descargado de:* <http://www.osinergmin.gob.pe/newweb/uploads/facebook/tarifaselectricas.pdf> [www.ragonledhk.com/uv-led-high-power-uv-led.htm](http://www.ragonledhk.com/uv-led-high-power-uv-led.htm) (24/06/15)

## ANEXO A

### CIE(Control Internacional de Iluminancia).

#### RECOMENDACIONES PARA LA LIMITACION DE LA LUZ IMTRUSA

Publicación CIE 150-2003 "Guía para la limitación de los efectos de la luz intrusa producida por las instalaciones de alumbrado exterior"

Los máximos valores permisibles recomendados de luminancia vertical (EV)

En las fachadas de los edificios o propiedades producida por instalaciones de alumbrado exterior se indican en la siguiente tabla atendiendo a una zonificación de territorio:

PARAMETRO LUMINOTECNICO	CONDICION DE APLICACION	E1	E2	E3	E4	
iluminancia en un plano vertical (E <sub>v</sub> ) lux	Aplicable a planos verticales de los límites de la propiedad privada a la altura donde pueda haber una potencial afección del edificio (Ventanas). Los valores dados corresponden a la componente directa de la iluminación.	De 6 a 22 hrs.	2	5	10	25
		De 22 a 6 hrs.	0*	1	2	5
Intensidad luminosa emitida por la luminarias(l) en candelas (cd)	Los límites se aplican a cada luminaria en las direcciones donde puede existir problemas de brillo en el campo de visión de los ciudadanos de manera más o menos constante.	De 6 a 22 hrs.	2500 cd	7500 cd	1000 cd	2500 cd
		De 22 a 6 hrs.	0* cd	500 cd	1000 cd	2500 cd

\*Nota: Si la luminaria es para alumbrado público (calle) este valor puede llegar hasta 1 lux y 500cd, respectivamente.

**E1:Zonas oscuras:** Parques nacionales, áreas de singular belleza natural

**E2:Áreas de bajo brillo:** Zonas fuera del perímetro urbano, zonas urbanas rurales.

**E3:Áreas de brillo:** medio: Zonas urbanas residenciales

**E4:Áreas de brillo alto:** Zonas urbanas con uso comercial o mixto residencial/comercial con elevada actividad nocturna

## ALUMBRADO DE ZONAS PEATONES

La siguiente tabla ha sido confeccionada partiendo de la publicación CIE-115-1995 "Recomendaciones para el alumbrado de calzadas de tráfico motorizado y peatonal".

También se ha introducido parte de la publicación CIE-136-2000 "Guía para la iluminación de zonas urbanas" para simplificar la labor del diseñador.

	$E_H$ media	$E_H$ min	$E_{sc}$ min
P1	20	7,5	5
P2	10	3	2
P3	7,5	1,5	1,5
P4	5	1	1

NOTA: El diseñador debe tener en cuenta las peculiaridades de la instalación a efectos de elegir la clase de alumbrado adecuada así como prever sistemas de reducción de consumo en aquellos casos que cambie el uso o necesidades del alumbrado a una clase inferior temporalmente durante la noche.

De acuerdo con la recomendación CIE-136 debe limitarse el brillo de la luminaria para evitar deslumbramiento con los siguientes valores máximos en función de la altura de instalación de la luminaria (en general todas las luminarias certificadas por el IAC tienen valores inferiores).

ALTURA	LA <sub>0.25</sub>
Hasta 4.5m	6.000
Entre 4.5 y 6m	8.000
Más de 6m.	10.000

### NOMENCLATURA:

E<sub>H</sub> media: Iluminancia media horizontal a nivel del suelo

E<sub>H</sub> min: Iluminancia mínima horizontal a nivel del suelo

E<sub>sc</sub> min: Iluminancia local mínima semicilíndrica a una altura de 1.5m sobre el nivel del suelo

LA<sub>0.25</sub>: Valor del brillo para alturas de soporte inferior a 7 metros.

L: Luminancia media de la luminaria (cd/m<sup>2</sup>) en la dirección gamma entre 85°y 90°.

A: Area de la superficie emisora de luzde la luminaria (m<sup>2</sup>) en gamma 90° (suministrado por el fabricante).

<b>P1</b>	<input type="checkbox"/> Calzada de alto riesgo <input type="checkbox"/> Centros municipales o urbanos con tráfico motorizado <input type="checkbox"/> Calles comerciales con tráfico motorizado
<b>P2</b>	<input type="checkbox"/> Uso nocturno intenso por peatones o ciclistas <input type="checkbox"/> Centros municipales o urbanos totalmente peatonales. Soportes y pasadizos (E <sub>sc</sub> min =10) <input type="checkbox"/> Calles comerciales totalmente peatonales. <input type="checkbox"/> Centro de pueblos con tráfico motorizado.
<b>P3</b>	<input type="checkbox"/> Uso nocturno moderado por peatones o ciclistas. <input type="checkbox"/> Centro de pueblos totalmente peatones. <input type="checkbox"/> Zonas residenciales de alta utilización (zona de reunión, parques infantiles,etc) E <sub>H</sub> min ≥ 4 lux

<b>P4</b>	<ul style="list-style-type: none"><li><input type="checkbox"/> Uso nocturno menor por ciclistas o peatones únicamente asociados con propiedades adyacentes.</li><li><input type="checkbox"/> Zonas residenciales de media utilización. Parques en áreas residenciales.</li><li><input type="checkbox"/> Calles residenciales con predominio de uso peatonal.</li><li><input type="checkbox"/> Zonas industriales con predominio del uso peatonal.</li></ul>
-----------	---

Paso de peatones en vías motorizadas: valores 1,5 veces superiores a los de la vía.

**ANEXO B**

**DATA SHEET LED DE POTENCIA DE 1 Watt - SS-PB2W1k2**

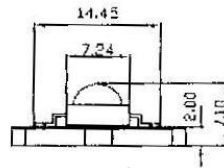
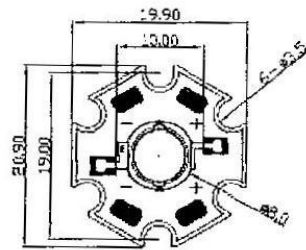
**SPECIFICATION FOR APPROVAL**



CUSTOMER NAME : \_\_\_\_\_  
PART No. : 1W High Power  
ISSUE DATE : 2013-07-12  
ACCESSORY : \_\_\_\_\_

APPROVED SIGNATURES		

■ Mechanical Dimensions



Note:

1. All dimensions are in millimeters.
2. All dimensions without tolerances are for reference only.
3. Material as follows:

Package: Heat-Resistant Polymer  
Electrodes: Cu Plating Copper Alloy

■ Absolute Maximum Ratings (Ta = 25 °C) :

Items	Symbol	Absolute maximum Rating		Unit
		Blue/Green/White	Red/Yellow	
Power Dissipation *	P <sub>D</sub>	1100	850	mW
DC Forward Current	I <sub>F</sub>	400	400	mA
Peak Pulse Forward Current*	I <sub>FP</sub>	500	500	mA
Average Forward Current	I <sub>avF</sub>	350	350	mA
Reverse Voltage	V <sub>R</sub>	5	5	V
LED Junction Temperature	T <sub>J</sub>	125	125	°C
Operating Temperature	T <sub>op</sub>	-30 ~ +80	-30 ~ +80	°C
Storage Temperature	T <sub>stg</sub>	-40 ~ +100	-40 ~ +100	°C
Soldering Temperature	T <sub>scl</sub>	Max 260°C for 5 sec Max (2mm from the base of the lens )		

\*Pulse width ≅ 0.1msec duty ≅ 1/10

■ Typical Electrical & Optical Characteristics ( Ta = 25 °C):

Part No	λ <sub>D</sub> (nm) or Color Temperature	Forward Voltage(V)			Test Condition	Viewing Angle (Typ.)	Luminous Flux(lm) (Typ.)
		Min.	Typ.	Max.			
SS-PB1R1H2	623	1.9	2.1	2.6	I <sub>F</sub> = 350mA	130	35
SS-PB1Y1H2	590	1.9	2.1	2.6	I <sub>F</sub> = 350mA	130	35
SS-PB1B1C2	470	3.0	3.2	3.6	I <sub>F</sub> = 350mA	130	14
SS-PB1G1S2	525	3.0	3.2	3.6	I <sub>F</sub> = 350mA	130	50
SS-PB2W1K2	6500K	3.0	3.2	3.6	I <sub>F</sub> = 350mA	130	60
SS-PB2L1S2	3300K	3.0	3.2	3.6	I <sub>F</sub> = 350mA	130	45

■ Notes:

1. Absolute maximum ratings Ta=25 °C.
2. Tolerance of measurement of forward voltage ±0.1V.
3. Tolerance of measurement of peak Wavelength ±2.0nm.
4. Tolerance of measurement of Luminous Flux ±15%.

## Characteristics for Xpower 1W series

### Warm White

#### 1. Typical Electrical & Optical Characteristics at $I_F=350\text{mA}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Symbol	Value			Unit
		Min.	Typ.	Max.	
Luminous Flux	$\Phi_V$	40	60	-	lm
Correlated Color Temperature	CCT	-	3500	-	K
CRI	Ra	-	80	-	-
Forward Voltage	$V_F$	-	3.3	-	V
View Angle	2 @ 1/2	Lambertian		140	deg.
		Batwing		120	
Thermal resistance	$R_{J\theta}$	18			$^\circ\text{C}/\text{W}$

#### 2. Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Forward Current	$I_F$	400	mA
Power Dissipation	$P_D$	1.6	W
Junction Temperature	$T_J$	125	$^\circ\text{C}$
Operating Temperature	$T_{opr}$	-30~80	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	$T_{stg}$	-40~85	$^\circ\text{C}$
ESD Sensitivity	-	1000	V HBM

#### Notes:

1. The measured value is tested by an integrator system.
2. Tolerance of measurement of luminous flux  $\pm 15\%$
3. Tolerance of measurement of CCT  $\pm 5\%$
4. Tolerance of measurement of forward voltage  $\pm 0.05\text{V}$
5. R is measured with an Xpower Star PCB.
6. Do not drive at rated current more than 5 sec. without heatsink for Xpower emitter series.

## ANEXO C

### DATA SHEET : TRANSISTOR MOSFET- IRF 530



IRF530, SiHF530

Vishay Siliconix

### Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY	
$V_{DS}$ (V)	100
$R_{DS(on)}$ ( $\Omega$ )	$V_{GS} = 10\text{ V}$ 0.16
$Q_g$ (Max.) (nC)	26
$Q_{gs}$ (nC)	5.5
$Q_{gd}$ (nC)	11
Configuration	Single

#### FEATURES

- Dynamic  $dV/dt$  Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- 175 °C Operating Temperature
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC

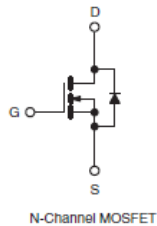
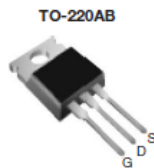


RoHS\*  
COMPLIANT

#### DESCRIPTION

Third generation Power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-220AB package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 W. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220AB contribute to its wide acceptance throughout the industry.



ORDERING INFORMATION	
Package	TO-220AB
Lead (Pb)-free	IRF530PbF SiHF530-E3
SnPb	IRF530 SiHF530

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T <sub>C</sub> = 25 °C, unless otherwise noted)				
PARAMETER	SYMBOL	LIMIT	UNIT	
Drain-Source Voltage	V <sub>DS</sub>	100	V	
Gate-Source Voltage	V <sub>GS</sub>	± 20		
Continuous Drain Current	V <sub>GS</sub> at 10 V	T <sub>C</sub> = 25 °C	14	A
		T <sub>C</sub> = 100 °C	10	
Pulsed Drain Current <sup>a</sup>	I <sub>DM</sub>	56		
Linear Derating Factor		0.59	W/°C	
Single Pulse Avalanche Energy <sup>b</sup>	E <sub>AS</sub>	69	mJ	
Repetitive Avalanche Current <sup>a</sup>	I <sub>AR</sub>	14	A	
Repetitive Avalanche Energy <sup>a</sup>	E <sub>AR</sub>	8.8	mJ	
Maximum Power Dissipation	T <sub>C</sub> = 25 °C	P <sub>D</sub>	88	W
Peak Diode Recovery dV/dt <sup>c</sup>		dV/dt	5.5	V/ns
Operating Junction and Storage Temperature Range		T <sub>J</sub> , T <sub>stg</sub>	- 55 to + 175	°C
Soldering Recommendations (Peak Temperature)	for 10 s		300 <sup>d</sup>	
Mounting Torque	6-32 or M3 screw		10	lbf · in
			1.1	N · m

**Notes**

- a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).  
b. V<sub>DD</sub> = 25 V, starting T<sub>J</sub> = 25 °C, L = 528 μH, R<sub>g</sub> = 25 Ω, I<sub>AS</sub> = 14 A (see fig. 12).  
c. I<sub>SD</sub> ≤ 14 A, dI/dt ≤ 140 A/μs, V<sub>DD</sub> ≤ V<sub>DS</sub>, T<sub>J</sub> ≤ 175 °C.  
d. 1.6 mm from case.


## IRF530, SiHF530


Vishay Siliconix



THERMAL RESISTANCE RATINGS				
PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT
Maximum Junction-to-Ambient	R <sub>thJA</sub>	-	62	°C/W
Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	R <sub>thCS</sub>	0.50	-	
Maximum Junction-to-Case (Drain)	R <sub>thJC</sub>	-	1.7	

SPECIFICATIONS (T <sub>J</sub> = 25 °C, unless otherwise noted)						
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
<b>Static</b>						
Drain-Source Breakdown Voltage	V <sub>DS</sub>	V <sub>GS</sub> = 0 V, I <sub>D</sub> = 250 μA	100	-	-	V
V <sub>DS</sub> Temperature Coefficient	ΔV <sub>DS</sub> /T <sub>J</sub>	Reference to 25 °C, I <sub>D</sub> = 1 mA	-	0.12	-	V/°C
Gate-Source Threshold Voltage	V <sub>GS(th)</sub>	V <sub>DS</sub> = V <sub>GS</sub> , I <sub>D</sub> = 250 μA	2.0	-	4.0	V
Gate-Source Leakage	I <sub>GSS</sub>	V <sub>GS</sub> = ± 20 V	-	-	± 100	nA
Zero Gate Voltage Drain Current	I <sub>DSS</sub>	V <sub>DS</sub> = 100 V, V <sub>GS</sub> = 0 V	-	-	25	μA
		V <sub>DS</sub> = 80 V, V <sub>GS</sub> = 0 V, T <sub>J</sub> = 150 °C	-	-	250	
Drain-Source On-State Resistance	R <sub>DS(on)</sub>	V <sub>GS</sub> = 10 V, I <sub>D</sub> = 8.4 A <sup>b</sup>	-	-	0.16	Ω
Forward Transconductance	g <sub>fs</sub>	V <sub>DS</sub> = 50 V, I <sub>D</sub> = 8.4 A <sup>b</sup>	5.1	-	-	S

Dynamic							
Input Capacitance	$C_{iss}$	$V_{GS} = 0\text{ V}$ , $V_{DS} = 25\text{ V}$ , $f = 1.0\text{ MHz}$ , see fig. 5		-	670	-	pF
Output Capacitance	$C_{oss}$			-	250	-	
Reverse Transfer Capacitance	$C_{rss}$			-	60	-	
Total Gate Charge	$Q_g$	$V_{GS} = 10\text{ V}$	$I_D = 14\text{ A}$ , $V_{DS} = 80\text{ V}$ , see fig. 6 and 13 <sup>b</sup>	-	-	26	nC
Gate-Source Charge	$Q_{gs}$			-	-	5.5	
Gate-Drain Charge	$Q_{gd}$			-	-	11	
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	$V_{DD} = 50\text{ V}$ , $I_D = 14\text{ A}$ $R_g = 12\ \Omega$ , $R_D = 3.6\ \Omega$ , see fig. 10 <sup>b</sup>		-	10	-	ns
Rise Time	$t_r$			-	34	-	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$			-	23	-	
Fall Time	$t_f$			-	24	-	
Internal Drain Inductance	$L_D$	Between lead, 6 mm (0.25") from package and center of die contact 		-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	$L_S$			-	7.5	-	

Drain-Source Body Diode Characteristics						
Continuous Source-Drain Diode Current	$I_S$	MOSFET symbol showing the integral reverse p - n junction diode 	-	-	14	A
Pulsed Diode Forward Current <sup>a</sup>	$I_{SM}$		-	-	56	
Body Diode Voltage	$V_{SD}$	$T_J = 25\ ^\circ\text{C}$ , $I_S = 14\text{ A}$ , $V_{GS} = 0\text{ V}$ <sup>b</sup>	-	-	2.5	V
Body Diode Reverse Recovery Time	$t_{rr}$	$T_J = 25\ ^\circ\text{C}$ , $I_F = 14\text{ A}$ , $dI/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}$ <sup>b</sup>	-	150	280	ns
Body Diode Reverse Recovery Charge	$Q_{rr}$		-	0.85	1.7	$\mu\text{C}$
Forward Turn-On Time	$t_{on}$	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S$ and $L_D$ )				

#### Notes

- a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).  
b. Pulse width  $\leq 300\ \mu\text{s}$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .

## ANEXO D

### DATA SHEET (HOJA TÉCNICA): MICROCONTROLADOR 16F876 / 16F873

---

# MANUAL DEL PIC 16F87X v1.0



---

## PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

Se enumeran las prestaciones y dispositivos especiales de los PIC16F87X.

- Procesador de arquitectura RISC avanzada
- Juego de solo 35 instrucciones con 14 bits de longitud. Todas ellas se ejecutan en un ciclo de instrucción, menos las de salto que tardan dos.
- Hasta 8K palabras de 14 bits para la Memoria de Programa, tipo FLASH en los modelos 16F876 y 16F877 y 4KB de memoria para los PIC 16F873 y 16F874.
- Hasta 368 Bytes de memoria de Datos RAM.
- Hasta 256 Bytes de memoria de Datos EEPROM.
- Pines de salida compatibles para el PIC 16C73/74/76/77.
- Hasta 14 fuentes de interrupción internas y externas.
- Pila de 8 niveles.
- Modos de direccionamiento directo e indirecto.
- Power-on Reset (POP).
- Temporizador Power-on (POP) y Oscilador Temporizador Start-Up.
- Perro Guardián (WDT).
- Código de protección programable.
- Modo SLEEP de bajo consumo.
- Programación serie en circuito con dos pines, solo necesita 5V para programarlo en este modo.
- Voltaje de alimentación comprendido entre 2 y 5,5 V.
- Bajo consumo: < 2 mA valor para 5 V y 4 Mhz 20 µA para 3V y 32 M < 1 µA en standby.

## DIP, SOIC

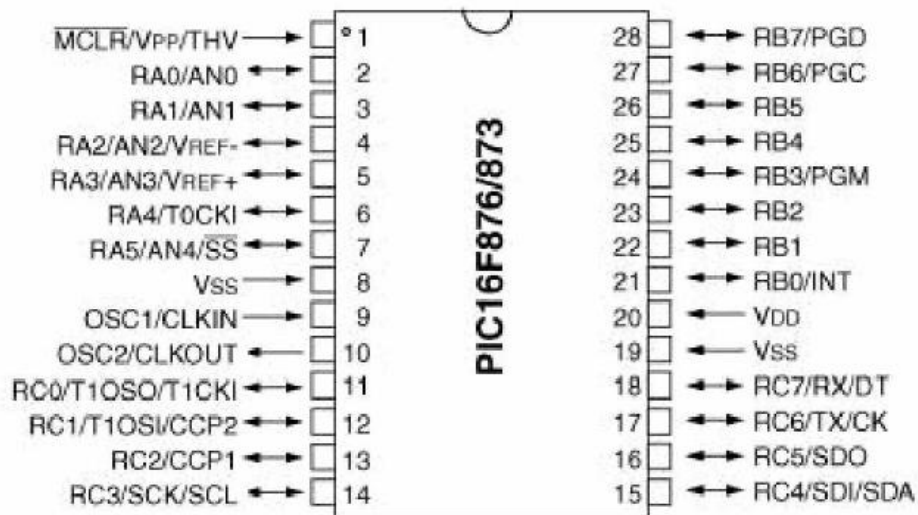


Figura 1.-Encapsulado DIP,SOIC de 28 pines

## DISPOSITIVOS PERIFÉRICOS

- Timer0: Temporizador-contador de 8 bits con preescaler de 8 bits
- Timer1: Temporizador-contador de 16 bits con preescaler que puede incrementarse en modo sleep de forma externa por un cristal/clock.
- Timer2: Temporizador-contador de 8 bits con preescaler y postscaler.
- Dos módulos de Captura, Comparación, PWM (Modulación de Ancho de Pulsos).
- Conversor A/D de 10 bits.
- Puerto Serie Síncrono Master (MSSP) con SPI e I<sup>2</sup>C (Master/Slave).
- USART/SCI (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) con 9 bit.

En la Tabla 1 se muestran las características comparativas más relevantes de esta familia de microcontroladores:

Características	16F873	16F874	16F876	16F877
Frecuencia Máxima	DC-20Mhz	DX-20Mhz	DX-20Mhz	DX-20Mhz
Memoria de programa FLASH Palabra de 14 bits	4KB	4KB	8KB	8KB
Posiciones RAM de datos	192	192	368	368
Posiciones EEPROM de datos	128	128	256	256
Ports E/S	A, B y C	A, B, C y D	A, B y C	A, B, C y D
N° de Pines	28	40	28	40
Interrupciones	13	14	13	14
Timers	3	3	3	3
Módulos CCP	2	2	2	2

Comunicaciones Serie	MSSP, USART	MSSP,USART	MSSP,USART	MSSP, USART
Comunicación Paralelo	-	PSP	-	PSP
Líneas de entrada en Convertidor A/D de 10 bits	5	8	5	8
Juego de Instrucciones	35 instrucciones	35 instrucciones	35 instrucciones	35 instrucciones
Longitud de la instrucción	14 bits	14 bits	14 bits	14 bits

Tabla.- Comparación de entre los PIC de la Familia 16F87X

## ANEXO E

### CERTIFICADO DE APROBACION Y CALIBRACION DEL LUMIOMETRO PR-382 / ISO 9001 – ANSI/ISO/ASQ Q9001



**CERTIFICATE OF APPROVAL**

This is to certify that the Quality Management System of:

**Uni-Trend Technology (China) Limited**  
**No. 6, Gong Ye Bei 1st Road, Songshan Lake**  
**National High-Tech Industrial Development Zone,**  
**Dongguan, Guangdong Province,**  
**People's Republic of China**

has been approved by Lloyd's Register Quality Assurance  
to the following Quality Management System Standards:

**ISO 9001:2008**  
**GB/T 19001-2008**  
**BS EN ISO 9001:2008**  
**ANSI/ISO/ASQ Q9001-2008**

The Quality Management System is applicable to:

**Design and manufacture of digital multimeters**  
**and associated test instruments.**

Approval Certificate No: QAC0956661	Original Approval: 3 April 1998 Current Certificate: 1 May 2013 Certificate Expiry: 30 April 2016
--	---



Issued by: Lloyd's Register Quality Assurance (Shanghai) Co., Ltd  
for and on behalf of Lloyd's Register Quality Assurance Limited



UKAS  
001

This document is subject to the provision on the reverse  
Room 2018, Ocean Tower, 550 Yan An Dong Road, Shanghai, P. R. China  
For and on behalf of 71 Fenchurch Street, London EC3M 4BS United Kingdom. Registration number: 1879370  
This approval is carried out in accordance with the LRQA assessment and certification procedures and monitored by LRQA.  
\*The use of the UKAS Accredited Mark indicates Accreditation in respect of those activities covered by the Accreditation Certificate Number 001  
http://www.ukas.com

Illuminance measuring

Function	range	Resolution	Accuracy tolerance: $\pm (a \% \text{reading} + b \text{ digits})$
Illuminance measuring (LUX)	20Lux	0.01Lux	$\pm (3\% + 20)$
	200Lux	0.1Lux	$\pm (3\% + 8)$
	2000Lux	1Lux	$\pm (3\% + 8)$
	20000Lux	10Lux	$\pm (3\% + 8)$
Illuminance measuring (FC)	2FC	0.001FC	The accuracy tolerance of FC can be verified by unit conversion: FC=10.76lux, if accuracy tolerance verification is needed, it can be achieved by unit conversion.
	20FC	0.01FC	
	200FC	0.1FC	
	2000FC	1FC	

**Especificaciones técnicas del Lumiometro PR -382**

## ANEXO F

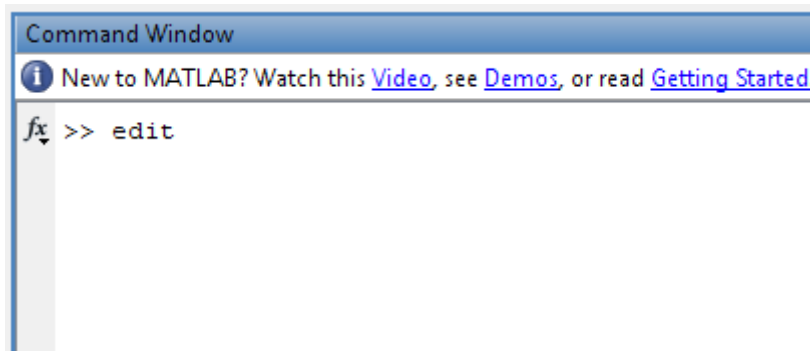
### TUTORIAL PARA EL INGRESO DE LA MATRIZ DE DATOS Y VISUALIZACIÓN DE CURVAS ISOLUX EN MATLAB

PASO 1: Ingresamos haciendo doble clic en el icono de Matlab .

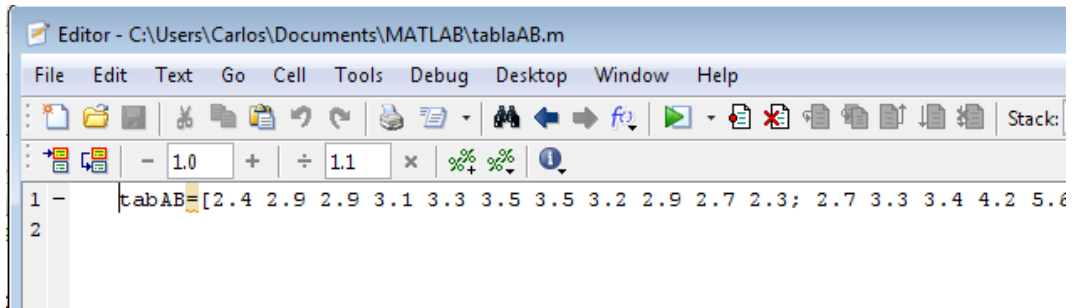


Se abre a continuación la ventana de trabajo de Matlab, la versión instalada y con la que se realizó el trabajo es: Matlab R2009.

PASO 2: En la ventana de comandos escribimos la palabra “edit”, y le damos “intro”, para llamar al editor, :



Seguidamente se abre la ventana del editor, colocamos entonces la matriz la cual llamaremos “tabAB” la cual está contenida entre corchetes, ver siguiente figura.



Cada fila de la matriz de datos se ingresa separándola mediante un “punto y coma” (ver figura anterior). Deberá tenerse cuidado de que el número de elementos finales en cada columna sea el mismo, ya que este es el error más común que suele pasar.

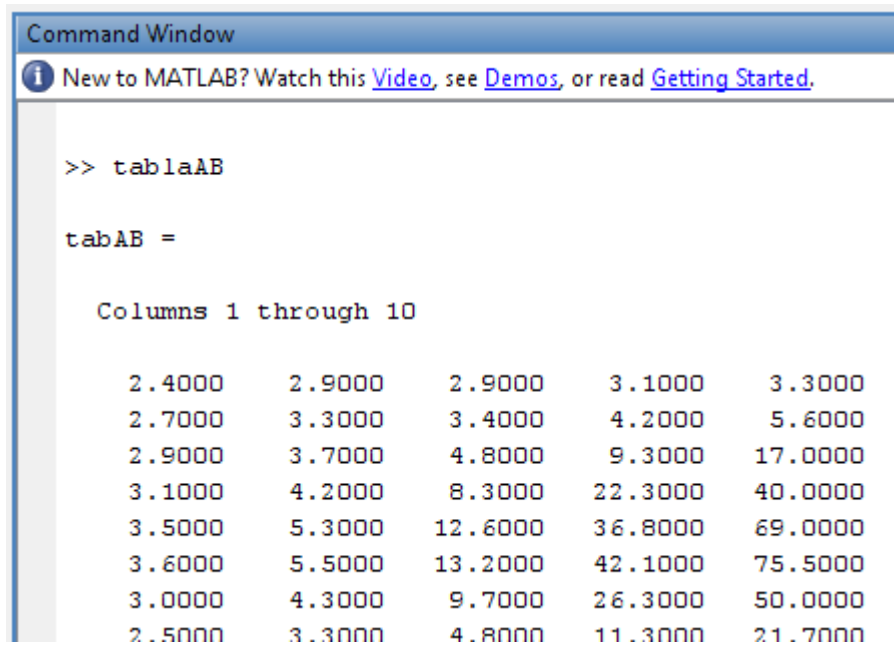
PASO 3: Una vez ingresada nuestra matriz, guardamos el archivo mediante, Menu: FILE / SAVE / en la ventana que se abre a continuación colocamos el nombre : en el primer caso de nuestras tablas fue: “TablaAB” y hacemos clic en el botón “Guardar”



PASO 4: Retornamos a la ventana de comandos, para comprobar y activar nuestra matriz, escribimos la siguiente línea :

**>> tablaAB**

Y pulsando “Intro” aparecerá en la ventana, la matriz ingresada mediante el editor, la figura siguiente ilustra este paso.



```
Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.

>> tablaAB

tabAB =

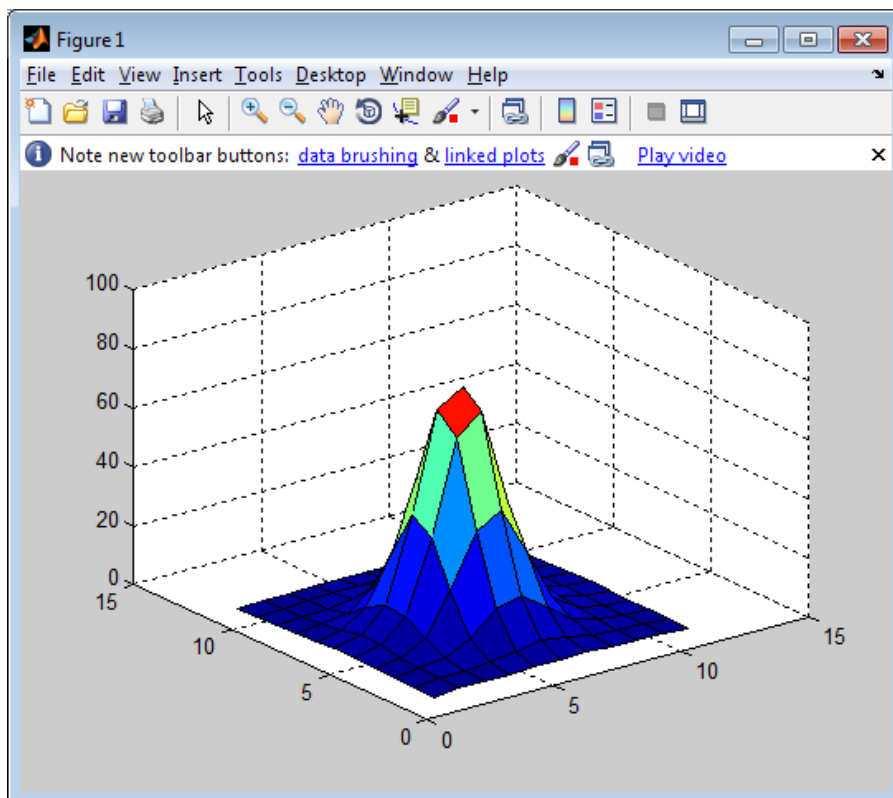
Columns 1 through 10

    2.4000    2.9000    2.9000    3.1000    3.3000
    2.7000    3.3000    3.4000    4.2000    5.6000
    2.9000    3.7000    4.8000    9.3000   17.0000
    3.1000    4.2000    8.3000   22.3000   40.0000
    3.5000    5.3000   12.6000   36.8000   69.0000
    3.6000    5.5000   13.2000   42.1000   75.5000
    3.0000    4.3000    9.7000   26.3000   50.0000
    2.5000    3.3000    4.8000   11.3000   21.7000
```

**PASO 4 :** Para la visualización de las superficies o curvas, se utiliza los comandos siguientes: `surf(tabAB)` , `pcolor(tabAB)` , `contour(tabAB)`

```
>> surf(tabAB)
```

Y dando “”intro” a continuación se abre la ventana “figure 1”, este comando nos grafica la superficie en tres dimensiones empleando colores para dar una mejor definición de nuestra superficie.



El comando:

```
>> pcolor(tabAB)
```

Este comando nos grafica un mapa de colores, el cual diferencia mediante el uso de colores los niveles de valor tomado en la matriz. (ver figuras: 37, 40,43 y 46)

El comando:

```
>> contour(tabAB)
```

Este comando nos grafica las curvas de contorno de nuestra superficie. (ver figuras: 36, 39, 42, 45 y 48)

## ANEXO G

### DATA SHEET (HOJA TECNICA) - LED DE ALTA LUMINOSIDAD



#### SUPERBRIGHT LED LAMP

VAOL-5GWY4

#### Feature

- Low Power Consumption
- High Intensity
- I.C. compatible

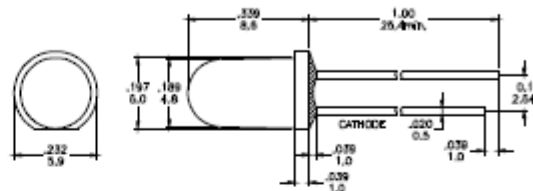
#### Applications

- Commercial Outdoor Sign Board
- Front Panel Indicator
- Dot-Matrix Module
- LED Bulb

#### Description

- These High Intensity LEDs are Based on InGaN/Sapphire Material Technology
- Emitted color: White
- Water Transparent Lens

#### Package Dimension



\* Tolerance :  $\pm \frac{0.01}{0.25}$  Unit :  $\pm \frac{\text{inch}}{\text{mm}}$

#### Absolute Maximum Ratings at Ta = 25°C

Symbol	Parameter	Max.	Unit
PD	Power Dissipation	150	mW
VR	Reverse Voltage	5	V
IAF	Average Forward Current	30	mA
IPF	Peak Forward Current (Duty=0.1, 1kHz)	100	mA
—	Derating Linear Form 25°C	0.4	mA/°C
Topr	Operating Temperature Range	-40 to + 80	°C
Tstg	Storage Temperature Range	-40 to + 100	°C

Lead Soldering Temperature [1.6mm (0.063inch) From Body] 260°C For 5 Seconds.

#### Electrical / Optical Characteristics and Curves at Ta = 25°C

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
VF	Forward Voltage	IF = 20 mA		3.5	4.0	V
IR	Reverse Current	VR = 5 V			50	μA
$\Delta \theta$	Half Intensity Angle	IF = 20 mA			80	Deg
IV	Luminous Intensity	IF = 20 mA		7000		mcd
X	Chromaticity	IF = 20 mA		0.26		
Y	Coordination	IF = 20 mA		0.26		

## ANEXO H

### HOJA TÉCNICA Y ENVOLTORIOS DE LAS LÁMPARAS DE TIPO CONVENCIONAL (VAPOR DE SODIO A ALTA PRESIÓN Y VAPOR DE MERCURIO)

# PHILIPS

**SON-T PLUS**  
**70W**



BASE E27




# PHILIPS

**Principales Características**  
Al máxima eficiencia e o formato compacto das lâmparas vapor de Sódio de alta pressão, são ideais para a maioria das aplicações de iluminação industrial, pública ou de fachada, sempre que haja necessidade de economia de energia, longa vida útil da lâmpada, menor custo de manutenção e de transporte. Consiste de um bulbo com tubo de descarga preenchido por um composto de cátions e ânions de xenônio.  
Esta lâmpada atinge o seu brilho total em menos de 12 minutos após seu acendimento.  
Vida útil média: 32.000 horas.  
(Garantia: 2 anos (contra defeitos de fabricação).  
Classe de validade para armazenamento: indeterminada.

**Principales Características**  
La alta eficiencia y la forma compacta de las lámparas a vapor de Sodio de alta presión, las convierten en las más adecuadas para la mayoría de las aplicaciones: iluminación industrial, alumbrado público y de fachadas. Estas lámparas permiten ahorrar energía, son de larga vida útil y tienen menores costos de mantenimiento.  
Esta lámpara consiste en un bulbo de vidrio que contiene un tubo de descarga cerámico con sodio-mercurio y llenado de gas xenón. Esta lámpara alcanza su máximo flujo luminoso después de 12 minutos de funcionamiento.  
(Garantía: 2 años (contra defectos de fabricación).

# PHILIPS

Philips  
SON-T PLUS  
70W E27

Order code: 950939 xx

**Importado y / e Distribuido**

- En Argentina por Philips Argentina S.A. Vedia 3892 (C1430DAL) - Bs As.
- No Brasil por Philips do Brasil Ltda. Rodovia Anhanguera, s/n km 26.421 - Sala 9 Jardim Jaraguá, São Paulo/SP  
C.N.P.J.: 61.086.336/0004-56 - Atendimento ao Consumidor - Tel: (11) 2124-0203 (Grande São Paulo) ou 0800 701 0203 (demais regiões) de Seg. a Sexta-feira das 8h00 às 20h00.
- En C.A. por Philips Lighting S.A. de C.V.
- En Chile por Philips Chilena S.A.  
Av. Andres Bello 2115 - RUT 90.761.000-4
- En Colombia y Ecuador por Philips Colombiana S.A.S
- En México por Philips Mexicana S.A. de C.V.  
Av. La Palma N° 6 - Col. San Fernando, La Herradura Huixquilucan, Edo. de México C.P. 52/84 - R.F.C. - PME-620620-E84 Centro de Contacto SmartLight 01-800-508-9000 - smartlight@mexico.philips.com
- En Paraguay por Philips del Paraguay S.A. Av. República Argentina 1780 casi Alfredo Seferheld.
- En Perú por Philips Peruana S.A. RUC 20100102090 - Av Larco 1301 4to piso Miraflores Lima Perú
- En Uruguay por Philips Uruguay S.A. Rambla O'Higgins 5303  
11400 Montevideo - R.O.- del Uruguay
- En Venezuela por Industrias Venezolanas de Iluminación IVISA S.A. RIF n° J31147211-8

**PRODUTO NÃO PERECÍVEL /  
PRODUCTO NO PERECEDERO**

**Energia**

Potência: 70 (W)  
Fluxo Luminoso: 6.610 (lm)  
Eficiência Luminosa: 91 (lm/W)

ESTE PRODUTO TEM SEU DESEMPENHO APROVADO

Made in China / Hecho en China  
Philips Electronic N.V., Holland



8 727900 950939











## Sodio de alta Presion Tubular MASTER SON-T PIA PLUS

Lámparas de sodio a alta presión con tecnología PIA (Philips Integrated Antenna), alto flujo luminoso y larga vida.

### Beneficio

- La tecnología PIA asegura una vida larga y fiable, con mejor mantenimiento del flujo luminoso, encendido fiable durante toda la vida de la lámpara y reencendido prácticamente instantáneo (< 30 segundos).
- La alta eficacia y la ausencia de plomo (casquillo E40) la convierten en una buena alternativa medioambiental.
- Es la lámpara de sodio a alta presión más eficaz del mercado.

### Características

- Tubo de descarga cerámico con antena integrada para una vida larga y fiable.
- Bulbo exterior tubular transparente.
- Lámparas libres de plomo (casquillo E40).
- Concepto "Plus", lámparas de alta eficacia con mayor flujo luminoso.
- El getter (captador de impurezas) de ZrCo asegura un alto mantenimiento del flujo luminoso y pocos fallos prematuros.
- La construcción más robusta, con menor número de puntos de soldadura, aporta mayor resistencia a choques y vibraciones lo que se traduce en menor número de fallos prematuros.

### Aplicación

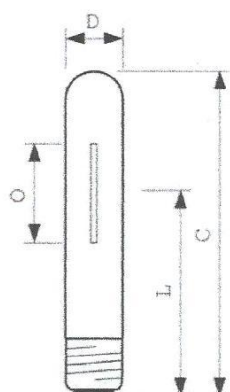
- Alumbrado residencial y de carreteras.
- Alumbrado de zonas industriales.
- Instalaciones deportivas exteriores e interiores.
- Iluminación por proyección.
- Alumbrado hortícola (invernaderos).

### Seguridad y Advertencias

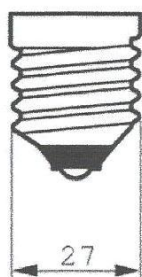
- El equipo controlador debe incluir al final de la vida útil, la protección (IEC60662, IEC62035)

# PHILIPS

## Plano de dimensiones



Tipo	B (max.)	C (max.)	D (max.)	L (norm)	O (norm)
50	-	156	35,75	104	35
70	-	156	35,78	104	42
100	-	210	48	132	47
150	-	210	48	132	61
250	-	257	48	158	64
400	-	283	48	175	83
600	-	283	47	174,2	126



## Características generales

I2NC	Descripción	Unidad de Empaque	Potencia (w)	Voltage (V)	Base	Bulbo	Posición de Funcionamiento	Flujo Luminoso (lm) Intensidad Luminosa (cd)	Eficacia Luminosa (lm/W)	Vida Nominal (Horas)	Índice de Reproducción de color	Temperatura de color (K)	Contenido de Mercurio (mg)
928151900028	SON-T 50W E27 PIA Plus	12	50	91	E27	T35	Universal	4.400	81	30.000	25%	2.000	12
928152700091	SON-T 70W E27 PIA Plus	12	70	90	E27	T35	Universal	6.600	91	30.000	25%	2.000	12
928483300094	SON-T 100W E40 PIA Plus	12	100	100	E40	T46	Universal	10.700	107	28.000	25%	2.000	16,3
928483400094	SON-T 150W E40 PIA Plus	12	150	100	E40	T46	Universal	18.000	117	32.000	25%	2.000	20,4
928144709292	SON-T 250W E40 PIA Plus	12	250	100	E40	T46	Universal	33.300	130	36.000	25%	2.000	15
928144809292	SON-T 400W E40 PIA Plus	12	400	100	E40	T46	Universal	56.500	142	36.000	25%	2.000	20
928158409227	SON-T 600W E40 PIA Plus	12	600	115	E40	T46	Universal	90.000	150	30.000	25%	2.000	24



Philips Colombiana S.A.S.

Las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.

Línea de Servicio al Cliente en Bogotá 307 8040 y a nivel nacional 01 8000 11 4586

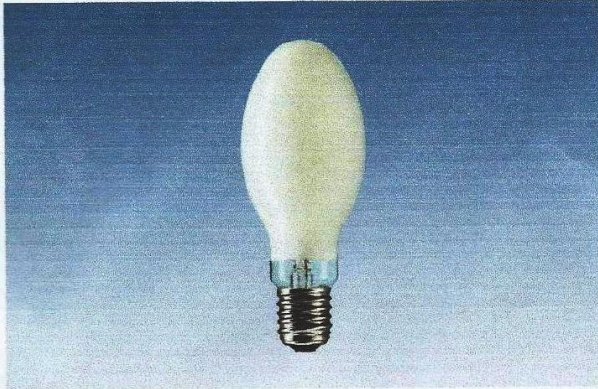
www.lighting.philips.com.co

Abril 2013  
datos sujetos a modificaciones

## Lámparas de Descarga

### Lámparas a vapor de mercurio color corregido

## HPL-N



Las lámparas Philips a vapor de mercurio de alta presión HPL-N están formadas por un tubo de descarga de cuarzo contenido en una ampolla ovoidal internamente recubierta por una sustancia fluorescente, cuya finalidad es convertir la radiación ultravioleta de la descarga en visible, especialmente la parte roja del espectro.

condiciones de servicio.

- Reducida sensibilidad a las fluctuaciones de la tensión de alimentación.
- Color de la luz blanco neutro.

#### Aplicaciones:

- Alumbrado público (calles, avenidas, parques).
- Areas industriales (interior y exterior de fábricas, talleres, astilleros).
- Areas diversas (estaciones ferroviarias, depósitos, playas de estacionamiento).
- Areas deportivas.
- Iluminación ornamental (parques, jardines, fachadas).

#### Características

- Elevado rendimiento luminoso.
- Larga y confiable vida útil, con reducida depreciación luminosa.
- Gran fiabilidad en todas las

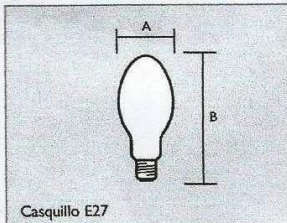


Fig.1

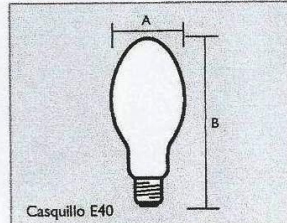


Fig.2

Dimensiones en mm.

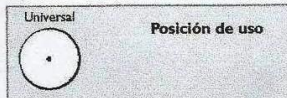
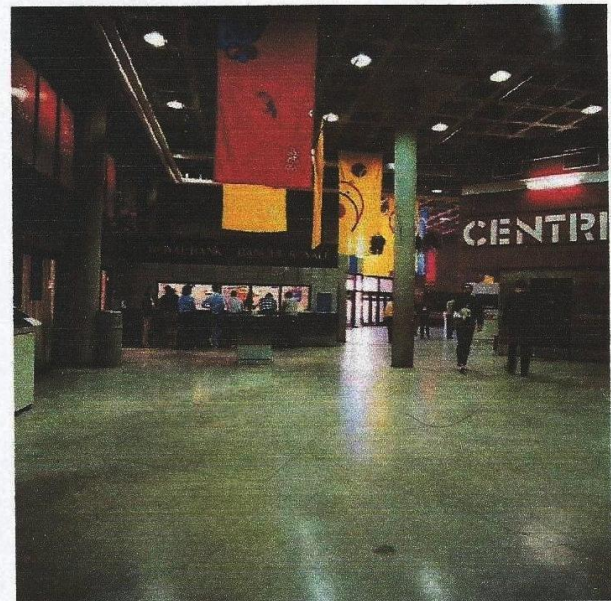


Figura 1

	80W	125W
A(máx.)	71	76
B(máx.)	155	177

Figura 2

	250W	400W	700W	1000W
A(máx.)	91	122	142	167
B(máx.)	228	290	329	400



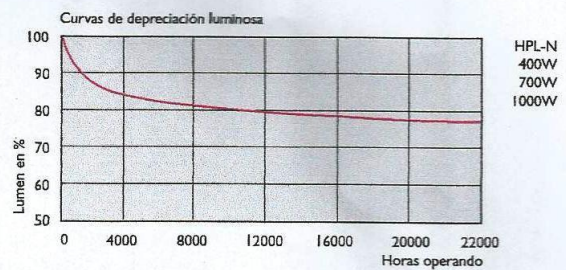
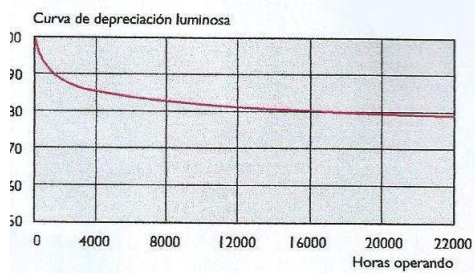
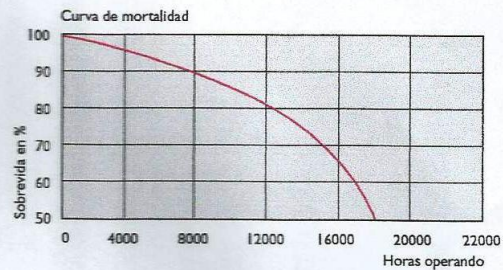
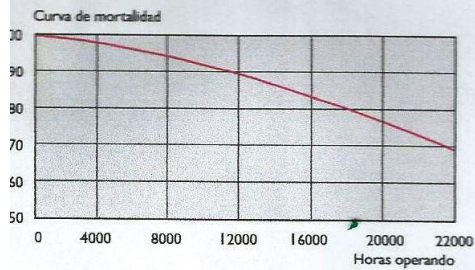
Tipo	Potencia (W)	Casquillo	Tensión de línea (V)	Tensión de lámpara (V)	Corriente de lámpara (A)	Flujo luminoso (lm)	Temperatura de color (K)	Rendimiento de color (Ra)	Tensión mínima de encendido (-18° 20°)	Tensión mínima para operación estable (%)	Código comercial
HPL-N	80	E27	220	115	0.80	3700	4300	48	210 180	90%Un	9280 510 07381
HPL-N	125	E27	220	125	1.15	6200	4100	46	210 180	90%Un	9280 520 07381
HPL-N	250	E40	220	135	2.10	12700	4100	40	210 180	90%Un	9280 530 07491
HPL-N	400	E40	220	140	3.25	22000	3900	40	210 180	90%Un	9280 535 07491
HPL-N	700	E40	220	145	5.40	38500	3900	-	210 180	90%Un	9280 541 07403
HPL-N	1000	E40	220	145	7.50	58500	3900	33	210 180	90%Un	9280 545 07403



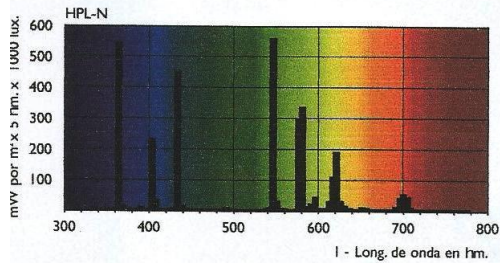
## lámparas de Descarga

### lámparas a vapor de mercurio color corregido

# HPL-N



### Distribución espectral de la potencia



Potencia (W)	Luminancia (cd/cm²)	Rendimiento de lámpara (lm/w)	Rendimiento del sistema (lm/w)	Tiempo de ignición (seg.)	Tiempo de reiniciación (min.)	Tiempo para 80% de Ø nominal (min.)	Corriente máx. de arranque (A)	Capacitor (mF)	Con cos j corregido I de arranque (A)	I de línea (A)	Vida útil promedio (hs.)	Vida nominal promedio (hs.)
N 80	4.9	45	41	10	10	5	1.20	7	0.65	0.45	16000	24000
N 125	9.0	50	45	10	10	5	1.85	10	1.10	0.70	16000	24000
N 250	9.9	51	47	10	10	5	3.60	18	2.20	1.35	16000	24000
N 400	11.0	55	52	10	10	5	5.50	25	3.90	2.15	12000	18000
N 700	14.0	55	52	10	10	5	8.50	40	6.00	3.70	12000	18000
N 1000	18.0	59	56	10	10	5	13.0	60	8.30	5.30	12000	18000

Especificaciones técnicas sujetas a cambio sin aviso previo.



# PHILIPS

## ANEXO I

### HOJA TECNICA DEL REGULADOR TL 494



## SWITCHMODE™ Pulse Width Modulation Control Circuit

The TL494 is a fixed frequency, pulse width modulation control circuit designed primarily for SWITCHMODE power supply control.

- Complete Pulse Width Modulation Control Circuitry
- On-Chip Oscillator with Master or Slave Operation
- On-Chip Error Amplifiers
- On-Chip 5.0 V Reference
- Adjustable Deadtime Control
- Uncommitted Output Transistors Rated to 500 mA Source or Sink
- Output Control for Push-Pull or Single-Ended Operation
- Undervoltage Lockout

**MAXIMUM RATINGS** (Full operating ambient temperature range applies, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	TL494C	TL494E	Unit
Power Supply Voltage	$V_{CC}$	42		V
Collector Output Voltage	$V_{C1}, V_{C2}$	42		V
Collector Output Current (Each transistor) (Note 1)	$I_{C1}, I_{C2}$	500		mA
Amplifier Input Voltage Range	$V_{IR}$	-0.3 to +42		V
Power Dissipation (@ $T_A < 45^\circ\text{C}$ )	$P_D$	1000		mW
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	80		$^\circ\text{C/W}$
Operating Junction Temperature	$T_J$	125		$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-55 to +125		$^\circ\text{C}$
Operating Ambient Temperature Range TL494C TL494E	$T_A$	0 to +70 -25 to +85		$^\circ\text{C}$
Storing Ambient Temperature	$T_A$	45		$^\circ\text{C}$

NOTE: 1. Maximum thermal limits must be observed.

Order this document by TL494/D

## TL494

SWITCHMODE  
PULSE WIDTH MODULATION  
CONTROL CIRCUIT  
SEMICONDUCTOR  
TECHNICAL DATA

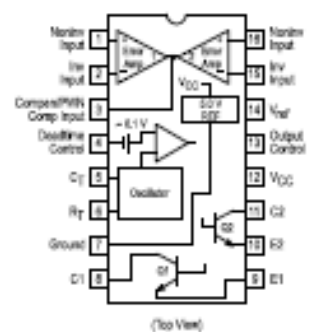


D SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 751B  
(SO-18)



N SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 648

### PIN CONNECTIONS



### ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
TL494CD	$T_A = 0^\circ$ to $+70^\circ\text{C}$	SO-18
TL494CN		Plastic
TL494N	$T_A = -25^\circ$ to $+85^\circ\text{C}$	Plastic

© Motorola, Inc. 1988

Doc 1

## ANEXO J

### Presupuesto de materiales en la Implementación de la Luminaria Led

RUBROS	Cant	DESCRIPCION	MONTO(S/.)
Led de potencia de 1 W	24	Diodo emisor Luz	120.00
Armadura de Luminaria	01	armadura luminaria	70.00
Fuente de PC – AT	01	Fuente switching	20 00
Placa de metal galvanizado	01		5.00
Resistencias (5W)	03	1 ohmio	6 00
Fotocelda LDR de alta resolución	01	Fotoresistencia	5. 00
Microcontrolador 16F873A	01	PIC 16F876A	25 00
Mosfet IRF 530	01	TRT de potencia	5.00
MOC	01	Optoacoplador	4.00
Cristal 4 MHz	01	Oscilador	0.50
Transistor BC548	01	NPN	0.40
Componentes varios	--	Condensadores, resistencias, cables.	8.00
Ventilador (cooler)	01	Disipador de calor	9.00
Disipador de Aluminio	01	Disipador de calor	3.00
Total			280.90