



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

DISEÑO DE LOS SUBSISTEMAS DE LUMINARIAS Y CIRCUITOS DE
EXCITACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN EXTERIOR
BASADO EN TECNOLOGÍA DE LEDS DE POTENCIA PARA EL LOGO
DE LA PUCP EN EL EDIFICIO MAC GREGOR.

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta:

Juan Pablo Zeballos Raczy

ASESOR: Ing. Willy Carrera Soria.

Lima - PERÚ

2010

RESUMEN

En la actualidad la iluminación arquitectónica está tomando cada vez más cabida en el mundo de la iluminación decorativa; para tal fin existen en el mercado diferentes tecnologías de iluminación. Para que una tecnología de iluminación sea eficiente debe cumplir parámetros tales como: una alta eficiencia lumínica, bajo consumo de energía y una gran durabilidad. El reto entonces está en elegir una tecnología que sea capaz de cumplir con tales requisitos para que el sistema de iluminación sea eficiente y tenga una buena performance.

Es por eso que se plantea la implementación de un sistema que use tecnología de iluminación en estado sólido, es decir, usando LEDs (diodos emisores de luz) de alta potencia, más conocidos como *Power LEDs*. Dichos dispositivos aseguran altos índices de eficiencia, ahorro de energía y duración, constituyéndose así como la tecnología de iluminación del futuro.

El objetivo entonces es el de realizar el diseño de un sistema de iluminación exterior en el edificio Mac Gregor de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), iluminando el logo de la universidad mediante la tecnología de LEDs de potencia.

El sistema completo consta de los siguientes subsistemas: subsistema de luminarias, subsistema de circuitos de excitación de los LEDs, subsistema de control (programación) y subsistema de la fuente de alimentación. La presente tesis sólo abarca el diseño de los dos primeros subsistemas, es decir, el subsistema de luminarias y el subsistema de circuitos de excitación de los LEDs de potencia.

En el Capítulo 1 se trata el tema de sistemas de iluminación arquitectónica para edificios. Se ven las diferentes técnicas, estrategias y tecnologías actuales que los ingenieros de iluminación aplican en obras de iluminación en edificios modernos.

En el Capítulo 2 se trata el tema de sistemas de iluminación con LEDs de potencia. Se ven las ventajas, áreas de aplicación, fabricantes actuales, ejemplos de edificios en el mundo y una teoría sobre circuitos de excitación de LEDs de potencia.

En el Capítulo 3 se ve el diseño de los subsistemas mencionados y además se contempla la necesidad de incluir el subsistema de comunicación.

En el Capítulo 4 se muestran los resultados del diseño en base a la implementación de un prototipo de luminaria. Se presenta también un estudio de costos y tiempos de ejecución del proyecto en general para una futura implementación.

DEDICATORIA

... Al motor de mi vida: Mi Familia:....

A mi Madre **Charito**... Mi más grande inspiración.... Te amaré lo que dure la eternidad...

.... Espérame algún tiempo más... espérame...

A mi Padre **Oscar**.... Mi ejemplo, mi constante apoyo y comprensión, mi orgullo....

... por ti Padre, siempre por ti...

A mis **Hermanos Oscar, Delia, y Pepe**.... Compartimos todo en la vida....

Los llevo siempre conmigo....

.....Uds. saben que nuestro destino va más allá....

.....Las razones de ser cada vez mejor son Uds....

AGRADECIMIENTOS

Al Prof. Ing **Willy Carrera Soria**... por su paciencia, confianza y todo el

apoyo brindado durante más de un año de trabajo.

No te salves...

“
No te quedes inmóvil
 al borde del camino
 no congeles el júbilo
 no quieras con desgana
 no te salves, ahora
 ni nunca
 no te salves
 no te llenes de calma
 no reserves del mundo
 sólo un rincón tranquilo
 no dejes caer los párpados
 pesados como juicios
 no te quedes sin labios
 no te duermas sin sueño
 no te pienses sin sangre
 no te juzgues sin tiempo

pero si
 pese a todo
 no puedes evitarlo
 y congelas el júbilo
 y quieres con desgana
 y te salvas ahora
 y te llenas de calma
 y reservas del mundo
 sólo un rincón tranquilo
 y dejas caer los párpados
 pesados como juicios
 y te secas sin labios
 y te duermes sin sueño
 y te piensas sin sangre
 y te juzgas sin tiempo
 y te quedas inmóvil
 al borde del camino

y te salvas
 entonces
 no te quedes conmigo....”

**Tributo al Maestro Mario
 Benedetti**

Poema dedicado a mí mismo.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
<u>CAPÍTULO 1:</u>	
SISTEMAS DE ILUMINACIÓN ARQUITECTÓNICA PARA EDIFICIOS.....	2
1.1 Estrategias de iluminación en edificios modernos.....	2
1.2 Tecnologías convencionales de iluminación.....	4
1.3 Tecnología de estado sólido.....	6
1.3.2 Ventajas de la tecnología.....	6
1.3.3 Áreas de aplicación.....	7
1.4 Declaración del marco problemático.....	7
<u>CAPÍTULO 2:</u>	
SISTEMAS DE ILUMINACIÓN CON LEDS DE POTENCIA.....	8
2.1 Estado del arte.....	8
2.2 Luminarias y Lámparas LED.....	10
2.2.1 Fabricantes de LEDs.....	10
2.3 Circuitos de excitación para LEDs de potencia.....	11
2.3.1 Definición de circuito de excitación.....	11
2.3.2 Tipos de circuitos de excitación para LEDs de potencia.....	11
A. Convertidor Buck o Step Down.....	12
B. Convertidor Boost o Step-Up.....	13
C. Convertidor Boost – Buck.....	14
D. Convertidor Fly-back.....	15
<u>CAPÍTULO 3:</u>	
DISEÑO DE LOS SUBSISTEMAS DE LUMINARIAS Y CIRCUITOS DE EXCITACIÓN DE LEDS DE POTENCIA	16
3.1 Hipótesis.....	16
3.1.1 Hipótesis principal.....	16
3.1.2 Hipótesis secundarias.....	16
3.2. Objetivos.....	17

3.2.1	Objetivo general.....	17
3.2.2	Objetivos específicos.....	17
3.3	Consideraciones preliminares.....	17
3.3.1	El edificio Mac Gregor.....	17
3.3.2	Características del logo PUCP.....	18
3.4	Requerimientos del sistema de iluminación.....	18
3.5	Diagrama de bloques del sistema de iluminación.....	21
3.5.1	Diagrama de bloques del sistema completo.....	21
3.5.2	Diagrama de bloques del sistema electrónico.....	21
3.6	Diseño del Subsistema de Luminarias.....	22
3.6.1	Modelo de iluminación.....	23
3.6.2	Estructura mecánica de las luminarias.....	24
3.6.3	Acceso a la estructura mecánica.....	26
3.7	Diseño del Subsistema de Circuitos de Excitación (<i>Drivers</i>).....	27
3.7.1	Consideraciones previas.....	27
3.7.2	Requerimientos del circuito de excitación.....	27
3.7.3	Diseño del circuito de excitación.....	28
3.8	Diseño del Subsistema de Comunicación de datos.....	32
3.8.1	Consideraciones previas.....	32
3.8.2	Requerimientos del subsistema de comunicación.....	32
3.8.3	Diseño del subsistema de comunicación.....	33
<u>CAPÍTULO 4:</u>		
PRESENTACIÓN DE SIMULACIONES.....		42
4.1	Introducción.....	42
4.2	Descripción del módulo de iluminación.....	42
4.2.1	Estructura de iluminación.....	42
4.2.2	Módulo electrónico.....	43
4.3	Análisis de resultados.....	44
4.3.1	Demostración de la difuminación.....	44
4.3.2	Demostración de la variación de intensidad de luz.....	45

4.4.	Consumo de energía de todo el sistema.....	47
4.5.	Costos y tiempo ejecución del proyecto.....	47
4.5.1.	Costos de implementación del proyecto.....	47
4.5.2.	Tiempo de ejecución del proyecto.....	47
	CONCLUSIONES.....	50
	RECOMENDACIONES.....	51
	BIBLIOGRAFÍA.....	52
	ANEXOS	



INTRODUCCIÓN

Existe una gran necesidad del hombre por la belleza exterior de las cosas, como por ejemplo la decoración de recintos, es por eso que éste buscó diferentes alternativas para embellecer tales estructuras, una de ellas, por ejemplo, es la iluminación, que aplicada a obras civiles da lugar a la iluminación arquitectónica.

Existen muchas tecnologías en iluminación arquitectónica usadas actualmente, pero dentro de todas ellas se distingue una por sus altos parámetros de performance. Dicha tecnología es la basada en diodos emisores de luz (LEDs) de potencia, que se vienen utilizando recientemente y cada vez más en áreas tales como: iluminación de fachadas, edificios, puentes, monumentos, estatuas, fuentes, etc. [11]

Los LEDs son básicamente diodos que emiten luz cuando una corriente eléctrica atraviesa el material semiconductor del cual están hechos, a diferencia de la clásica bombilla eléctrica no presenta alguna resistencia o filamento interno que pueda deteriorarse con el uso, además el consumo de energía es muy bajo y la eficiencia lumínica de este dispositivo es sobresaliente. El consumo típico de un LED de potencia es aproximadamente 1W (3V@350mA). Tales características los hacen más duraderos, confiables y ahorrativos, por lo que constituyen una auténtica revolución en el mundo de la iluminación, y gracias a estos dispositivos se ha podido crear efectos de iluminación que antes eran inimaginables. [11]

Los LEDs junto con buenos circuitos de excitación, métodos adecuados de ubicación de luminarias, buenas interfaces de comunicación y una adecuada programación de secuencias de encendido, aseguran el correcto funcionamiento de un sistema decorativo de iluminación exterior basado en tecnología de LEDs de potencia. Las características principales de estos sistemas son: el bajo consumo de potencia y la alta durabilidad.

La presente tesis abarca el diseño de los subsistemas de circuitos de excitación y subsistema de luminarias de un sistema de iluminación exterior para el logo de la Pontificia Universidad Católica del Perú ubicado en el edificio Mac Gregor. Dicho sistema se caracteriza por su bajo costo, bajo consumo de energía, alta durabilidad, gran cantidad de efectos de iluminación y sobre todo por poseer tecnología desarrollada en el Perú.

CAPÍTULO 1

SISTEMAS DE ILUMINACIÓN ARQUITECTÓNICA PARA EDIFICIOS

1.1 Estrategias de iluminación en edificios modernos

La iluminación arquitectónica tiene como objetivo principal la decoración de las estructuras, pero tal iluminación no sólo implica fijarse en la tecnología adecuada, sino que engloba otros aspectos que deben ser tomados en cuenta. La iluminación moderna de edificios se basa, precisamente, en el análisis de varios aspectos que tomados correctamente determinarán la eficiencia del proyecto. Tales análisis y discernimientos constituyen la llamada “estrategia de iluminación”.

En otras palabras, antes de diseñar cualquier sistema de iluminación, el arquitecto debe hacer un análisis previo basado en diferentes aspectos, cuyo objetivo sea el de determinar la estrategia correcta a aplicar. Tales aspectos son plasmados en un diagrama circular (ver figura 1.1), puesto que el diseñador puede analizar cada aspecto en diferentes momentos y darles diferente prioridad. [3]

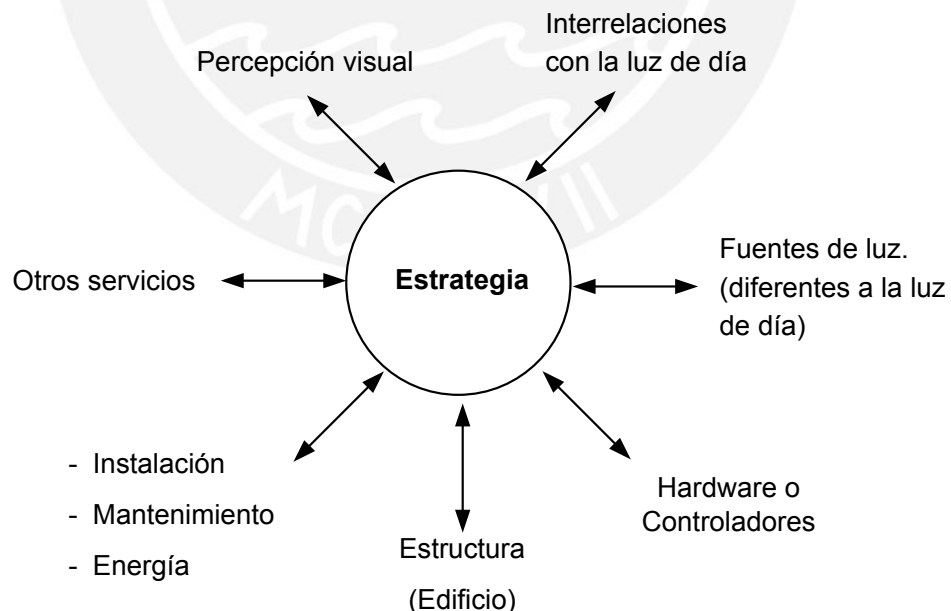


Figura 1.1. Estrategia de iluminación [3]

- **Percepción visual:** El aspecto visual está ligado a la parte biológica del ojo, en cambio, la percepción involucra todo el proceso de interrelación visual con nuestro alrededor. Los aspectos a tomar en cuenta son: la cantidad de luz en la iluminación, el contraste y la claridad. La interrelación de estos tres aspectos hacen que un proyecto sea percibido visualmente de manera exitosa. [3]
- **Luz de día:** La relación de la luz natural con la luz artificial, durante la iluminación en horas en la que hay luz solar, debe de ser tomada en cuenta, ya que ésta determina de manera significativa la naturaleza del hardware a utilizar. Uno de los métodos utilizados actualmente para lidiar con problemas de luz solar, es la llamada iluminación inteligente. [3]
- **Fuentes de iluminación (diferentes a la luz solar):** Son básicamente los actuadores en el sistema de iluminación. La tecnología a utilizar es determinante, ya que involucra parámetros de selección como: costos, vida de las lámparas, tamaños de las lámparas, colores, eficiencia, consumo de energía, etc. [3]
- **Hardware / Controladores:** Una vez determinada la tecnología de iluminación, se debe determinar el hardware/controlador (dispositivo electrónico), el cual va a permitir percibir de manera deseada y eficiente el espacio a iluminar. [3]
- **Estructura de la edificación:** Es uno de los aspectos más importantes, puesto que hay una relación muy estrecha entre la estructura y la tecnología de iluminación. Por ejemplo, la mayoría de fachadas de edificios modernos son hechas con grandes estructuras de vidrios, las cuales también interactúan con la correcta percepción de la iluminación. [3]
- **Instalación y mantenimiento:** Son aspectos importantes puesto que determinan la naturaleza de la tecnología a implementar. Hay que tener en cuenta que la instalación va a ser hecha en estructuras grandes y de difícil acceso, en donde las instalaciones y el mantenimiento preventivo o correctivo van a ser muy complejos.
- **Otros servicios:** Se refiere a la interrelación del sistema de iluminación con otros sistemas internos del edificio. Por ejemplo, el sistema de ventilación, puesto que si la iluminación produce mucho calor, se va a necesitar más energía para que el acondicionamiento del ambiente sea el mismo. [3]

1.2 Tecnologías convencionales de iluminación:

El diseño de iluminación arquitectónica ha ido cambiando y evolucionando desde la creación de la bombilla incandescente en 1880. El enorme desarrollo en la fabricación de lámparas en los últimos 60 años ha permitido la implementación de diferentes sistemas de iluminación, es por tanto que cada lámpara puede ser aplicada en proyectos específicos, ya que cada tecnología presenta tanto ventajas como desventajas. [3]

La figura 1.2 muestra la familia de lámparas que han sido desarrolladas para la iluminación en general, muchas de ellas han quedado en desuso y otras siguen evolucionando de acuerdo a sus aplicaciones.

A continuación se desarrolla una breve descripción de cada lámpara de iluminación:

- **Lámpara incandescente:** fue la primera lámpara en inventarse, presenta un alto consumo de energía, pero actualmente es la preferida en iluminación doméstica por su bajo costo. [3]
- **Lámparas de tungsteno halógeno:** son básicamente lámparas de filamento que emiten luz gracias al gas halógeno contenido a alta presión. Su ventaja principal radica en la variedad de colores, la simplicidad de operación y en la facilidad para variar la intensidad de la luz (*Dimming control* o *Dimmers*). [3]
- **Lámparas de descarga:** son lámparas que no presentan filamento, ellas operan a altas o bajas presiones, presentan gases con los cuales se realiza una descarga eléctrica y logran emitir luz visible. Son lámparas muy eficientes por tanto muy usadas actualmente a todo nivel de iluminación. Pero sus desventajas radican en la poca variedad de colores, toman mucho tiempo en alcanzar su máximo brillo (intensidad luminosa), su intensidad no se puede variar desde su mínimo hasta su máximo constantemente (no se pueden aplicar *Dimmers*), y su luz presenta parpadeo (*Flicker*).

Los tipos de lámparas de descarga son: cátodo frío-neón, descarga de alta intensidad (HID), tubos fluorescentes y las lámparas de sodio de baja presión. [3]

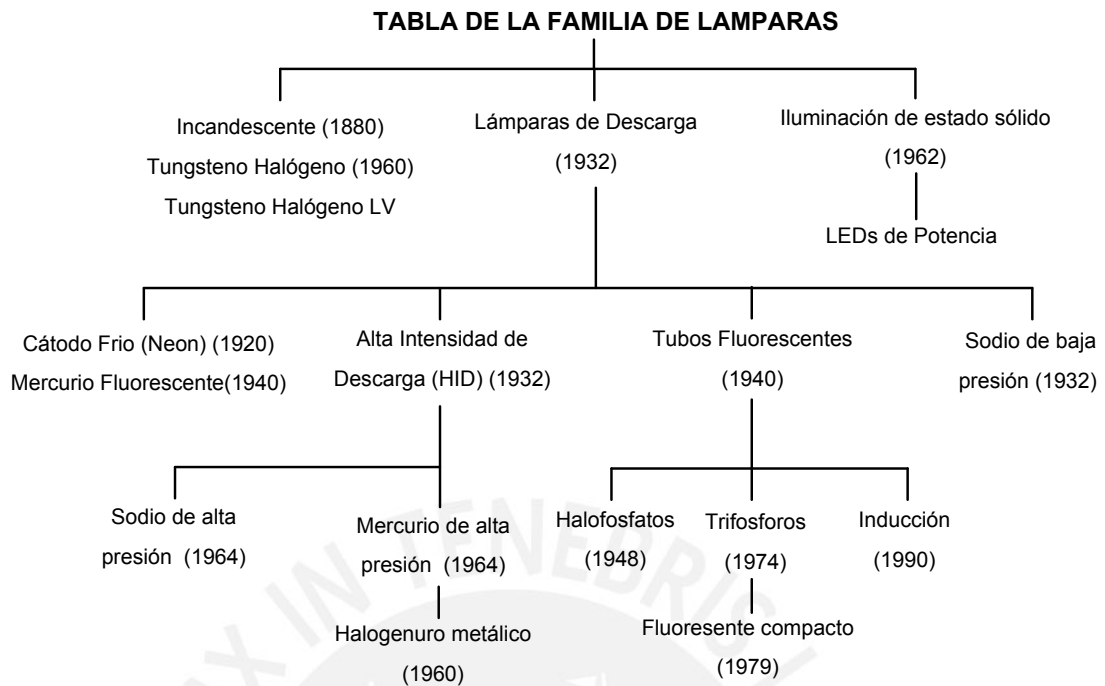


Figura 1.2. Familia de lámparas [3]

- **Cátodo frío – Neón:** lámparas en las cuales la descarga se realiza entre dos electrodos. Presentan pocos colores y se pueden utilizar *dimmers* o variadores de luz. Son comúnmente usadas en paneles de iluminación. [3]
- **Descarga de alta intensidad (HID):** lámparas de alta eficiencia lumínica que presentan buena variedad de colores. Son muy usadas en iluminación de calles por su alta duración. Presentan los siguientes subtipos: sodio de alta presión y mercurio de alta presión. [3]
- **Tubos fluorescentes:** Posiblemente la mayor innovación en iluminación después de la tecnología LED. Este tipo de lámpara elimina el calor producido en la descarga eléctrica. Presentan buena eficiencia lumínica, buena calidad de colores, gran durabilidad, bajo costo de producción. Por tal motivo son bastante usados en iluminación. Con el desarrollo de la tecnología de alta frecuencia se ha conseguido variar la intensidad de luz de estas lámparas (*Dimmers*), y se ha eliminado el parpadeo (*flicker*). Presenta varios tipos como: lámpara de halofosfatos, lámpara de trifosforos y lámpara de inducción. [3]

1.3. Tecnología de estado sólido:

La tecnología de estado sólido se basa en la emisión de luz desde un material sólido, para el caso de los LEDs, proviene de un semiconductor. Estos ofrecen una forma alternativa para generar luz, ésta emisión de luz es espontánea al provenir de la irradiación producida por la recombinación del exceso de electrones y huecos. Este exceso es producido por la corriente inyectada y presenta pérdidas bajas de energía. Las posteriores y sucesivas recombinaciones darán lugar al fenómeno conocido como inyección lumínica, siendo la base del funcionamiento de cualquier diodo emisor de luz (LED). [1]

1.3.1 LED de potencia:

Los LEDs representan a una tecnología con varios años en el mercado, sin embargo, recientemente se han dado numerosos avances que ofrecen un sinnúmero de aplicaciones. Los LEDs de potencia son una prueba de este avance, a diferencia de los LEDs convencionales, éstos pueden manejar corrientes entre 350mA y 1.5A, manteniendo un eficiente consumo de potencia, ya que su alimentación típica varía entre 2 y 4 voltios y además poseen mayores niveles de intensidad luminosa que van desde los 30 lúmenes hasta los 150 lúmenes comúnmente. [1]

1.3.2 Ventajas de la tecnología LED:

La tecnología LED ofrece varias ventajas sobre otras lámparas, entre las que destacan: [5]

- a) Capacidad de programación: Los sistemas de iluminación creados con LEDs de potencia permitirán realizar distintas funciones de prendido-apagado, cambios de color, barridos, etc.
- b) Durabilidad: Los LEDs de potencia tienen una duración que varía entre 50000 y 60000 horas.
- c) Eficiencia: Poseen un buen rendimiento de lúmenes por corriente consumida, el promedio es de aproximadamente 70-80lm/350mA.
- d) Brillo y colores: Existen LEDs con alto grado de brillo y colores, esto permite que sean muy útiles y apreciados por diseñadores arquitectónicos, ya que les da mucha versatilidad y originalidad en sus proyectos.
- e) Baja temperatura: Al alimentarse con voltajes bajos y consumir poca potencia, la temperatura de los LEDs es baja.
- f) Mayor rapidez de respuesta: Su respuesta se encuentra en el orden de los microsegundos, permitiendo así su programación para diversos fines.

1.3.3 Áreas de aplicación:

La función primordial de un LED es proveer una fuente de iluminación a una adecuada longitud de onda. Sin embargo, con el desarrollo de LEDs de luz blanca, así como el incremento de su eficiencia lumínica, ha permitido que las aplicaciones de esta tecnología se extiendan rápidamente. Entre sus aplicaciones destacan: [5]

- **Automóviles:** luz interior, luz de señal de giro, luces de freno y retroceso
- **Iluminación doméstica:** iluminación interior, iluminación en piletas y piscinas, iluminación de entradas.
- **Teléfonos celulares y PDA:** iluminación posterior de la pantalla (*backlight*).
- **Indicadores de estado en aparatos electrónicos.**
- **Displays:** contadores digitales, relojes digitales, tableros de resultados
- **Transmisión de datos:** transmisión por fibra óptica, indicadores de dispositivos
- **Televisores LCD y Señales de tráfico**

1.4. Declaración del marco problemático:

Un aspecto importante y determinante en la implementación de un sistema de iluminación exterior en edificios, es la elección del tipo de fuente de emisión de luz, es decir, las luminarias y lámparas a utilizar. Para tal fin existen diferentes tecnologías de iluminación, muchas de ellas con varias ventajas, pero a la vez con grandes desventajas.

El problema en la elección de una tecnología de iluminación correcta, radica en el hecho de que el sistema de iluminación debe cumplir ciertos parámetros, los cuales van a determinar la performance apropiada del sistema implementado. Dichos parámetros son: bajo consumo de energía, alta durabilidad y alta eficiencia lumínica:

Cabe mencionar que las tecnologías convencionales*, en su mayoría, no cumplen del todo con estos requisitos. El reto entonces está en elegir la tecnología de iluminación adecuada y diseñar un sistema que cumpla con los parámetros o requisitos establecidos.

(*) Lámparas incandescentes, lámparas de tungsteno, lámparas de descarga (tubos fluorescentes, lámparas de sodio de alta presión, lámparas de mercurio fluorescente, etc).

CAPÍTULO 2

SISTEMAS DE ILUMINACIÓN CON LEDS DE POTENCIA

2.1 Estado del arte:

La publicidad es uno de los principales medios para difundir o informar al público sobre distintos temas. En el área de publicidad exterior, específicamente en los sistemas de iluminación se han logrado importantes avances no sólo en diseños innovadores, sino también en los materiales empleados, ya sea en las fuentes de luz y alimentación o los materiales de recubrimiento. En este contexto, la ingeniería está muy involucrada, ya que ésta ha permitido el desarrollo y diseño de numerosos elementos eléctricos y electrónicos para el uso en sistemas de iluminación.

Recientemente, los LEDs de potencia están desplazando a los fluorescentes o lámparas de Neón del mercado publicitario en la creación de paneles, debido a su eficiencia, costo y durabilidad. Aparte de esto, están siendo implementados para distintos usos que abarcan desde uso doméstico hasta la industria automotriz. [5]

La tecnología LED representa la mayor revolución en iluminación desde que se inventase la primera bombilla eléctrica y actualmente están llamadas a reemplazar a las lámparas convencionales. La versatilidad que ofrecen los LEDs para sus distintos usos en exteriores, tanto como en interiores, ha permitido el desarrollo de compañías que promueven su uso en distintos lugares del mundo. [11]

En el Perú, aún es escasa la fabricación de sistemas de iluminación utilizando LEDs de potencia, pero se pueden encontrar algunos ejemplos como es el caso del nuevo edificio de Edelnor situado en el distrito de San Miguel en Lima. Este edificio presenta una fachada rodeada de LEDs de un matiz blanco, de los cuales se dice que poseen una durabilidad de 60000 horas, es decir unos 20 años aproximadamente. [12]

Vemos entonces que Lima ha entrado hace pocos años a una especie de vorágine luminosa con la valorización de varios monumentos históricos iluminados y con la construcción de edificios que tienen a la tecnología LED como aliado decorativo.

Por tal motivo surge la iniciativa de aplicar dicha tecnología de iluminación en el Edificio Mac Gregor de la Pontificia Universidad Católica de Perú. El objetivo es iluminar el logo de dicha institución y además colocar un reloj analógico que pueda ser visto a gran distancia.

Alrededor del mundo existen distintos edificios que han utilizado las ventajas de la tecnología LED para explotar su imagen. Estos presentan amplia gama de colores y capacidad de programación. A continuación se presentan algunos de los edificios más famosos que usan esta tecnología:

1.- Lugar: Hotel y casino Hard Rock

País: Estados Unidos - Mississippi

Tipos de LEDs: Sistemas de LED Philips.

Detalles:

Todo el complejo está iluminado con LEDs Philips de potencia, el diseño del sistema de iluminación fue hecho por la compañía *Shop 12* y la instalación de las luminarias por la compañía *4Wall Entertainment*. Entre las dos seleccionaron las mejores luminarias para cubrir las necesidades y las fuentes LED resultó la elección perfecta [13]. Ver figura 2.1.



Figura 2.1. Edificio Hard Rock [13]

2.- Lugar: Edificio Globen Arena

País: Estocolmo - Suecia

Tipos de LEDs: Sistemas de LED Philips.

Detalles:

El Globen es considerado el edificio esférico más grande del mundo ya que mide 110 metros de diámetro y 85 metros de altura.

El diseño de iluminación fue hecho por la compañía sueca *Stockholm Lighting Company AB*, que realizó un pedido de 670 luminarias *Color Blast 12* para iluminar la esfera. Las luminarias están controladas mediante un sistema DMX y a través de

una red inalámbrica. Las posibilidades de los diseños de iluminación son prácticamente infinitas. [13]. Ver figura 2.2.

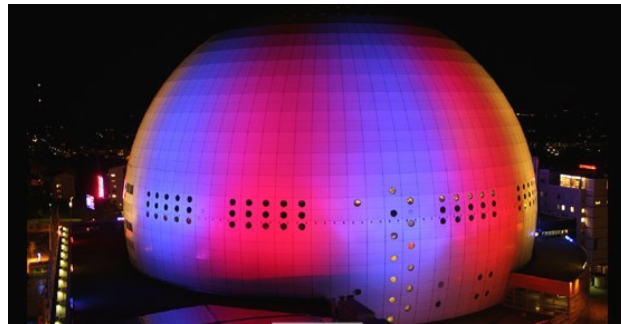


Figura 2.2. Edificio Globen Arena [13]

2.2 Luminarias y lámparas LED:

2.2.1 Fabricantes actuales de LEDs:

Actualmente existen 5 grandes compañías que fabrican LEDs de baja potencia y LEDs de potencia, también conocidos como “*The big five LED manufacturers*”. Estas compañías son: Cree, Lumileds (Philips), Nichia, Osram Opto y Toyoda Gosei. Todas emplean tecnología de punta y se encuentran a la vanguardia en la fabricación de LEDs de potencia. Se sabe que hay numerosas alianzas entre estas compañías, por lo que la tecnología ofrecida suele ser similar entre sus productos. [16]

Antes de mencionar los productos que ofrecen estas compañías, habría que decir que cada uno de estos dispositivos presenta distintos colores para el mismo modelo como son: Blanco (Cool White, Warm White, Neutral White), Verde, Cyan, Azul, Rojo, Naranja, etc. En el anexo 1 se presentan a los diferentes fabricantes de LEDs mediante la comparación de un LED (color blanco), resaltando las principales características que presenta en cada fabricante. Ver anexo 1.

2.3. Circuitos de excitación para LEDs de potencia

2.3.1 Definición de circuito de excitación de LEDs:

Podemos definir a un a un circuito de excitación de LEDs (comúnmente llamado *driver* de LEDs) como un sistema proveedor de potencia eléctrica con circuitería de control, que provee una salida eléctrica con las características que el LED necesita para funcionar eficientemente.

Si el LED va a ser apagado o prendido en determinados instantes o si la intensidad de luz va ser variable, entonces, el circuito de excitación debería incluir un circuito que maneje la variación de corriente del LED, ya que al variar la corriente, la intensidad de luz que se emite también variará. Básicamente existen dos métodos para dicho fin: el uso de la modulación por ancho de pulsos (PWM, *Pulse Width Modulation*, siglas en inglés) y el uso de circuitos de excitación de regulación de corriente. [5]

2.3.2 Tipos de circuitos de excitación para LEDs de potencia

Los actuales LEDs de potencia están diseñados para funcionar a más de 350mA, con voltajes cercanos a 3v por LED. Estos LEDs pueden ser controlados con resistencias en serie para variar la corriente, pero esto produce grandes pérdidas de potencia. Es por eso que, para controlar los nuevos dispositivos de iluminación con LEDs, se usa la electrónica de potencia para evitar pérdidas de energía y tener un control adecuado de la corriente. En tal sentido, se usa corriente pulsante controlada mediante PWM y topologías basadas en elevadores DC-DC. [7] [6]

Actualmente existen varios *drivers* de LEDs de potencia y cada uno es usado según sus características para distintas aplicaciones. Pueden incluir reguladores de corriente o controladores PWM para la variación de voltaje (*dimming*) o variación de luz, esto depende del fabricante/diseñador o según la aplicación específica. [5] [4]

Dentro de los *drivers* de regulación de corriente, existen los *drivers* de fuentes lineales y los *drivers* de fuentes *switching*. Los primeros, sólo limitan la corriente que entregan a la carga y la variación de luz (*dimming*) resulta bastante compleja.

Las desventajas de los reguladores lineales básicamente son la baja eficiencia, el gran espacio ocupado por sus componentes (generalmente se necesitan grandes

capacitores) y una de sus limitaciones más evidentes es la imposibilidad de tener un voltaje de salida mayor al del voltaje de entrada. [4]

Pero el tipo de *driver* más usado para LEDs de potencia es el de fuentes *switching* (basado en el manejo de corriente pulsante), básicamente por razones de eficiencia, ya que se pueden alcanzar valores de 75 a 90% de eficiencia. [4] [7]

A continuación se detallan algunos de los *drivers* más usados en el control de LEDs de potencia (basados en modo *switching* y elevadores DC-DC), su uso varía según cada aplicación.

A. Convertidor Buck o Step Down:

El convertidor Buck es el *driver switching* más simple, y es usado en aplicaciones donde el voltaje de la carga nunca es mayor que el 85% de la fuente de voltaje. Este límite es cercano a 85% debido al retardo de las conmutaciones del sistema de control. En el circuito del convertidor *buck*, se usa comúnmente un transistor MOSFET de potencia para conmutar la fuente de voltaje a través de un inductor y la carga de LEDs conectados en serie. El inductor es usado para almacenar energía cuando el MOSFET está conduciendo corriente (región ohmica); esta energía es usada para proveer corriente a los LEDs cuando el MOSFET está apagado. Se usa un diodo en paralelo con el LED y la bobina o inductor para definir el camino de retorno de corriente cuando el MOSFET esté apagado. En la figura 2.3 se muestra un esquemático simple de este *driver*. [4]

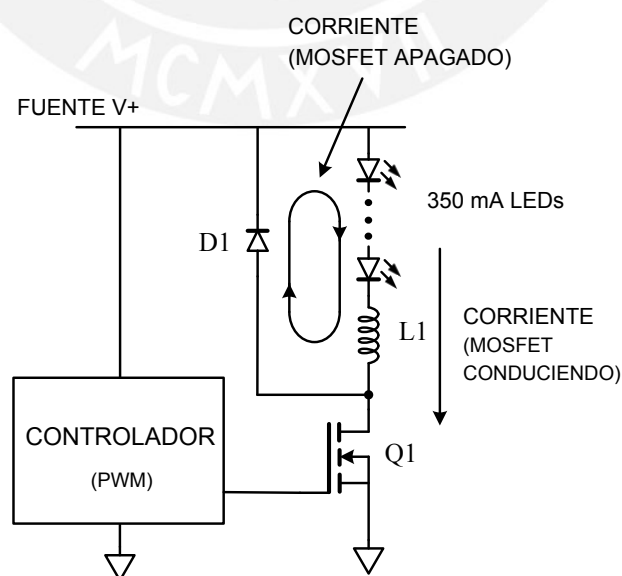


Figura 2.3. Driver para LEDs Buck [4]

B. Convertidor Boost o Step-Up:

Los convertidores *Boost* (ver figura 2.4) son ideales para aplicaciones de *driver* donde el voltaje del arreglo de LEDs es mayor que la entrada de alimentación (esto debido a que básicamente el convertidor es un elevador DC-DC). Normalmente, un convertidor *Boost* es usado sólo cuando el voltaje de salida mínimo es aproximadamente 1.5 veces el voltaje de entrada. [4]

La figura 2.4 muestra un esquemático de este convertidor.

Características:

- Este convertidor puede ser fácilmente diseñado para operar a eficiencias mayores a 90%.
- El MOSFET y el arreglo de LEDs en serie están conectados a una tierra común. Esto simplifica el sensado de la corriente de los LEDs, esto en caso se quiera realizar un sistema de control en lazo cerrado. [7]
- La corriente de entrada puede ser continua, lo que hace que sea fácil el filtrado del rizado de entrada.

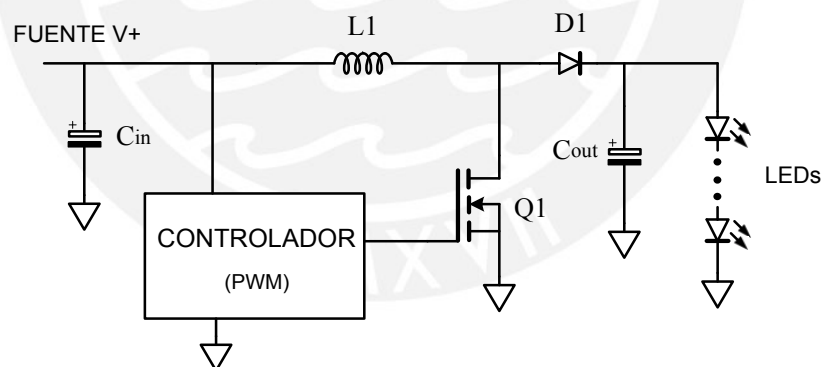


Figura 2.4. Esquemático simplificado del convertidor Boost [4]

Lamentablemente este convertidor tiene algunas desventajas cuando es usado como *driver* de LEDs, las cuales se detallan a continuación: [4]

- La salida de corriente del convertidor es de forma pulsante. Por tal razón, se tiene que usar un gran capacitor para reducir el rizado de la corriente para los LEDs.

- El gran capacitor de la salida hace que la variación de voltaje a la salida mediante PWM (*Dimming PWM*) sea más complicada.

C. Convertidor Boost - Buck:

La topología *boost-buck* es un simple conmutador, que consiste en un convertidor *boost* seguido por un convertidor *buck* en cascada. En la figura 2.5 se muestra un esquemático típico de esta topología usado como *driver* para LEDs. [4]

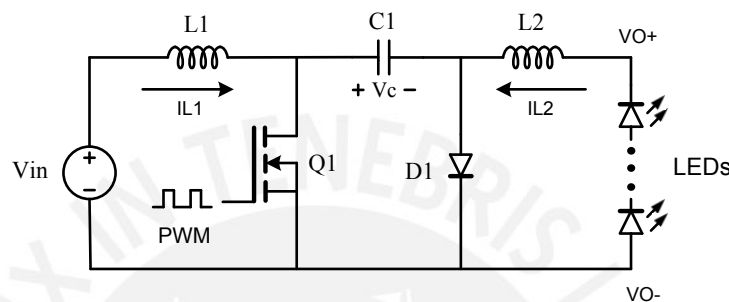


Figura 2.5. Esquemático convertidor Boost – Buck [4]

Este convertidor tiene varias ventajas, a continuación se detallan algunas: [4]

- Este convertidor tiene las propiedades de los convertidores *buck* y *boost*, es decir baja y sube el voltaje de entrada. Esto es ideal en caso en los que la salida de voltaje para el arreglo de LEDs puede estar por abajo o por arriba del voltaje de entrada.
- La topología presenta inductores en la entrada y en la salida, con lo cual se consiguen corrientes continuas con poco rizado sin necesidad de usar capacitores para el filtrado.

Conclusiones:

El convertidor *boost-buck* es ideal cuando el voltaje de la carga de LEDs puede ser mayor o menor al voltaje de alimentación. Cuando la diferencia de voltaje, entre la entrada y la carga, no es mayor a 20% se puede usar el convertidor *boost-buck*; cuando la diferencia es mayor al 20% usar la topología *buck* y cuando la diferencia es mucho menor al 20% usar la topología *boost*. Tener en cuenta que la topología *boost-buck* es la menos eficiente. [4]

D. Convertidor Fly-back:

Para cargas de potencia en niveles menores a 100W, el convertidor *Fly-back* es el favorito para todo tipo de aplicaciones de iluminación con LEDs de potencia, básicamente por su eficiencia y simplicidad de operación. [7]

El convertidor Fly-back más común usa un inductor con al menos dos bobinados (transformador). Por lo tanto, considerando dos bobinados; uno sería el primario, el cual está conectado a la fuente de poder y a un conmutador (podría ser un MOSFET) y éste con el surtidor a tierra; el otro bobinado es el secundario, que estaría conectado a la carga (en este caso a los LEDs). El circuito es implementado de tal forma que la energía magnética es almacenada en la bobina primaria cuando el MOSFET está conduciendo corriente. Cuando el MOSFET no conduce corriente, la energía es liberada en forma de corriente saliendo de la bobina secundaria. Esto se muestra en la figura 2.6.

Básicamente lo que hace tan populares a esta topología es su eficiencia, que supera el 90%. Pero también presenta algunas desventajas, como el uso de otro tipo de dispositivos (zener: U_z) para compensar las inductancias de fuga del transformador (*leakage inductances*). Además la forma de onda de corriente que llega los LEDs puede causar problemas de interferencia electromagnética (EMI, siglas en inglés). [4] [7]

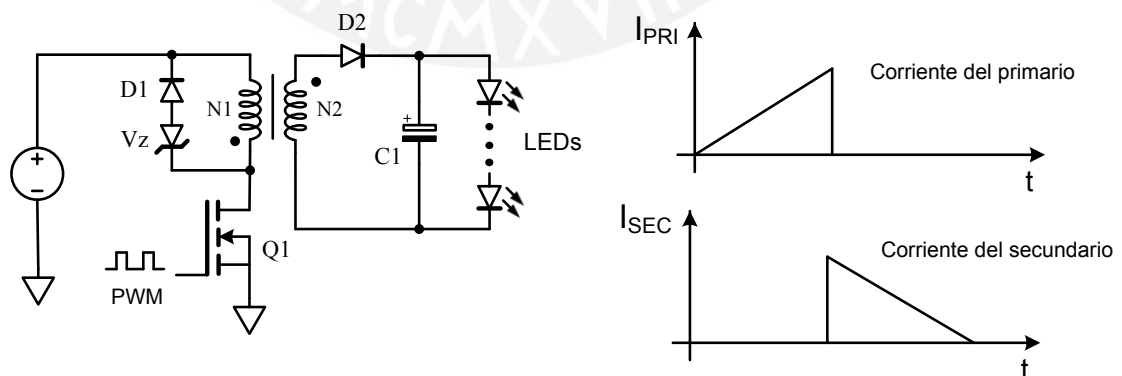


Figura 2.6. Esquemático convertidor Fly – Back y diagrama de corrientes [4]

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE LOS SUBSISTEMAS DE LUMINARIAS Y CIRCUITOS DE EXCITACIÓN DE LEDS DE POTENCIA

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis principal

Dado que las tecnologías convencionales de iluminación* no cumplen con parámetros tales como: alta eficiencia lumínica, alta durabilidad y bajo consumo de potencia eléctrica, los cuales son requisitos indispensables para asegurar la correcta performance de un sistema de iluminación arquitectónico; entonces, se plantea la implementación de un sistema que use tecnología de iluminación en estado sólido, es decir, usando LEDs de potencia, los cuales aseguran altos índices de eficiencia, durabilidad y un gran ahorro de energía eléctrica, además de conseguir una gran gama de efectos y colores; teniendo así un sistema de iluminación con tecnología de última generación.

(*) Lámparas incandescentes, lámparas de tungsteno, lámparas de descarga (tubos fluorescentes, lámparas de sodio de alta presión, lámparas de mercurio fluorescente, etc).

3.1.2 Hipótesis secundarias

- a). La tecnología LED está siendo utilizada cada vez más en iluminación arquitectónica, no sólo por las características mencionadas en la hipótesis, sino además por presentar una gran cantidad de colores, fuentes compactas de alimentación, también por tener luminarias ligeras que pueden ser colocadas en lugares poco accesibles y por presentar una escasa o nula labor de mantenimiento.
- b). Buenos sistemas de circuitos de excitación (*drivers*) de luminarias, algoritmos de procesamiento, e interfaces de comunicación, aseguran una gran cantidad de efectos visuales, con lo cual se consigue un sensacional impacto decorativo.
- c). Para diversas áreas de iluminación se pueden utilizar conductos hechos de materiales de plástico, PVC, o fibra de vidrio, o materiales acrílicos que permitan difuminar y uniformizar la luz emitida por los LEDs. Los difuminadores hechos de acrílico son los más usados en iluminación decorativa, ya que presentan mejores resultados, pero resultan más caros.

3.2. Objetivos

3.2.1 Objetivo general

Diseño de los subsistemas de luminarias y de circuitos de excitación de un sistema de iluminación exterior en el edificio Mac Gregor mediante la iluminación del logo PUCP usando tecnología de LEDs de potencia.

3.2.2 Objetivos específicos

- 1) Diseñar las luminarias en base a LEDs de potencia, teniendo en cuenta la técnica de iluminación para cada parte del logo en base a los requerimientos de iluminación.
- 2) Diseñar la estructura mecánica de soporte de las luminarias y que pueda ser fácilmente accesible para mantenimiento correctivo y preventivo de las luminarias.
- 3) Diseñar los circuitos de excitación (*drivers* de potencia) adecuados para manejar los LEDs. Dichos circuitos deben cumplir con las especificaciones de eficiencia y bajo consumo.
- 4) Presentar resultados de consumo de energía, costos de implementación y tiempo estimado de ejecución de todo el proyecto.

3.3 Consideraciones preliminares

3.3.1 El edificio Mac Gregor:

El complejo R.P Felipe. E. Mac Gregor se encuentra ubicado a la entrada de la puerta principal del campus de la Universidad Católica. Es un conjunto de tres edificios interconectados mediante puentes metálicos que albergan aulas multiuso, laboratorios y diversas oficinas administrativas. En la figura 3.1a). se puede apreciar al complejo Mac Gregor. [18]

Los edificios tienen las siguientes características:

- Edificio A: compuesto por 5 pisos, alberga aulas multiuso y cafeterías.
- Edificio B: compuesto por 5 pisos, alberga aulas multiuso.
- Edificio C: compuesto por 12 pisos, alberga oficinas de atención al cliente y salones de cómputo en los primeros niveles; mientras que en los niveles superiores alberga oficinas administrativas. [18]



a).



b).

Figura 3.1 a). Edificio Mac Gregor b). Logo PUCP [18]

3.3.2 Características del logo PUCP:

El logo PUCP se caracteriza por lo siguiente: (Ver figura 3.1b)

- Tiene forma circular en cuyo interior se encuentran tres elementos básicos: las olas de mar en color blanco (tres olas), un barco de color ámbar con velas blancas, y una estrella de color blanca. Todo eso en fondo azul oscuro y azul claro en la parte de las olas.
- En la parte superior del logo se encuentran unas letras que dicen: “*ET LUX IN TENEBRIS LUCET*”. En total serían 20 letras en color rojo.
- En la parte inferior del logo se encuentra una franja roja, en cuyo interior se encuentran unas letras que dicen: “*MCMXVII*”. En total serían 7 letras en color blanco.

3.4 Requerimientos del sistema de iluminación

a) Ubicación del logo PUCP:

El requerimiento más importante sería sin duda la ubicación del logo en el edificio Mac Gregor. El logo estaría ubicado en el edificio C del complejo, es decir, el edificio de 12 pisos. El logo se colocaría en la parte más alta y en el lado que da hacia la avenida Universitaria. Ver figura 3.2.

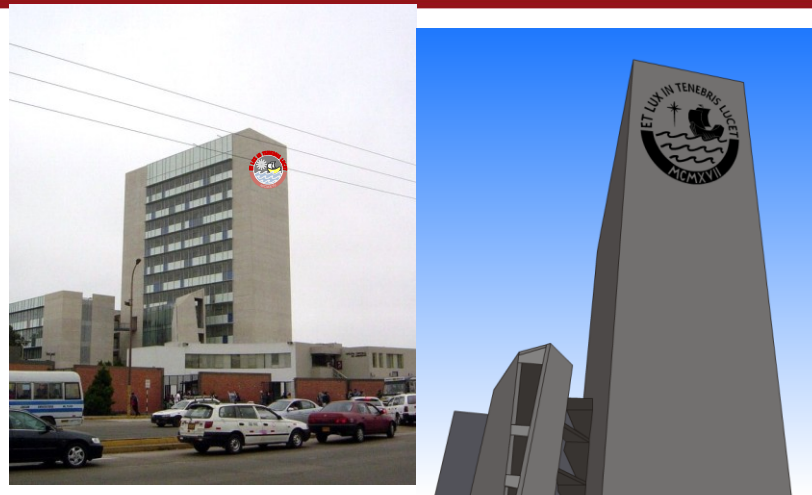


Figura 3.2. Ubicación del logo en el edificio Mac Gregor.

b) Dimensiones del logo:

Teniendo en cuenta que el largo de la base del edificio es de 12 metros, se pueden deducir las demás dimensiones del logo. Por lo tanto se toma en cuenta que el diámetro del logo tendría un aproximado de 10 metros. En la figura 3.3 y en tabla 3.1, se pueden visualizar las demás medidas de los elementos del logo.

Tabla 3.1. Medidas de los componentes del logo PUCP

• Radio total del logo: 4.98m	• Olas de mar: alto: 78 cm
• Radio de circunferencia interna: 3.78m	• Velas de barco: alto: 1.68m, ancho: 1.25m
• Letras superiores: alto: 91cm, ancho: 44cm	• Barco: alto: 1.27m, ancho: 3.42m
• Estrella izquierda: radio: 1.37m	• Ancho de edificio: 12m

c) Efectos de iluminación:

A continuación se detallan algunos requerimientos y efectos básicos de iluminación del logo. Son básicos puesto que en el diseño posterior se podrían conseguir muchos más efectos, todo dependiendo de la flexibilidad del modelo.

Se requieren los siguientes efectos de iluminación básicos:

- Las letras superiores que dicen *ET LUX IN TENEBRIS LUCET*, se necesitan iluminar rotularmente, es decir se debe iluminar toda la figura de la letra. El color de las letras sería rojo y debería tener algún efecto de encendido y apagado

progresivo de cada letra de izquierda a derecha o al revés, y se debería variar la intensidad de iluminación.

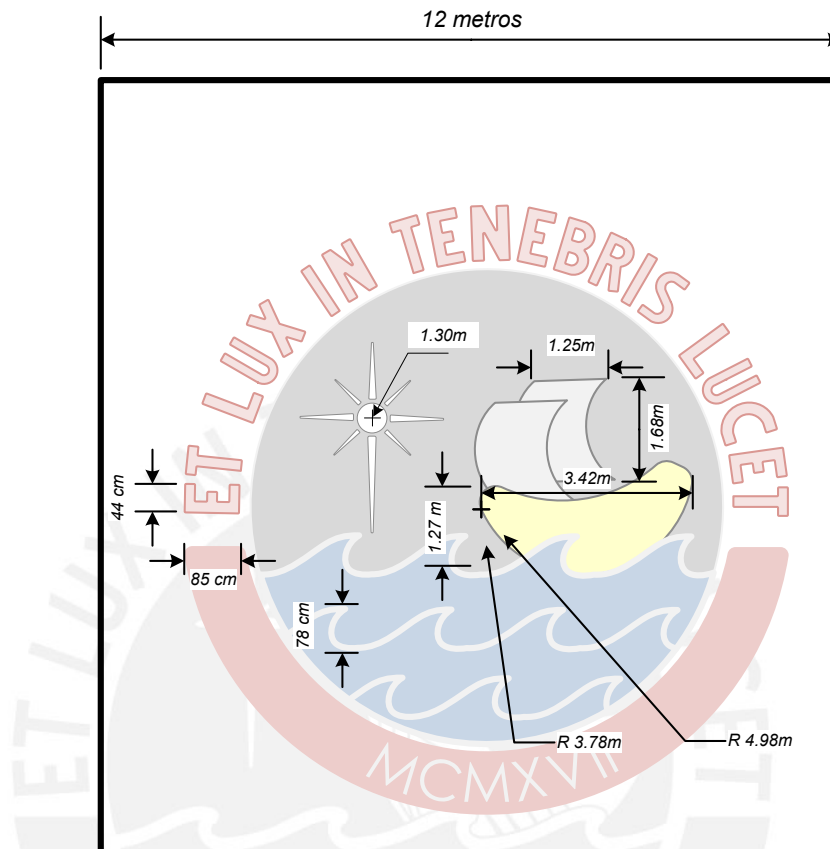


Figura 3.3. Medidas de los componentes del logo PUCP

- Las letras inferiores que dicen *MCMXVII* deberían estar iluminadas rotularmente y de color blanco. Se debería variar la intensidad iluminación como efecto decorativo.
- Las olas de mar del logo se deberían iluminar rotularmente. El color de las olas sería blanco y se debería encender progresivamente cada ola y jugar con el nivel de intensidad de luz.
- El barco, las velas de barco y la franja roja inferior, y el fondo del círculo interior (cielo mar), deberían estar iluminados con iluminación de fondo.
- En la parte donde se encuentra la estrella del logo, se colocaría un reloj analógico en base a los rayos de la estrella, es decir, habrían 12 puntas (las 12 horas del día). Todo un rayo encendido sería el minutero y un rayo a mitad de encendido sería el horario. Entonces el minutero sólo marcaría cada 5 minutos.

3.5 Diagrama de bloques del sistema de iluminación

En base a los requerimientos mencionados anteriormente se establece a continuación el diagrama de bloques básico que solucionaría el problema.

3.5.1 Diagrama de bloques del sistema completo

El sistema de iluminación consiste básicamente en dos sistemas bien definidos, pero que interactúan dentro del mismo sistema completo. Ver Figura 3.4.

El *sistema electrónico* es el encargado de controlar las secuencias de prendido y apagado, efectos, y manejo de intensidades de las luminarias.

El *sistema mecánico* es básicamente la estructura mecánica que contiene al arreglo de LEDs dispuestos de tal manera que se consiga iluminar el logo. También comprende las estructuras donde estarían los LEDs, los difuminadores de luz, y los acoples de la estructura en el edificio y la estructura de acceso a todo el logo para su mantenimiento.



Figura 3.4. Diagrama de bloques del sistema completo

3.5.2 Diagrama de bloques del sistema electrónico

Consta de los siguientes subsistemas. Ver Figura 3.5.

- **Subsistema de control:** es la parte relacionada a manejar mediante software el prendido y apagado de los LEDs, es decir, esta parte comprende al micro-procesador o micro-controlador u otros dispositivos digitales encargados del control de las luminarias. Se puede considerar que el usuario pueda tener acceso a modificar los efectos de iluminación mediante alguna interfaz de usuario o computadora.
- **Subsistema de comunicación de datos: (Red de datos)** es el encargado de realizar la comunicación entre el sistema de control y la parte de potencia. Es

necesario debido a las grandes distancias y a la gran cantidad de LEDs a manejar, lo cual se verá más adelante.

- **Subsistema de circuitos de excitación (Drivers de potencia):** viene a ser el sistema electrónico de potencia encargado de proveer la potencia necesaria para el funcionamiento de los LEDs, el cual está controlado mediante el subsistema de control. Pueden existir un tipo de *driver* o varios tipos dependiendo de la aplicación y el número de LEDs a manejar.
- **Subsistema de luminarias:** básicamente son los arreglos de LEDs que van a iluminar las diferentes partes del logo PUCP. La cantidad de LEDs depende del nivel de iluminación en cada parte y del arreglo mecánico o estructura de acople que se usará para sostener a las luminarias. Es por este motivo que en el diagrama de bloques se esquematiza la relación entre las luminarias y las estructuras mecánicas.
- **Subsistema de alimentación:** se basa en la fuente de alimentación de potencia que suministraría energía a todo el sistema.



Figura 3.5. Diagrama de bloques del sistema electrónico

3.6 Diseño del Subsistema de Luminarias

El diseño del subsistema de luminarias consta del modelo de iluminación, la estructura mecánica de las luminarias y adicionalmente se compone del sistema de acceso a la estructura mecánica para el mantenimiento de las luminarias.

a). Modelo de iluminación: es la forma en la cual se va a iluminar el logo, en otras palabras es el conjunto de técnicas y estrategias de iluminación a utilizar para conseguir iluminar las distintas partes del logo. Para determinar

el modelo de iluminación se debe tomar en cuenta tanto los efectos, el flujo lumínico de los LEDs, las estructuras mecánicas de los arreglos de luminarias, el cableado del sistema eléctrico, etc.

b). Estructura mecánica de las luminarias: básicamente consiste en el diseño de la forma de cada estructura a iluminar, la cantidad de LEDs, y además los materiales de dichas estructuras. Asimismo, se considera la elección de los difuminadores de luz, cuya función es la de distribuir y uniformizar la luz.

c). Acceso a la estructura mecánica: se compone del sistema de acceso a toda la estructura mecánica para el mantenimiento de las luminarias.

3.6.1 Modelo de iluminación:

Para la determinación del modelo de iluminación se tuvo que consultar diferentes técnicas de iluminación en libros especializados, catálogos de iluminación de grandes empresas en el rubro, datos técnicos y hojas de aplicación de diferentes sistemas de luminarias y lámparas. Ver la parte de Técnicas de iluminación en el Anexo 2.

Definición del modelo de iluminación:

A continuación se enuncia el modelo de iluminación tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Debido a que detrás del logo se colocarán diferentes dispositivos electrónicos y el cableado eléctrico, se escoge la técnica de iluminación detrás de acrílicos en el plano de la base para todo el sistema de iluminación. La figura 3.6 muestra un ejemplo del modelo de iluminación escogido.

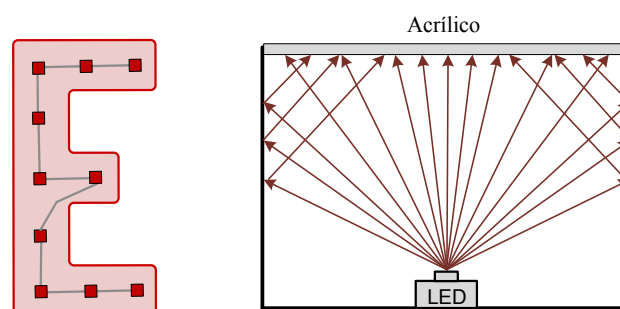


Figura 3.6 Vista superior y transversal del modelo de iluminación

- El logo se iluminará mediante las siguientes secciones:
 - 1). Las letras superiores rojas, serán estructuras de iluminación independientes, es decir, habrá una luminaria (varios LEDs) por cada letra.
 - 2). El círculo interior (cielo, mar) del logo será una sola estructura, para conseguir las diferentes formas interiores se colocarán divisiones que permitan conseguir las formas a iluminar.
 - 3). La franja roja inferior será una sola estructura. Para conseguir las letras blancas internas se colocarán divisiones que permitan conseguir las formas a iluminar.

3.6.2 Estructura mecánica de las luminarias:

En esta sección se establece el diseño de las luminarias de cada parte del logo, es decir, el tipo de LEDs, la cantidad de LEDs, los materiales de la estructura, los difuminadores, etc. Todo ello basado en el modelo de iluminación antes anunciado.

Para establecer los criterios de elección y requerimientos del flujo luminoso de los LEDs, la cantidad de LEDs, la distancia entre ellos, las dimensiones de las estructuras y los materiales de difuminadores, se harán en base a los sistemas integrados de las compañías internacionales: *Philips Lumileds* [22] [23] [24] y *OSRAM Semiconductors*. [25][26][27][28]. Estos sistemas son usados en iluminación de letras, paneles publicitarios y se usan con técnicas de iluminación detrás de acrílicos con LEDs de potencia.

En el Anexo 2, se encuentra el diseño detallado de cada estructura de iluminación.

Consideraciones de diseño:

- LEDs: Se usarán los LEDs Golden Dragon de OSRAM Semiconductors, básicamente por su facilidad de importación y precio. En el anexo 2 se encuentra un análisis detallado de los criterios de selección.
- Difuminadores: se usará el difuminador Acrílico OPAL para todo el sistema de difuminación, por ser uno de los mejores en el mercado.
- Estructura metálica de la luminaria: se utilizará el metal platina por ser liviano y barato. Servirá de base para la estructura y para las divisiones internas.

- Para la disipación de calor de los LEDs se usarán barras de aluminio que irán en la base de las estructuras.
- Se usará pintura Latex blanca para pintar todo el interior de las luminarias y así lograr una mejor reflexión de los rayos de luz.
- Se usará pintura de Sincromato para evitar la oxidación de los metales.
- Se usará soldadura de punto azul para la unión de las estructuras metálicas.

En la tabla 3.2 se muestra un resumen del tipo y número de LEDs a utilizar en cada parte del logo. Como se observa se necesitan entonces 718 LEDs de potencia para toda la iluminación del logo.

En el anexo 3 se muestra el plano de colocación de LEDs en el logo PUCP.

Tabla 3.2 Números totales de LEDs

<i>Parte de logo</i>	<i>LED</i>	<i>Color</i>	<i>Corriente</i>	<i>Voltaje</i>	<i>Flujo luminoso</i>	<i>Número total de LEDs</i>
<i>Letras superiores</i>	OSRAM LED golden Dragon	Rojo	400mA	2.2V	47lm	173
<i>Franja inferior</i>						114
<i>Reloj</i>						68
<i>Olas</i>	OSRAM LED golden Dragon	Blanco	350mA	3.2V	58lm	90
<i>Letras inferiores</i>						49
<i>Estrella</i>						43
<i>Velas</i>						34
<i>Barco</i>	OSRAM LED golden Dragon	Ámbar	400mA	2.2V	55lm	39
<i>Fondo(mar y cielo)</i>	OSRAM LED golden Dragon PLUS	Blanco	350mA	3.2V	75lm	108
Total LEDs:						718

3.6.3 Acceso a la estructura mecánica:

El objetivo del diseño de un acceso a la estructura mecánica es básicamente para el mantenimiento correctivo o preventivo del sistema eléctrico y electrónico de todo el logo, es decir, acceso de una persona a gran parte de las estructuras de las luminarias.

Se considera que el acceso al logo se haga por la parte trasera a éste, y se tenga un espacio de separación de 60cm a 1 metro entre toda la estructura del logo y la pared del edificio. Las tres estructuras (letras superiores, círculo interior y franja inferior) irían acopladas a la pared independientemente. Luego, para tener acceso a las luminarias se harían compuertas para manipular y hacer el cambio de los dispositivos electrónicos o LEDs.

Se accedería al logo mediante unas escaleras que vendrían del techo del edificio. Habrían escalones y pisos (5 pisos espaciados cada 2 metros) a lo largo del logo para que una persona pueda desplazarse con tranquilidad y realizar la reparación. Ver figura 3.7.

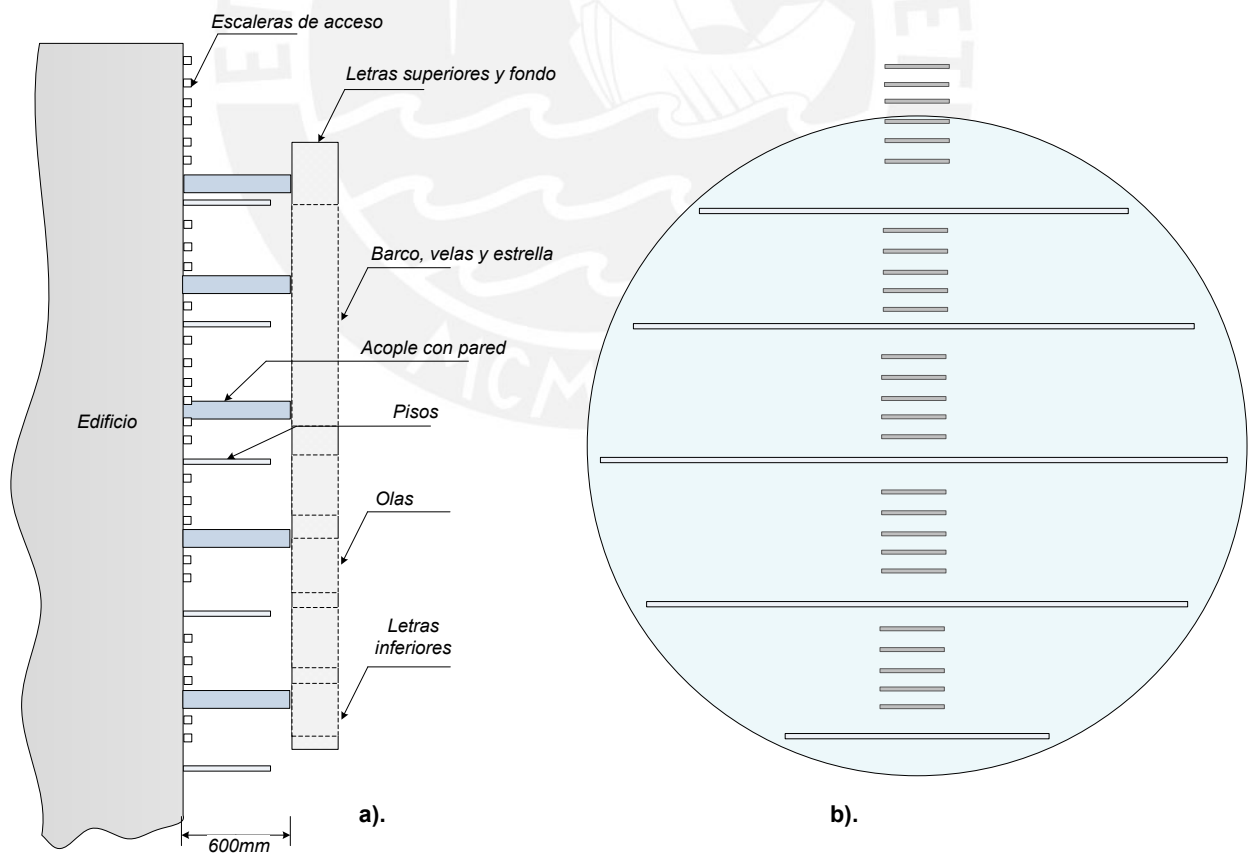


Figura 3.7. Sistema de acceso

3.7 Diseño del Subsistema de Circuitos de Excitación (*Drivers*)

El sistema de circuitos de excitación se basa en el diseño de la parte electrónica para proveer la potencia necesaria y la señal de control para manejar los LEDs de potencia. Cabe resaltar que el sistema tendría varios circuitos de excitación (*drivers*), puesto que son varias decenas de LEDs.

3.7.1 Consideraciones previas

- Los *drivers* de LEDs tienen que brindar una alta eficiencia, debido a que estamos manejando grandes cantidades de LEDs para todo el arreglo. Para este caso las fuentes lineales quedan descartadas debido a la poca eficiencia que ofrecen. Fuentes conmutadas y elevadores DC-DC son una excelente opción para conseguir una alta eficiencia.
- En el mercado existen circuitos integrados que son diseñados exclusivamente para manejar LEDs de potencia, como el LM3409 de National Semiconductors. Pero estos circuitos integrados necesitan de toda una circuitería externa (como resistencias, condensadores, inductancias, transistores) para poder funcionar. Para grandes cantidades de LEDs, estos sistemas resultan muy ineficientes debido al tiempo invertido en implementaciones, pruebas, montajes, mano de obra, compra de componentes, etc. En este caso se debería buscar sistemas integrados que sean más fáciles de instalar para reducir tiempos y aumentar la eficiencia del sistema.
- Para conseguir los efectos de iluminación en el logo PUCP y en base a la distribución de LEDs que se realizó, se debe hacer agrupaciones de LEDs desde unos 5 a 10 LEDs (un driver por cada agrupación y con control independiente de intensidad de luz).

Tomando en consideración tales consideraciones se procede a establecer los siguientes requerimientos para el sistema de drivers de LEDs.

3.7.2 Requerimientos del circuito de excitación:

- Corriente de trabajo: 350mA – 400mA. Rango basado en los LEDs escogidos en la sección de luminarias.
- Capaz de manejar de 5 LEDs a más.

- La eficiencia eléctrica debe ser alta (mayor al 90%).
- Basado en fuentes conmutadas o elevadores (convertidores Buck, Boost o Buck- Boost).
- Posibilidad de control mediante modulación por ancho de pulso (PWM) para variar la intensidad de luz de los LEDs.
- Debería tener sistemas de protección ante corto circuito.
- El voltaje de alimentación del driver debería ser un valor estándar de voltaje, esto debido al hecho de tener la facilidad de escoger una fuente de voltaje comercial para todo el sistema.
- Debería presentar protección IP66, el máximo estándar de protección ante condiciones ambientales (humedad, lluvia, polvo, golpes).

3.7.3 Diseño del circuito de excitación (driver)

El circuito de excitación se compone en dos partes: una fuente de corriente, y la electrónica necesaria para poder variar la intensidad de luz del LED.

En base a las consideraciones previas y a los requerimientos, se seleccionaron dos fuentes de corriente de la compañía *LEDdynamics*, las cuales se detallan a continuación:

Tabla 3.3 [29]

Módulo	Corriente de salida	Voltaje entrada	Número de LEDs	Eficiencia	Precio (En USA)
Bucktoot 7027	350mA	5 - 28V	9 LEDs (Vf=2.2V) 6 LEDs (Vf=3.2V)	Hasta 94%	USD 10

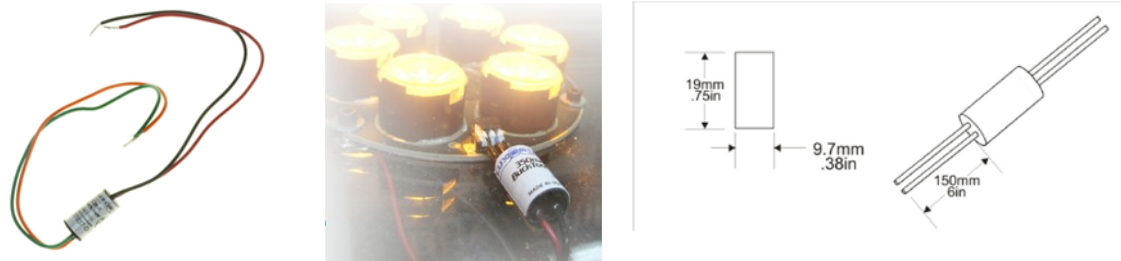


Figura 3.8. Fuente Bucktoot [32]

- **7027 BuckToot – Low voltage LED power module:** es un sistema integrado de regulación de corriente (corriente constante) para LEDs de potencia, basado en convertidores *Buck*. Su salida de voltaje se regula a la cantidad de LEDs a manejar. Se necesita un transistor externo para regular la corriente mediante PWM. [32] Ver Tabla 3.3 y Figura 3.8.
- **4015 BoostPuck – Wide range LED power module:** es un sistema integrado de regulación de corriente para LEDs, basado en convertidores *Boost*. Debido a su sistema de elevadores DC-DC puede manejar más LEDs que la fuente de corriente anterior. Posee un sistema de regulación interna de corriente, es decir, no necesita de componentes externos. [33]. Ver tabla 3.4 y figura 3.9.

Tabla 3.4 [29]

Módulo	Corriente de salida	Voltaje entrada	Número de LEDs	Eficiencia	Precio (En USA)
Boostpuck 4015	350mA	5 - 28V	21 LEDs (Vf=2.2V) 14 LEDs (Vf=3.2V)	Hasta 95%	USD 20

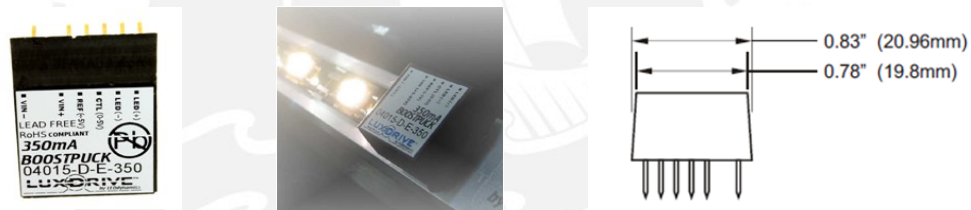


Figura 3.9. Fuente Boostpuck [33]

CONCLUSIÓN: Se escoge entonces la fuente **Bucktoot** básicamente por el precio y además porque cumple perfectamente con los requerimientos. La fuente **Boostpuck** también es buena, pero el precio es elevado y la estaríamos subutilizando por la gran cantidad de LEDs que puede manejar. Por lo tanto la fuente **Bucktoot** se utilizará para alimentar a todos los LEDs del logo.

Para manejar la etapa de control de intensidad de luz se colocará un transistor MOSFET para variar la corriente que llega a los LEDs mediante pulsos PWM en la puerta del transistor. El esquemático del *driver* completo sería el que se muestra en la Figura 3.10.

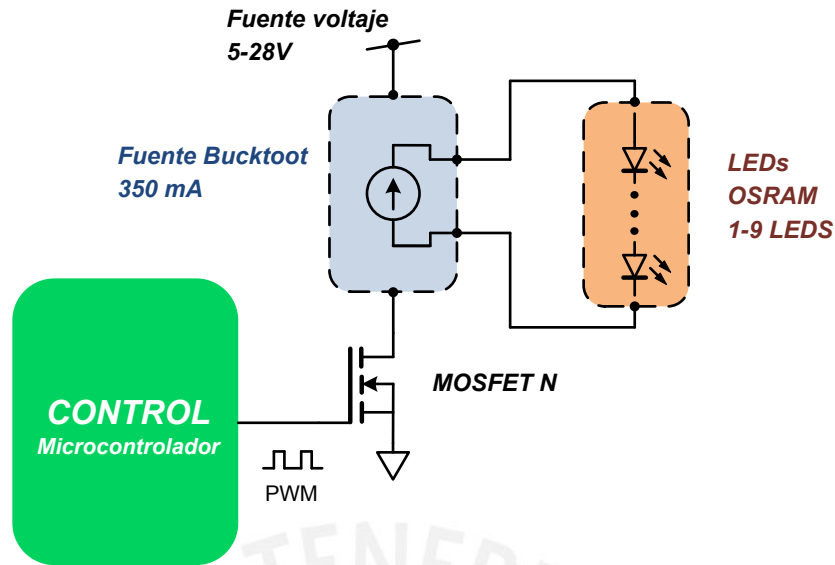


Figura 3.10. Esquemático del sistema de driver de LEDs

Elección del transistor MOSFET:

Requerimientos:

- Mosfet canal N, con RDSS baja (resistencia drenador-surtidor).
- Corriente de drenador mayor a 350mA.

Existen dos opciones: el mosfet IRFIZ24NPBF de International Rectifier y el RFP12N10L de Fairchild. Básicamente tienen las mismas características, pero el segundo es más barato tiene una RDSS menor y además está diseñado para ser controlado directamente desde microcontroladores (VGS de saturación = 5V). En la tabla 3.5 se muestran sus características.

Tabla 3.5 [29]

Transistor	Corriente drenador	Vdss	Rdss	Potencia. Máx	Precio (En USA)
RFP12N10L Fairchild	12A	100v	200mohms @ 10A	60W	USD 0.97

Consideraciones finales:

El *driver* mostrado en la figura 3.10 se utilizará para manejar todos los LEDs en diversas agrupaciones, el microcontrolador escogido proveerá la señal PWM necesaria para variar la intensidad de luz de todos los LEDs.

El *driver* diseñado se compone entonces de la fuente *Bucktoot* y el transistor MOSFET con su disipador de calor. Tendrá la entrada de PWM, la alimentación, y las salidas para los LEDs. Ver figura 3.11



Figura 3.11.

Las especificaciones del *driver* diseñado son las siguientes:

- Voltaje de alimentación: Alim+: 5v – 28v, Alim -: tierra común.
- Corriente de salida: 350mA.
- Señal de control (PWM): proveniente del microcontrolador.
- Conexión de los LEDs: LED+ conexión del ánodo del LEDs, LED- conexión del cátodo del LED. Todos los LEDs a colocar tienen que estar en serie, la salida de voltaje se ajusta a la cantidad de LEDs enseriados.

En la tabla 3.6 se muestra la cantidad máxima de LEDs que se maneja de acuerdo a los LEDs elegidos en la sección de luminarias.

Tabla 3.6

LED	Voltaje LED	Alimentación driver	Número Máx de LEDs
LED1	2.2V	24V	9
LED2	3.2V	24V	6

El Anexo 4 muestra el plano de instalación de los LEDs y cuáles son las agrupaciones de LEDs en cada parte del logo para conseguir los diferentes efectos de iluminación.

El Anexo 5 muestra el detalle de los efectos de iluminación posibles con las agrupaciones de LEDs conseguidas para cada parte del logo PUCP.

3.8 Diseño del Subsistema de Comunicación de datos

El subsistema de comunicación de datos es aquel encargado de realizar la comunicación entre un microcontrolador principal y los *drivers* de potencia de todos los LEDs.

3.8.1 Consideraciones previas

Se tuvo que diseñar un sistema de comunicación de datos por los siguientes motivos:

- a). La gran cantidad de LEDs (alrededor de 700 LEDs de potencia). Con un solo microcontrolador es imposible manejar la cantidad de LEDs deseada y conseguir los efectos de iluminación del requerimiento. Entonces se plantea usar varios microcontroladores esclavos y un microcontrolador maestro, los esclavos servirán básicamente para generar ondas PWM para manejar la intensidad de luz de LEDs e irían ubicados muy cerca a los arreglos de LEDs correspondientes (habrán agrupaciones de LEDs controlados por cada microcontrolador esclavo). El microcontrolador maestro manejará a todos los esclavos para conseguir los efectos de iluminación adecuados y tendrá la posibilidad de comunicarse con una PC para que un usuario programe los efectos deseados.
- b). Las grandes distancias de cableado. Al ser el logo muy grande, implica que el cableado entre dispositivos también lo sea (logo de 10m de diámetro). Por consiguiente, deberá haber una interfaz entre los microcontroladores para evitar problemas de ruido y de caídas de voltaje debido a las grandes distancias. Se tendrá que implementar una red de datos entre el microcontrolador maestro y los esclavos.

3.8.2 Requerimientos del subsistema de comunicación:

El subsistema de comunicación de datos deberá tener los siguientes requisitos.

- Capacidad para manejar un microcontrolador maestro (manda instrucciones y recibe mensajes) y un aproximado de 25 microcontroladores esclavos (recibirán instrucciones y mandarán mensajes de confirmación al maestro).
- Deberá ser lo más inmune posible a ruidos electromagnéticos y ruidos eléctricos para que la comunicación maestro-esclavo sea eficiente.
- La red deberá ser capaz de funcionar para un cableado desde 25 a 50 metros (diámetro del logo 10 metros).

3.8.3 Diseño del subsistema de comunicaciones:

El diseño sólo se basará en el hardware de la interfaz de la red, mas no en el establecimiento del protocolo de comunicación (programación).

a). Interfaz de comunicación: En base a los requerimientos planteados se establecen como posibilidades los siguientes estándares de interfaces seriales de comunicación: EIA-485 (comúnmente llamado RS-485) e EIA-422 (RS-422). El estándar EIA485 es uno de los más versátiles dentro de todos los estándares EIA, esto debido a la cantidad de aplicaciones que posee, las principales características que posee es su gran inmunidad al ruido en grandes distancias y la cantidad de nodos de comunicación que maneja. Es considerado como la extensión del protocolo EIA-422. [35] [36] La tabla 3.7 muestra las características de estos dos estándares.

Tabla 3.7. Estándares. [19] [22]

	<i>EIA - 422</i>	<i>EIA - 485</i>
<i>Modo de operación básico</i>	Diferencial, Half Duplex, Multipunto	Diferencial, Half Duplex, Multipunto
<i>Número de transmisores</i>	1	32
<i>Número de receptores</i>	10	32
<i>Largo de cableado</i>	1200m	1200m
<i>Impedancia de driver</i>	100 ohmios	54 ohmios
<i>Velocidad máx. Comunicación</i>	10Mbps	10Mbps
<i>Rango mínimo de voltajes</i>	±2V	±1.5V
<i>Rango máximo de voltajes</i>	±5V	±5V

Se escoge entonces al estándar EIA-485 básicamente porque todos los receptores (esclavos) pueden transmitir y además porque maneja un mayor número de nodos. (32 esclavos/maestros).

b). Topología de red:

La topología escogida y la que soporta el estándar RS485 es de tipo bus, es decir, todos los nodos de comunicación (maestro y esclavos) estarán conectados a un mismo bus de datos. La comunicación es en *half-duplex*, es decir, la transmisión o recepción de mensajes no se dan al mismo tiempo. Ver figura 3.12

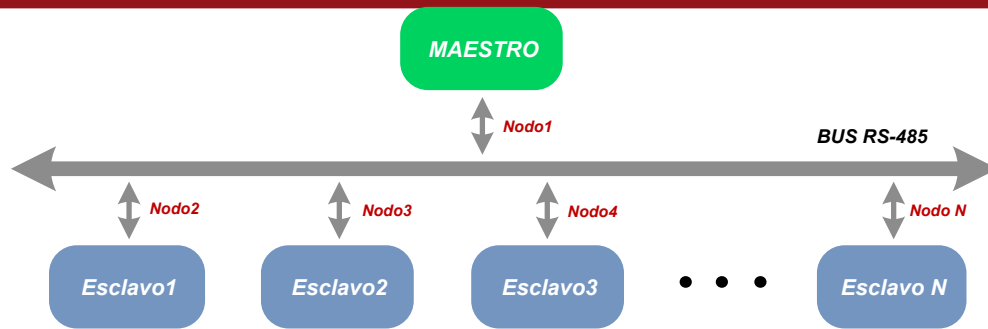


Figura 3.12. Topología BUS con RS-485

El estándar RS-485 es diseñado para ser un sistema balanceado. Necesita de dos cables (distintos a tierra) que son usados para transmitir la señal. Es llamado balanceado porque la señal de un cable es idealmente la misma señal que el otro pero invertida. Esta característica hace que el ruido se reduzca considerablemente ya que el ruido producido por una señal es cancelado por la otra. [37] [40]

Se necesitan traductores (comúnmente llamados transreceptores - *Transceivers* RS-485), dichos *transceivers* contienen un *driver* transmisor y un *driver* receptor para enviar las señales al bus de datos, estos se basan en compuertas triestado que traducen las señales diferenciales a señales seriales y viceversa. La topología de bus del estándar requiere de resistencias de terminación (entre las dos señales diferenciales) al comienzo de la red y al final de la red para evitar reflexiones de la señal (reducen aún más la sensibilidad al ruido). Usualmente estas resistencias tienen el mismo valor que la impedancia de onda del cable usado para el bus de datos (valor recomendado). (Referencia [40]). Por lo general el cableado de bus de datos más usado es del tipo UTP cat5, el cual tiene una resistencia de onda de 120 ohmios, por lo tanto las resistencias de terminación serían de 120 ohmios. (Referencias: [35] [38] [39] [40]) El máximo cableado de bus es de 1200 metros y los nodos pueden estar ubicados en cualquier parte del bus, pero la distancia entre el bus y el nodo debe ser lo más corta posible. [35] [38] [39] [40]. Ver figura 3.13.

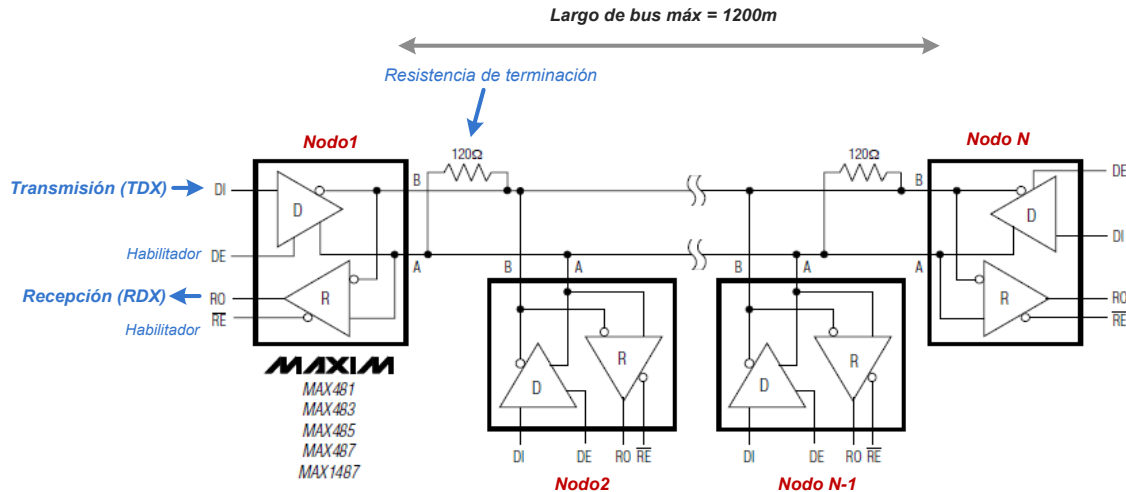


Figura 3.13. Red típica Half Duplex RS-485 [41]

c). Diagrama de bloques de todo el sistema de comunicación:

Como se estableció previamente, el bus de comunicación RS-485 sirve para comunicar a un microcontrolador maestro (encargado de manejar los efectos y el que contendrá el programa principal) y a varios microcontroladores esclavos (controlarán a los LEDs de acuerdo a las instrucciones del maestro y variarán la intensidad de luz mediante PWM).

Adicionalmente, el microcontrolador maestro se comunicará con una PC ubicada remotamente para que el usuario tenga la posibilidad de programar los efectos de iluminación del logo. La comunicación entre el microcontrolador maestro y la PC se hará mediante la interfaz RS-232.

Cada microcontrolador necesita de *Transceivers* para traducir datos seriales de transmisión y recepción (transmisión USART) a señales diferenciales para ser enviadas al bus RS-485. Dicha señal será leída por todos los microcontroladores colocados en el bus, y el *transceiver* realizará la acción inversa de traducción.

Los microcontroladores esclavos basarán su operación en escuchar (recibir mensajes del maestro), mandar mensajes de confirmación y realizar determinadas acciones pedidas por el maestro (encender LED, apagar LEDs y variar intensidad de luz mediante PWM). Estos esclavos manejarán, directamente los *drivers* de potencia de los LEDs y controlarán las diferentes agrupaciones de LEDs.

Se establecen entonces dos tipos de módulos en esta sección:

- Módulo maestro: encargado de mandar órdenes de efectos de iluminación y comunicarse con la PC. Compuesto por un *transceiver* RS485 y RS232, y el microcontrolador maestro.
- Módulo esclavo: se conectaría a la red RS-485, recibirá comandos del módulo maestro y manejará a determinado número de LEDs. Se compone del *transceiver* RS-485, el microcontrolador maestro, y los *drivers* de potencia (dependiendo de cuántos LEDs vaya a manejar).

La figura 3.14 muestra el diagrama de bloques de todo el sistema de comunicación.

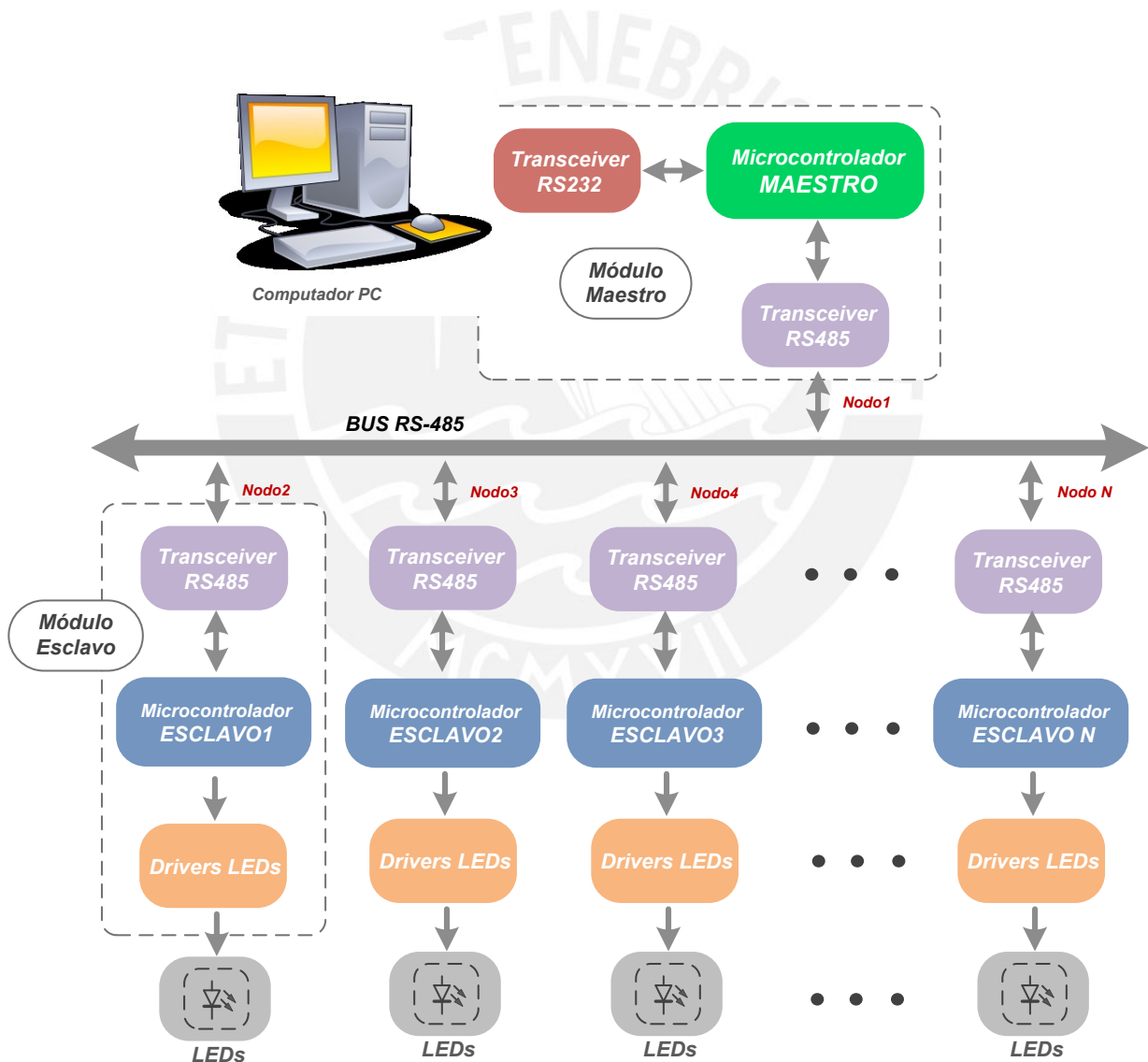


Figura 3.14. Diagrama de bloques red de datos

A continuación se realiza el diseño de cada módulo:

a). Módulo maestro: consta de las siguientes partes: microcontrolador maestro, *transceiver* RS232 y *transceiver* RS485.

Requerimientos del microcontrolador:

- Microcontrolador debe ser capaz de manejar dos comunicaciones seriales (para RS232 y para RS485), es decir, necesitará dos módulos de USART.
- Gran capacidad de memoria capaz de contener toda la programación del protocolo de comunicación.

En esta tesis sólo tenemos ese requerimiento inicial, porque en el subsistema de programación, el cual no abarca la siguiente tesis, se pueden generar otros requerimientos y por lo tanto podría cambiar el dispositivo seleccionado.

Se escoge la familia de microcontroladores ATMEL básicamente por la experiencia personal que se tiene en el manejo de su lenguaje de programación.

Se escoge entonces al microcontrolador ATMEGA162, básicamente por poseer 2 módulos USART de comunicación serial y por la gran capacidad de memoria. En la Tabla 3.8 se muestran las características de este microcontrolador.

Tabla 3.8 [29]

Nombre	Memoria de programa	Conectividad	Número I/O	Velocidad	Alimentación	Precio (En USA)
ATMEGA162 <i>Atmel AVR</i>	16KB	2 USART	35	16MHz (Oscilador interno)	4.5V - 5.5V	USD 6.67

Para los *transceiver* se escogió los circuitos integrados de la compañía MAXIM básicamente por la cantidad de hojas de aplicación que brinda y además porque sus dispositivos son accesibles en el mercado local.

Para la comunicación RS-232 se escogió el *transceiver* MAX-232 (circuito integrado DIP), cuyas características se muestran en la tabla 3.9.

Para la comunicación RS-485 se escogió el *transceiver* MAX-485 (circuito integrado DIP), cuyas características se muestran en la tabla 3.10.

Tabla 3.9 [29]

Nombre	Tipo	Protocolo	Número drivers	Velocidad	Alimentación	Precio (En USA)
MAX232 Maxim	Transceiver	RS232	2	1Mbps	4.5V - 5.5V	USD 4.19

Tabla 3.10 [29]

Nombre	Tipo	Protocolo	Transmisores en bus	Velocidad	Alimentación	Precio (En USA)
MAX485 Maxim	Transceiver Half duplex	RS485 RS422	máx. 32	2.5Mbps	4.75V - 5.25V	USD 2.76

En el anexo 6 se muestra el diagrama esquemático del módulo maestro.

Consideraciones finales:

- El módulo maestro se conectará con la PC vía puerto serial.
- La conexión entre el módulo maestro y los módulos esclavo será con cableado UTP cat5 (impedancia 120ohmios, recomendada por norma). Se usarán conectores RJ45 por el que se transmitirá las señales diferenciales y 12V (que luego serán regulados a 5V en cada módulo esclavo) para la parte de control (circuitos integrados) de todos los módulos esclavos.
- La alimentación general del módulo maestro será de 24V proveniente de una fuente de potencia, luego se regulará a 18V, 12V y a 5V para tener un mejor rendimiento de consumo de potencia y mejor disipación de calor ya que no se necesitarán disipadores muy grandes.

b). Módulo esclavo: consta de las siguientes partes: microcontrolador esclavo, *transceiver* RS485 y *drivers* de LEDs (su cantidad depende de las agrupaciones de LEDs).

Requerimientos del microcontrolador:

- Microcontrolador debe ser capaz de manejar comunicación serial es decir, necesitaría un módulo de USART.
- Debe ser capaz de manejar varias señales de PWM para controlar los LEDs.

De acuerdo a dichos requerimientos se escoge al microcontrolador ATMEGA48PA por el bajo precio, por la capacidad de manejar 6 PWM's, por la alta velocidad

20Mhz, y por la capacidad de configurar interrupciones externas en cada pin de entrada/salida. En la tabla 3.10 se muestran las características de este microcontrolador.

Tabla 3.10 [29]

Nombre	Memoria de programa	Interfaces	Número I/O	Velocidad	Alimentación	Precio (En USA)
ATMEGA48-PA Atmel AVR	4KB	USART, 6 canales PWM	23	20MHz (Oscilador interno)	1.8V - 5.5V	USD 1.18

Para la comunicación RS-485 se escogió el *transceiver* MAX-485 (circuito integrado DIP), cuyas características se muestran en la tabla 3.10.

Consideraciones finales:

- El módulo esclavo se alimenta con 24V de la fuente de potencia para los LEDs y de 12V del módulo maestro (vía cableado de bus UTO cat5).
- Se usan dos conectores RJ45, uno de entrada del bus y otro de salida hacia otro módulo esclavo. Tanto la alimentación de 12V, tierra y la señales del bus viajan por el mismo cableado UTP de 8 hilos.

La figura 3.15 muestra un diagrama de componentes referencial para el módulo esclavo.

La figura 3.16 muestra el diagrama esquemático del Módulo Maestro

La figura 3.17 muestra el diagrama esquemático del Módulo Esclavo.

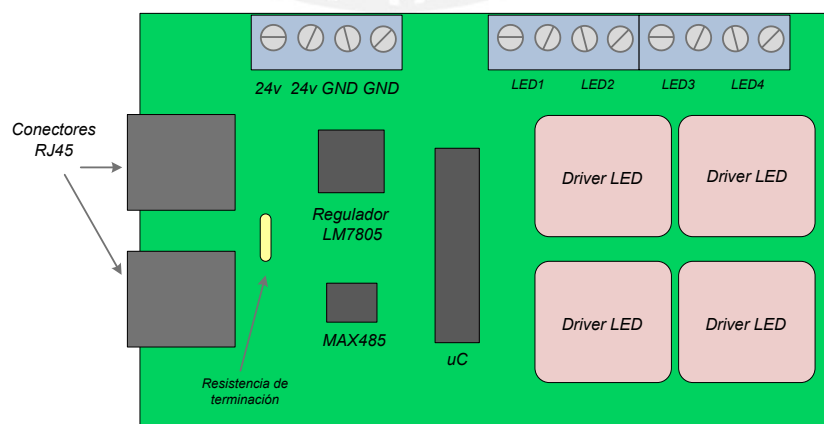


Figura 3.15. Diagrama de compontes módulo-esclavo

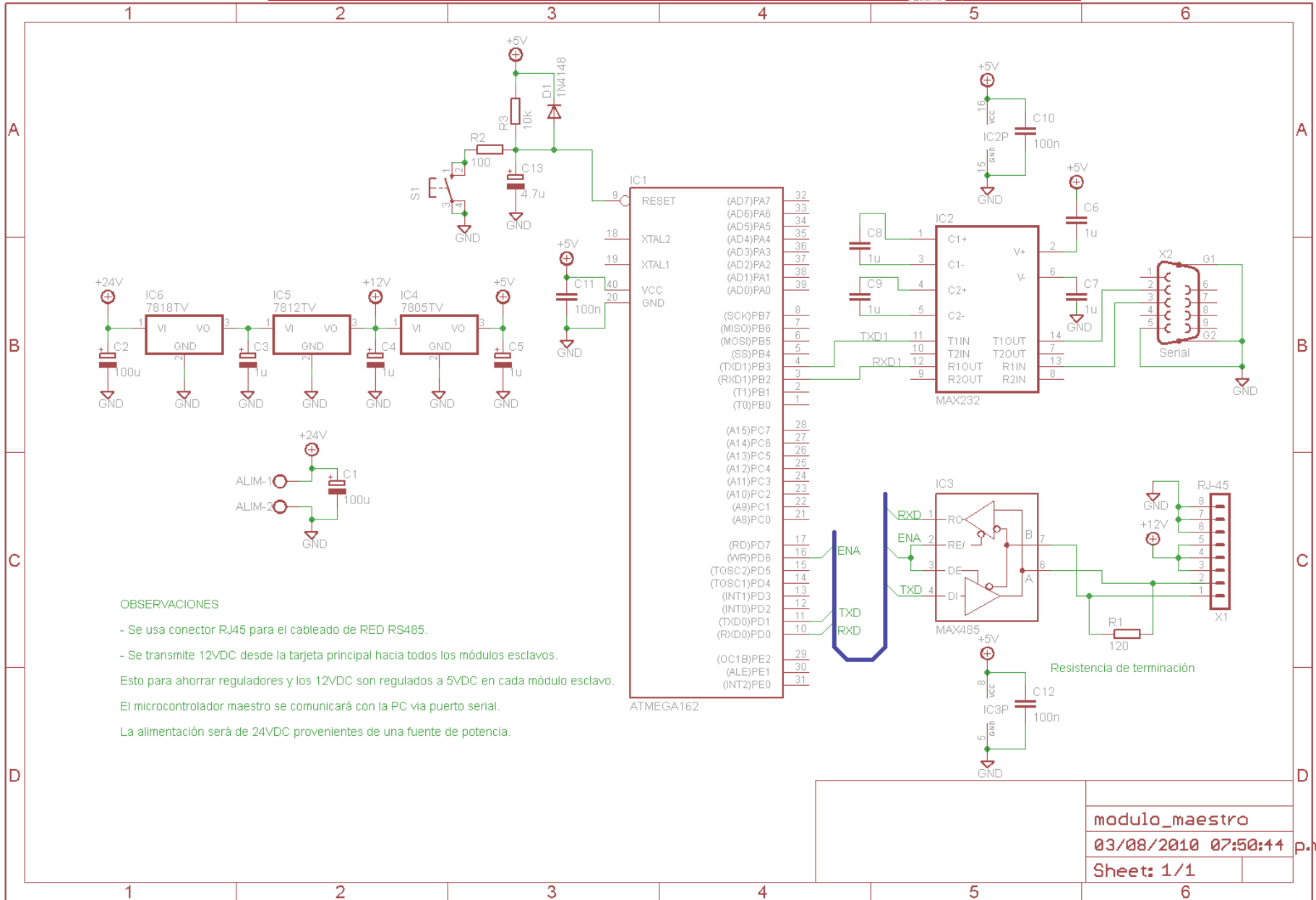
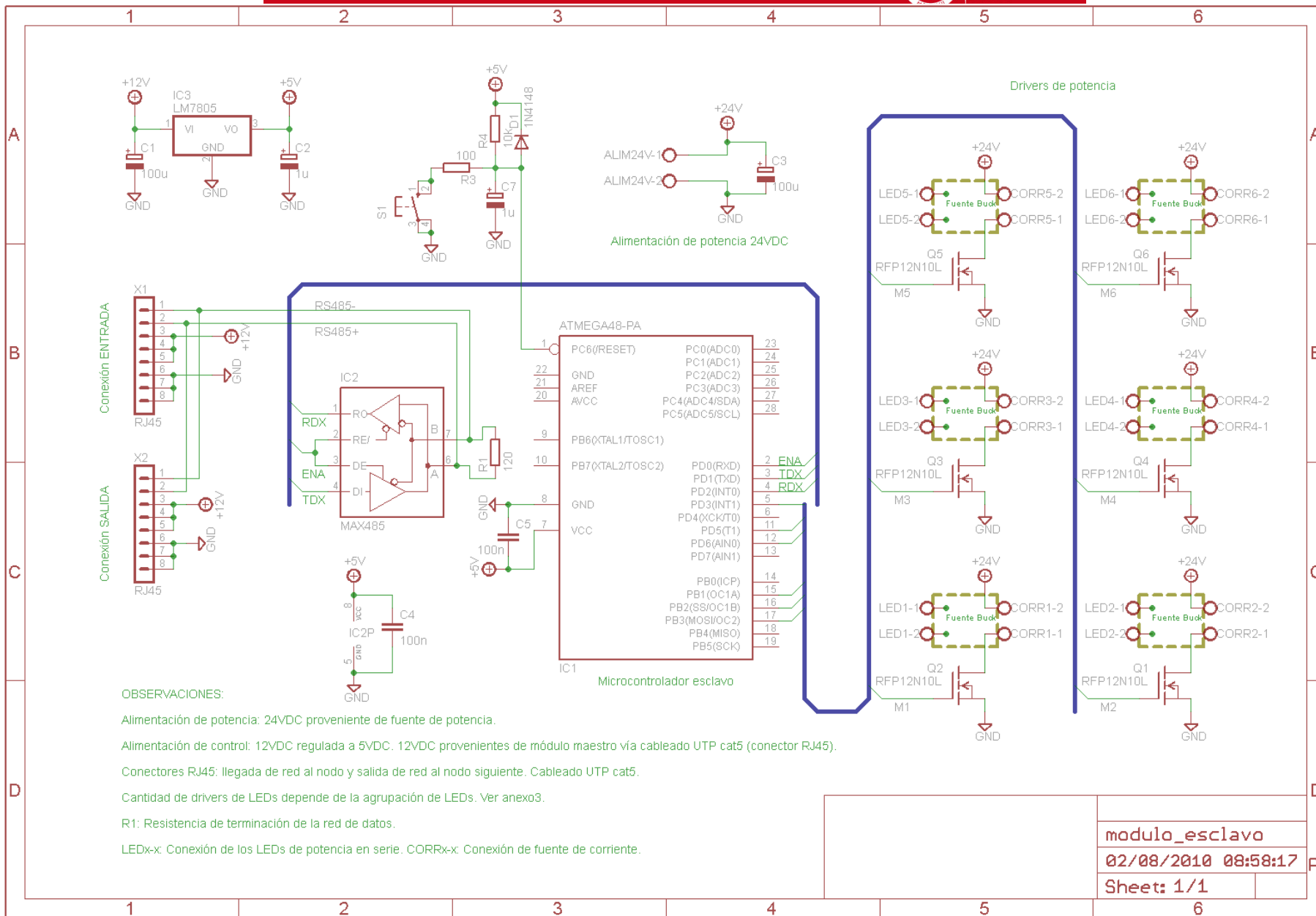


Figura 3.16. Diagrama esquemático del Módulo Maestro



modulo_esclavo
 02/08/2010 08:58:17 p.m.
 Sheet: 1/1

Figura 3.17. Diagrama esquemático del Módulo Esclavo

CAPÍTULO 4

PRESENTACIÓN DE SIMULACIONES

4.1 Introducción

La presentación de simulaciones está basada en la implementación de un módulo de iluminación y gracias a este se podrá demostrar la validez del sistema de iluminación diseñado (en las partes del subsistema de luminarias y subsistema de circuitos de excitación).

Dicho módulo es un prototipo de una parte del sistema de iluminación diseñado. Todas las estrategias de iluminación y criterios considerados en el diseño de todo el sistema se pueden apreciar en el módulo implementado.

4.2 Descripción del módulo de iluminación

Consta de las siguientes partes: la estructura de iluminación y el módulo electrónico.

4.2.1 Estructura de iluminación: es la estructura en la cual van alojados los LEDs de potencia. Se compone de una estructura de platina, en la parte superior se coloca el acrílico (en este caso acrílico opal de 3mm de espesor) que sirve de difuminador, en la parte inferior se coloca una franja de aluminio que sirve como disipador de calor para los LEDs.

Esta estructura tiene medidas distintas al del sistema diseñado, pero sirve para demostrar la validez del diseño efectuado. Tiene las siguientes medidas 10cm de alto, 10cm de ancho y 30cm de largo. Consta de dos ranuras para insertar el acrílico una a 5cm y otra a 10cm de la base (esto para colocar el acrílico en distintas posiciones). Ver Figura 4.1 y Figura 4.2.

Objetivos:

- Demostración de una correcta difuminación de luz que permite visualizar la superficie a iluminar. Esto en base a la distancia entre LEDs y la altura de la estructura. Esto conlleva a la validez de la estrategia de iluminación escogida, es decir, la iluminación detrás de acrílicos en el plano de la base.
- Demostrar que colocando una barra de aluminio en la base sirve para disipar correctamente el calor generado por los LEDs

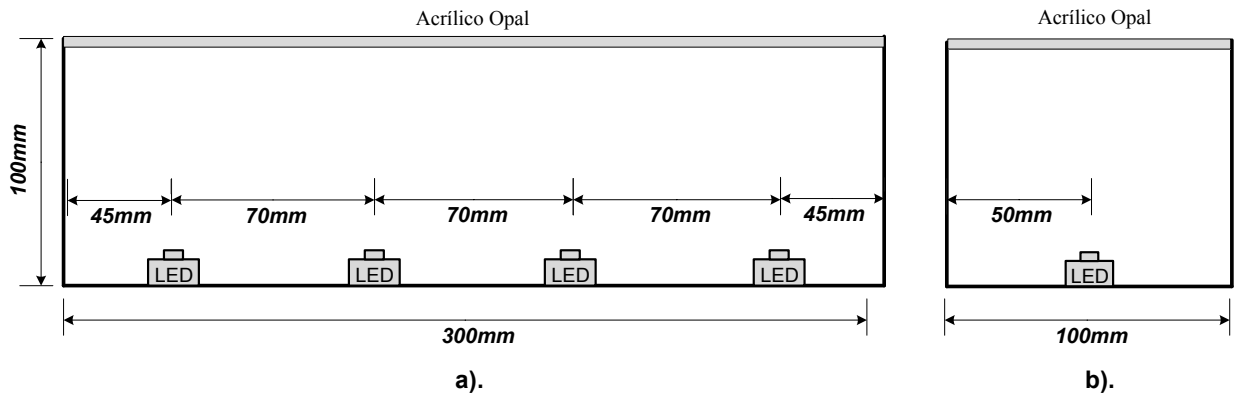


Figura 4.1 a).Vista Lateral, b).Vista transversal del módulo de iluminación

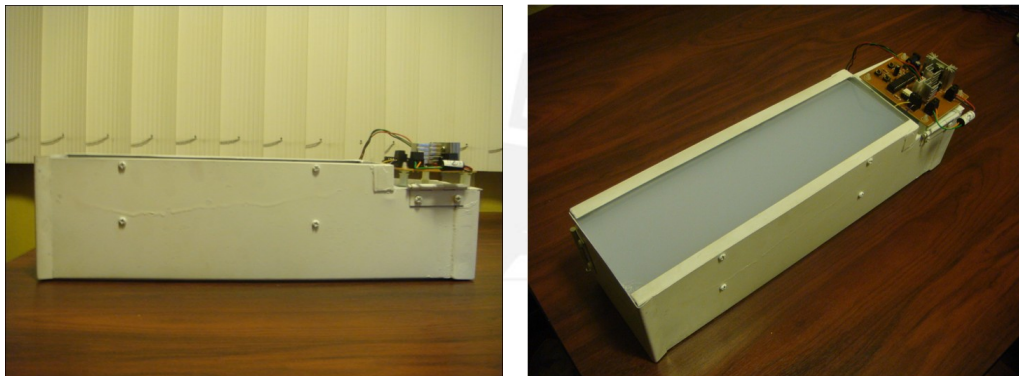


Figura 4.2 Fotos del módulo implementado

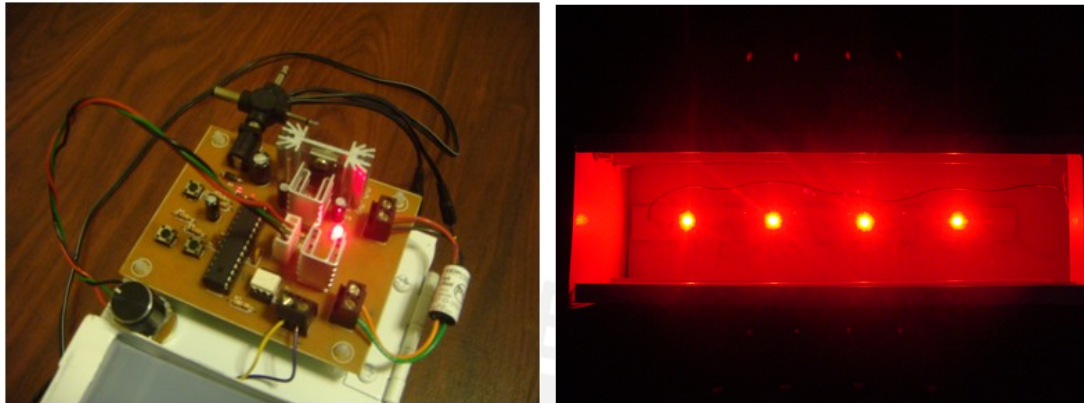
4.2.2 Módulo electrónico: esta parte básicamente se compone de los LEDs y el circuito de excitación diseñado. Consta de 4 LEDs de potencia (*OSRAM Golden Dragon* rojos de 47 lúmenes y 350mA) ubicados en serie, la fuente conmutada (*Bucktoot*), el conmutador (transistor MOSFET), un optoacoplador y un microcontrolador (en este caso un ATMEGA8 de Atmel escogido básicamente por la disponibilidad). El microcontrolador daría la señal PWM (frecuencia de 300Hz valor típico en dispositivos comerciales de control de LEDs) que sería la responsable directa de la variación de intensidad de luz en los LEDs. La Figura 4.3a muestra la tarjeta electrónica implementada. En el Anexo 8 se muestra el circuito esquemático del módulo electrónico, y el programa en lenguaje ensamblador utilizado.

Los LEDs están separados 7cm entre sí y los LEDs de los extremos están a 4cm de la pared correspondiente. Ver Figura 4.1.

Objetivos:

- Demostrar que con una señal de PWM proveniente de un microcontrolador se puede variar la corriente entregada a los LEDs y de esta manera se variaría la intensidad de luz.

- Demostrar que los LEDs escogidos en base a su intensidad lumínica son los adecuados para sistemas de visualización de carteles, paneles, letras.
- Demostrar que el circuito de excitación diseñado es idóneo para la aplicación requerida, en este caso para sistemas de iluminación arquitectónicos.



a).

b).

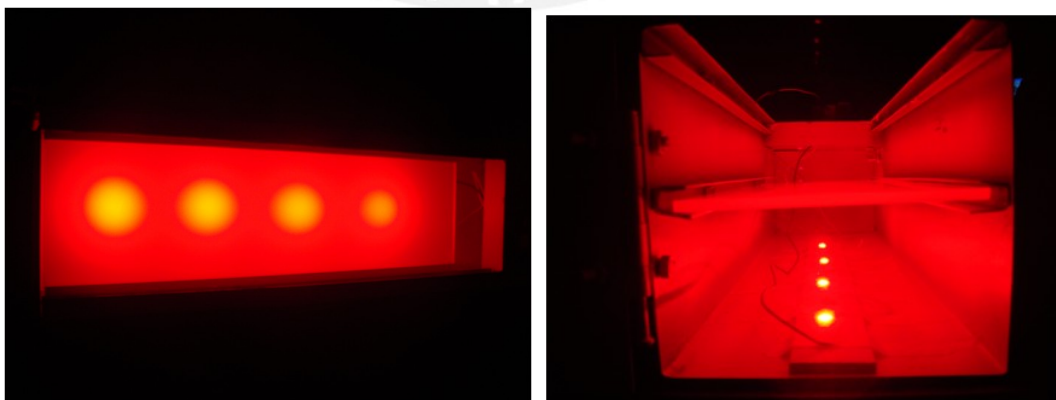
Figura 4.3 a) Tarjeta electrónica b). Difuminación nula

4.3 Análisis de resultados

4.3.1. Demostración de la difuminación:

En base a las pruebas realizadas con el módulo de iluminación, la distancia entre LEDs, la altura de la luminaria y el material difuminador juegan un papel importante en una correcta difuminación de luz. Existen tres casos:

a). Ausencia de difuminador: el módulo de iluminación no presenta material difuminador, por tanto se observan los LEDs (difuminación nula). Ver Figura 4.3b.



a).

b).

Figura 4.4 a). Difuminación parcial, b).Vista transversal

b). Difuminación parcial: en este caso el material difuminador (acrílico opal) se encuentra a 5cm de los LEDs, por tanto se observa una difuminación parcial de luz. Ver Figura 4.4a, Figura 4.4b muestra la sección transversal.

c). Difuminación total: en este caso el material difuminador se encuentra a 10cm de los LEDs, con lo cual se consigue una difuminación exitosa. Ver Figura 4.5a. Figura 4.5b muestra la sección transversal.

El cálculo de la distancia de difuminación fue hecho en base a tablas de iluminación, las mismas que fueron usadas para el diseño de todo el subsistema de luminarias en el capítulo 3. Por tanto las pruebas confirman la validez de la técnica de iluminación.

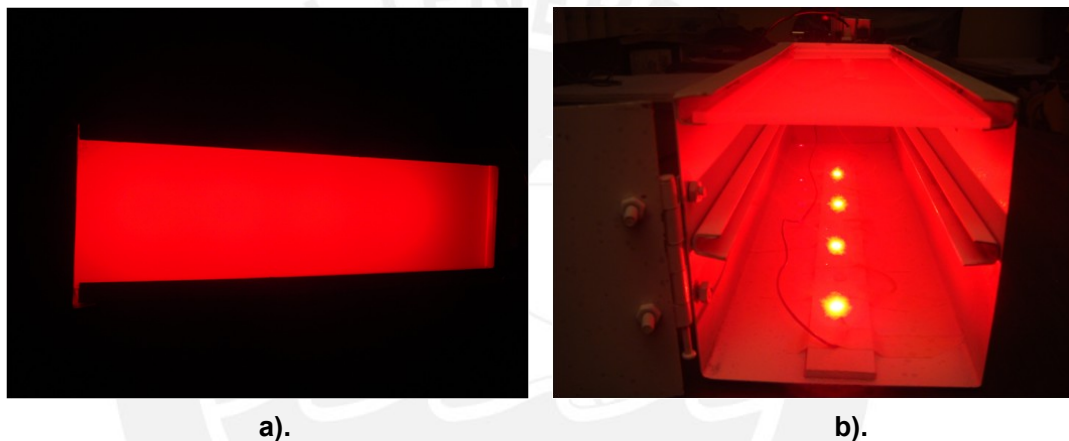


Figura 4.5 a). Difuminación total, b). Vista transversal

4.3.2. Demostración de la variación de intensidad de luz

La técnica usada para variar la intensidad de luz es la de PWM (modulación por ancho de pulso), entonces, a mayor ancho de pulso mayor corriente se le entrega a los LEDs y mayor será la intensidad de luz.

- a) **Prueba a 10% de ancho de pulso:** en la figura 4.6a se muestra la señal de control del microcontrolador y en la figura 4.6b se muestra el voltaje medio que se le entrega a la carga (la fuente *Bucktoot*). Con esto se demuestra se varía la potencia y por consiguiente la intensidad de luz.
- b) **Prueba a 40% de ancho de pulso:** en la figura 4.7a se muestra la señal de control del microcontrolador y en la figura 4.7b se muestra el voltaje medio que se le entrega a la carga (la fuente *Bucktoot*).

c) **Prueba a 90% de ancho de pulso:** en la figura 4.7a se muestra la señal de control del microcontrolador y en la figura 4.7b se muestra el voltaje medio que se le entrega a la carga (la fuente *Bucktoot*).

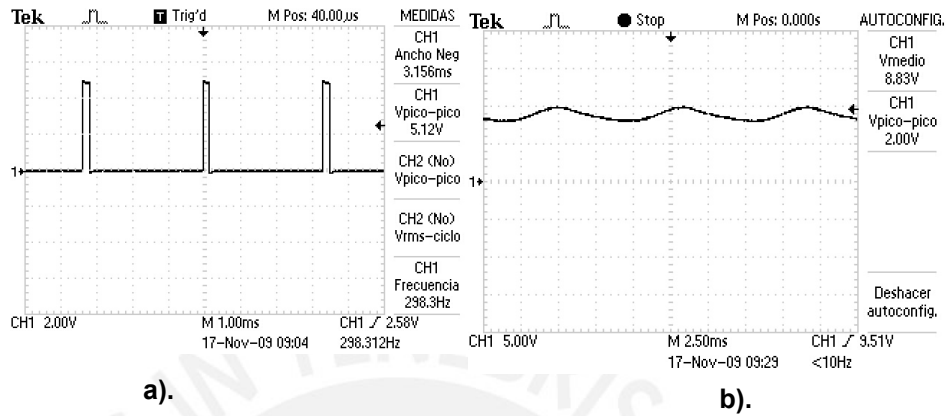


Figura 4.6 a). Salida de control PWM, b). Voltaje medio entregado

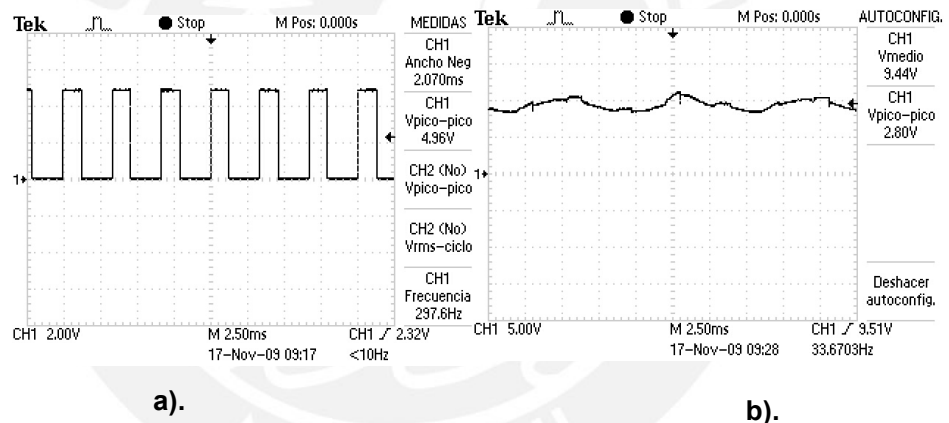


Figura 4.7 a). Salida de control PWM, b). Voltaje medio entregado

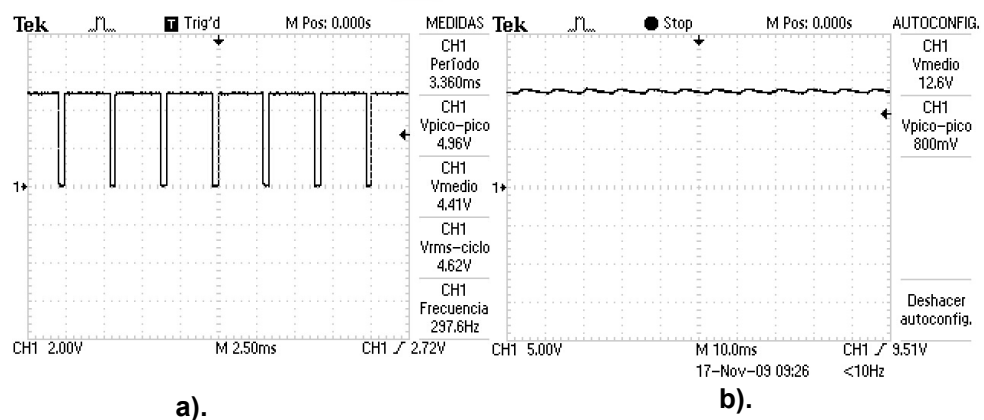


Figura 4.8 a). Salida de control PWM, b). Voltaje medio entregado

4.4. Consumo de energía de todo el sistema

Básicamente todo el consumo de energía viene dado por los LEDs.

Teniendo en consideración la distribución de circuitos de excitación y agrupaciones de LEDs en el Anexo 4, el consumo total de potencia sería de unos 678W con un consumo de 28A, la alimentación de todos los módulos es de 24V (Cálculos de potencia ver Anexo 7). Esta parte pertenece a otra tesis posterior, la cual se basa sólo en el diseño de la fuente de alimentación a medida para el sistema diseñado.

4.5. Costos y tiempo ejecución del proyecto

4.5.1. Costos de implementación del proyecto.

La Tabla 4.1 muestra los costos de implementación y el proveedor de cada producto a utilizar en el proyecto. El precio básico del producto sería de 95 mil dólares, pero el precio valorizado en el mercado sería de 200 mil a 300 mil dólares.

4.5.2. Tiempo de ejecución del proyecto.

La ejecución del proyecto se divide en dos etapas: implementación electrónica e implementación de la estructura de luminarias (mecánica).

El tiempo estimado de entrega del proyecto es de 4 meses. En la Figura 4.9 se aprecia el diagrama de Gant del proyecto total.

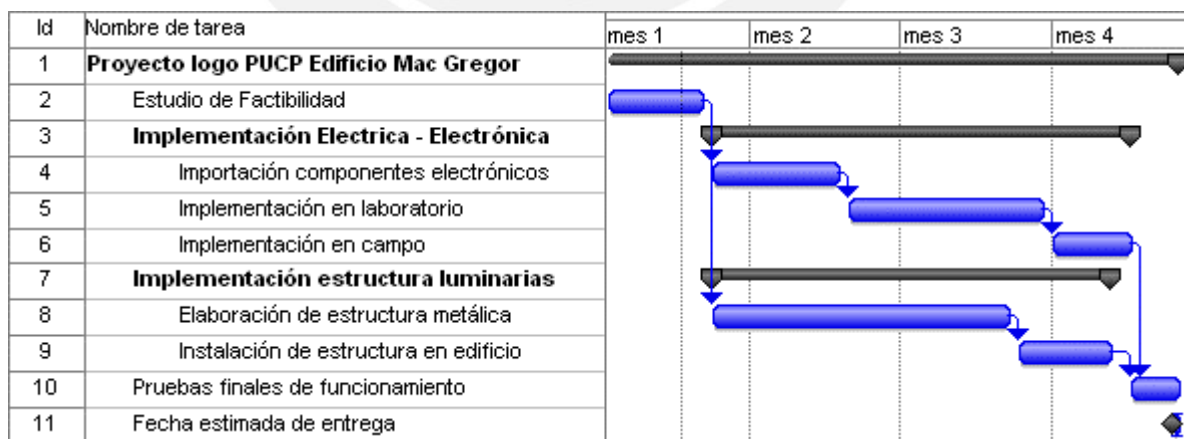


Figura 4.9. Diagrama de Gant del proyecto

La figura 4.10 muestra el diagrama esquemático del Módulo Principal implementado.

Tabla 4.1 Presupuesto total del proyecto

Costo en Perú

	Descripción	Número	Proveedor Nacional	Proveedor Internacional	Costo total (Dólares)
Parte Electrónica- Eléctrica	LEDs Golden Dragon OSRAM	718		Digikey	4910
	Drivers BuckToot	131		Digikey	2360
	Mosfets	131		Digikey	131
	Micronroladores	22		Digikey	55
	Transceivers	22		Digikey	110
	Conectores			Digikey	200
	Circuitos impresos	32			160
	Reguladores de voltaje	32		Digikey	50
	Cableado UTPcat 5e y 10AWG				100
	Fuente alimentación 24v 1500W	1		Digikey	1500
	Herramientas				500
	Mano de obra (10 personas)				50000
Parte Mecánica	Platina	50 planchas (150cm x 120cm)	Acero Center S.A		2000
	Aluminio	10 tiras de 6m x 3cm	Coporación Fukurama SRL		80
	Acrílico Opal	30 planchas (120cm x 240cm)	Polycast SA		1680
	Pintura Sincromato	10 barriles 1/2 L			66
	Pintura Latex Blanca	10 barriles 1/2 L			60
	Soldadura de puntos (punto azul)				100
	Barras acero 2"	5 barras de 6m	Acero center		50
	Tornillos y Pernos				200
	Herramientas				3000
	Mano de obra (5 personas)				25000
	Alquiler Grúa	5 horas			3000
	Alquiler camión	4 horas			300
Reserva de contingencia					14331 dólares

15% costo total (Imprevistos)

Costo Total Básico	109876 dólares
Costo Valorizado en mercado	200000 a 300000 dólares

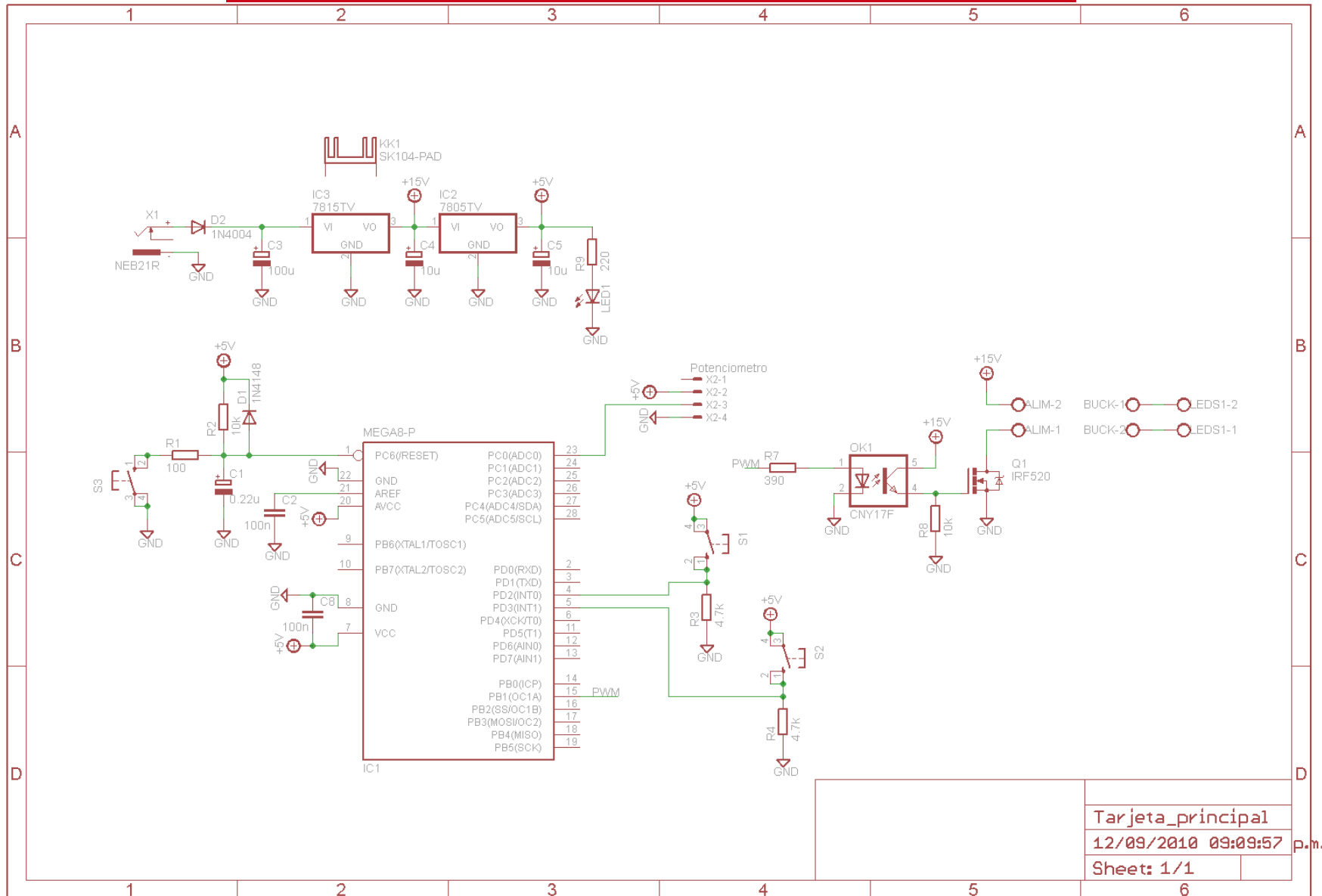


Figura 4.10. Diagrama esquemático del Módulo Principal implementado.

CONCLUSIONES

- De acuerdo a las pruebas realizadas con el módulo de iluminación implementado, en las cuales se consiguió iluminar un área con difuminación total de luz; se demuestra entonces, la validez de la técnica de iluminación escogida, es decir, la iluminación rotular detrás de acrílicos. La aplicación de dicha técnica, la correcta distribución de LEDs y una estructura mecánica adecuada nos aseguran un sistema de iluminación idóneo para aplicaciones arquitectónicas.
- De acuerdo a las pruebas realizadas con el módulo de iluminación implementado, se demuestra también la correcta operación del circuito de excitación (driver) de LEDs de potencia diseñado. Gracias a su alta eficiencia energética, su tamaño reducido y facilidad de instalación hacen de éste un dispositivo adecuado para instalar y manejar gran cantidad de LEDs en sistemas de iluminación.

RECOMENDACIONES

- Debido a la gran cantidad de dispositivos de control y circuitos excitadores de LEDs, existe un gran cableado de control ubicado detrás de la estructura del logo. Esto puede hacer que la instalación y el mantenimiento del sistema electrónico sean bastante dificultosos. Es por eso que el diseño se podría mejorar si el cableado de control se sustituyera por una red inalámbrica de comunicación, por ejemplo, podría ser la interfaz y protocolo Zigbee por su bajo consumo, su fácil implementación y su alta eficiencia.
- Para la parte de alimentación de todo el sistema se puede considerar una fuente comercial de AC/DC de 1200W@50A a 24VDC de salida. Existe también la posibilidad de realizar el diseño e implementación de la fuente de alimentación a medida y con las consideraciones de eficiencia necesarias.
- Para tener una mayor cantidad de efectos de iluminación se puede considerar la idea de colocar LEDs multicolor de tecnología RGB, con esto se podría conseguir cualquier color, el usuario podría configurar el color que más le agrade para cada parte del logo y además tener la posibilidad del cambio de color como efecto decorativo. Esto elevaría el costo del sistema, la complejidad de los sistemas de circuitos de excitación y sobre todo el consumo de potencia.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Shur Remis Gaska Arturas, Zukauskas Michael. *Introduction to Solid-state Lighting*. Wiley, 2002.
- [2] Craig DiLouie. *Advanced Lighting Controls*. 2006.
- [3] Derek Phillips. *Lighting Modern Buildings*. Architectural Press, 1ra edición, 2000.
- [4] Steve Winder. *Power supplies for LED driving*. 2008.
- [5] Gilbert Held. *Introduction to Light Emitting Diode Technology and Applications*. 2009
- [6] Cheng, Y.K.; Cheng, K.W.E. *General Study for using LED to replace traditional lighting devices*. Power Electronics Systems and Applications, 2006. ICPEA . 2nd International Conference. 2006
- [7] Heinz van der Broeck, Georg Sauerlander, Matthias Wendt. *Power Driver Topologies and Control schemes for LEDs*. Applied Power Electronics Conference, APEC 2007 - Twenty Second Annual IEEE. 2007
- [8] Dexia Towers. <www.dexia-towers.com>
- [9] LED neon flex , “The LED border lighting”. <www.ledneonflex.com/led-border-lighting.html>
- [10] Todo LEDs – Argentina. <www.todoleds.com>
- [11] Electrónica Magnabit, “La Tecnología LED”. <www.electronicamagnabit.com/Informacion.htm>
- [12] El Comercio, Perú, Edición 4 junio del 2008. <www.elcomercio.com.pe/edicionimpresa/Html/2008-06-04/luces ciudad.html>
- [13] Philips, Proyectos < www.philipslumileds.com/ <www.lighting.philips.com/es_es/project/>
- [14] OSRAM Opto Semiconductors <www.osram-os.com>
- [15] Nichia, productos <www.nichia.com>
- [16] Led Magazine. “Panel points to developments in high power LEDs”. 2007
- [17] Cree. <www.creeledlighting.com>
- [18] Pontificia Universidad Católica del Perú. Mapa campus PUCP 2009, logo PUCP <www.pucp.edu.pe>
- [19] Philips Lighting. *Catálogo de Alumbrado LED de Philips - Rotulación y señalización* - 2009. <www.lighting.philips.com/es_es/signage>
- [20] Philips Lighting. *Catálogo de iluminación: “Paint with Light”*. 2007.

- [21] Philips Lighting. *Catálogo de iluminación: "Solid State of the Art" Version 1.0 – 2009.*
- [22] Philips Lighting. *Installation guide Philips Affinium LED string low and medium power.* 2009.
- [23] Philips Lighting. *Installation guide Philips Affinium LED string high power.* 2009.
- [24] Philips Lighting. *Installation guide Philips Affinium LED posterbox.* 2009.
- [25] OSRAM Semiconductors LED systems. *Catálogo de iluminación: "Professional lighting solutions with LEDs from OSRAM".* 2009.
- [26] OSRAM Semiconductors LED systems. *Catálogo de iluminación: "The new dimension on light – Minimum dimensions maximum options: LED systems for use in general lighting".* 2009.
- [27] OSRAM Semiconductors LED systems. *Hojas de aplicación: Channel Letters – Backlight 2G.*
- [28] OSRAM Semiconductors LED systems. *Hojas de aplicación: Difusse Displays – LINEARlight.*
- [29] DIGIKEY Corporation. <www.digikey.com>
- [30] OSRAM Semiconductors LED systems. *Catálogo: "Golden Dragon: Exceptional lifetime performance".* 2009.
- [31] Philips Lighting. *Guía de instalación del modulo Philips Affinium LED posterbox.*
- [32] LEDdynamics. *Datasheet driver 7027 Bucktoot.*
- [33] LEDdynamics. *Datasheet del driver 4015 Bosstpuck.*
- [34] Datasheet del Mosfet RFP12N10L de Fairchild.
- [35] Steve Machay. *Practical Industrial Data Networks: Design, Installation and Troubleshooting.* Elsevier 2004.
- [36] Robert Simpson. *Lighting Control – Technology and Applications.* Focal Press 2003.
- [37] Jan Axelson. *Serial Port Complete: Programming and Circuits for RS-232 and RS-485 Links and Networks.* Lakeview, 3ra edición, 2000.
- [38] B&B Electronics Manufacturing Company. *RS-422 and RS-485 Application Note.*
- [39] Maxim Corporation. *RS-485 (EIA/TIA-485) Differential Data Transmission System basic - Application Note.* 2001.
- [40] Maxim Corporation. *Application note: Guidelines for Proper Wiring of an RS-485 Network.* 2001.