



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

REDISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE ILUMINACION PARA ESPACIOS PUBLICITARIOS USANDO LED RGB

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

Eduardo Alfredo Medrano Arias

ASESOR: Willy Carrera

Lima, mayo del 2010

RESUMEN

Los sistemas de iluminación son desarrollos que permiten al hombre visualizar de una mejor forma a los objetos desde un punto de vista artístico y funcional. Estos sistemas tienen un amplio campo de aplicación en nuestra vida diaria. Están referidos al proceso en el cual la iluminación forma parte del diseño del objeto usando dispositivos capaces de satisfacer el tipo, calidad y color de luz que se requiere.

Dado que en el Perú los sistemas de iluminación cumplen una gran importancia como elemento que forma parte del diseño de espacios públicos y comerciales, es necesario enfrentar el problema de la iluminación conociendo las características de ella. Por esto se plantea la utilización de una nueva tecnología como el LED (Light-Emitting Diode) de potencia en el desarrollo de sistemas de iluminación aprovechando las características que este dispositivo trae.

La presente tesis consiste en el rediseño e implementación de un sistema de iluminación aplicado a un display¹ publicitario de una superficie de 25x25cm². Uno de los objetivos es mejorar la iluminación mediante la aplicación de la nueva tecnología, el LED RGB (Red Green Blue) que permite obtener un color determinado, rojo, verde y azul; además de variar su intensidad de brillo. Con el uso de lentes convergentes es posible mezclar los colores primarios para obtener los colores secundarios; amarillos, cian y magenta; y el color blanco.

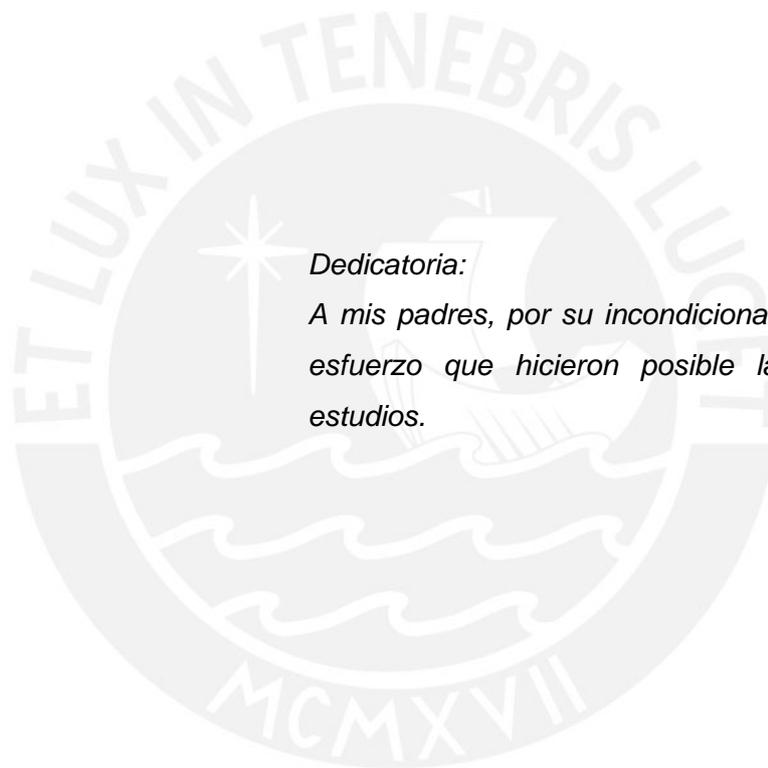
El siguiente documento se encuentra dividido en cuatro capítulos principales; el primero de ellos explica la importancia de la iluminación publicitaria en espacios publicitarios.

El segundo capítulo brinda información sobre la evolución de los sistemas de iluminación convencionales hasta llegar a la tecnología LED.

El tercer capítulo muestra las consideraciones para el rediseño e implementación del sistema, los componentes elegidos, así como los cálculos y criterios de selección.

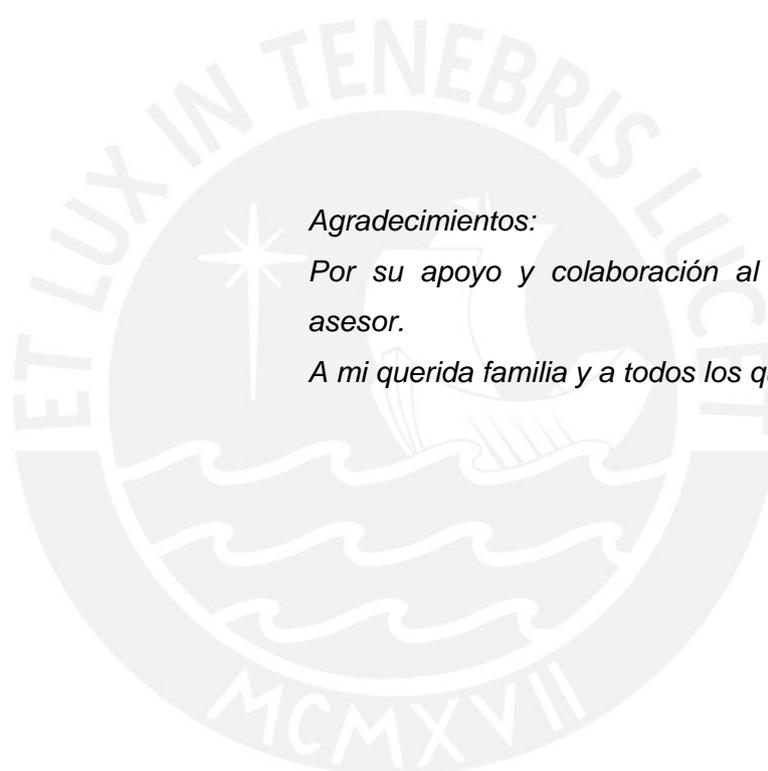
El último capítulo menciona los resultados obtenidos, análisis de costo y conclusiones finales. Al final del documento se muestra las recomendaciones, sobre el rendimiento del sistema de iluminación y como mejorarlo, las referencias utilizadas y en la sección de anexos hojas de datos de los componentes utilizados.

¹ Soporte en que se exhibe con fines publicitario. Diccionario de la Lengua Española – vigésima segunda edición, 2001



Dedicatoria:

A mis padres, por su incondicional presencia e incesante esfuerzo que hicieron posible la culminación de mis estudios.



Agradecimientos:

Por su apoyo y colaboración al Ing. Willy Carrera, mi asesor.

A mi querida familia y a todos los que creen en mí.

ÍNDICE

<u>INTRODUCCIÓN</u>	7
<u>CAPÍTULO 1: ILUMINACIÓN PUBLICITARIA</u>	
1.1 Características de contexto general para el desarrollo de la actividad a nivel global y local.	8
1.2 Proceso de iluminación de espacios publicitarios.	9
1.3 Declaración del marco problemático.	11
<u>CAPÍTULO 2: TECNOLOGÍA USADAS EN ILUMINACIÓN</u>	
2.1 Evolución de los sistemas de iluminación convencionales	12
2.1.1 Lámparas fluorescentes	12
2.1.1.1 Características generales de funcionamiento	13
2.1.1.2 Tipos de lámparas fluorescentes	14
2.1.2 Lámparas incandescentes	15
2.1.2.1 Características generales de funcionamiento	16
2.1.2.2 Tipos de lámparas incandescentes	17
2.1.3 Lámparas de descarga	18
2.1.3.1 Lámparas de vapor de mercurio	18
2.1.3.2 Lámparas de vapor de sodio	20
2.2 Tecnología LED en sistemas de iluminación	21
2.2.1 LED	21
2.2.2 Funcionamiento	22
2.2.3 Ventajas	23
2.2.4 Aplicaciones	24
2.3 Síntesis sobre el asunto de estudio	25
2.4 Aspectos generales	25
2.4.1 Aspecto físico de la luz	25
2.4.2 Propiedades ópticas de los cuerpos	27
2.4.3 El color	27
2.4.4 Temperatura de color	29
2.4.5 Índice de reproducción cromática	30
2.5 Iluminación publicitaria – display	31

CAPÍTULO 3: REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

3.1	Introducción	32
3.2	Diagrama de bloques	32
3.2.1	Potencia	32
3.2.1.1	Led de potencia	32
3.2.1.2	Disipador de calor	34
3.2.1.3	Lente convergente	34
3.2.2	Interfaz de potencia	35
3.2.3	Control	41
3.2.4	Interfaz de usuario	46
3.2.5	Fuente de alimentación	48

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1	Descripción	51
4.2	Interfaz de potencia	51
4.3	Análisis de costo	63

<u>CONCLUSIONES</u>	64
----------------------------	----

<u>RECOMENDACIONES</u>	65
-------------------------------	----

<u>BIBLIOGRAFIA</u>	66
----------------------------	----

INTRODUCCIÓN

La iluminación por muchos años ha sido utilizada solo para poder ver u observar objetos. Es por esto que la luminotecnica estuvo centrada en el estudio de la visión para determinar la cantidad de luz necesaria que nos permita realizar una tarea especifica y los métodos que nos permita obtener estos niveles de energía luminosa. El impacto de la luz genera actitudes en las personas sea la disposición debido a si satisface las necesidades de consumidor, por ejemplo que brinde la luz suficiente para observar la calidad del producto además de darle la sensación de comodidad en el espacio que se desenvuelve a la hora de elegir un determinado producto. Pero dado el creciente costo de energía necesario para iluminar es que los fabricantes de luminarias diseñan nuevos equipos que brindan soluciones cada vez más económicas y eficientes. La tendencia en iluminación va de la mano con la tecnología adecuada que cumpla con los requisitos que se plantea.

El uso de luminarias de alto brillo en displays publicitarios tiene una gran importancia pues además de mostrar un determinado producto, genera un mensaje subliminal o de fondo que permite atraer la atención de un potencial cliente.

Actualmente las luminarias convencionales presentan varias desventajas, entre otra baja eficiencia, la necesidad de dispositivos electrónicos complementarios para su funcionamiento, alto consumo de energía, por lo que es necesario encontrar otras opciones.

Es por esto que se plantea el uso de la nueva tecnología de LED RGB de potencia aplicado en displays publicitarios debido a su alto flujo luminoso que emite y poco consumo de energía, marca una nueva tendencia en luminarias pues ya en Europa y EEUU es común aplicarlo en televisores gigantes, automóviles e iluminación de exteriores.

A este dispositivo se le va a controlar el flujo luminoso que emite así como obtener diferentes tonalidades de colores ya que el LED RGB consta de 3 LEDs internos e independientes eléctricamente como el rojo, verde y azul.

CAPÍTULO 1

ILUMINACIÓN PUBLICITARIA

La iluminación ya es considerada parte del diseño artístico orientado a la publicidad, en el cual es un factor importante en el desarrollo comercial para un determinado producto o marca que se desea mostrar, por ende en el presente capítulo se presentará las diferentes tecnologías actuales con sus ventajas y limitaciones además se propondrá el uso de la última tendencia en iluminación.

1.1 Características de contexto general para el desarrollo de la actividad a nivel global y local

En la actividad comercial, el uso de displays, se remonta desde épocas antiguas en las cuales, se basaban en una simple exposición de los productos a ofrecer, esto hoy en día no ha variado mucho en su objetivo, pero los medios que se utilizan para llegar a relacionar un producto o marca con el público destinatario han variado. El objetivo de la publicidad es siempre presentar un mensaje, idea o producto que quiere persuadir y convencer al potencial usuario o comprador a adquirirlo, ya sea o no de primera necesidad.

Dada la situación globalizada en que nos encontramos, las necesidades de consumo se incrementan diariamente y en consecuencia surgen, en contraparte las necesidades de publicitar un determinado producto o marca que es una actividad que se encuentra en constante desarrollo, siempre buscando nuevas técnicas con el afán de darle a la publicidad una permanente actualización.

Los efectos visuales en la iluminación publicitaria es muy impactante para cualquier persona en general, ya que es una manera muy innovadora de hacer publicidad de marcas, logotipos, textos, fotos o cualquier imagen que se desee iluminar con equipos lo suficientemente adecuado para irradiar la intensidad luz requerida que permita atraer la mirada del público.

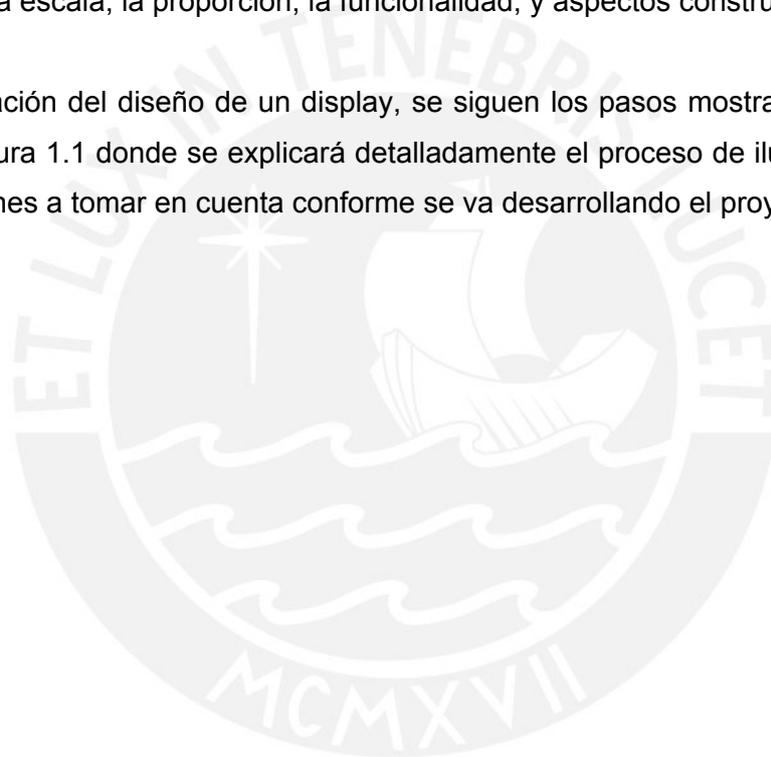
En Lima se experimentó desde la década pasada, una revitalización notoria en el sector de publicidad y marketing, esto debido a que nuevos comercios y empresas de servicios se instalaron, aparecieron entidades nacionales y llegaron cadenas extranjeras, se desarrollaron rubros inéditos y unos cuantos antiguos resurgieron y evolucionaron para adaptarse a las demandas de un público diferente, la actividad comercial y la consecuente actividad proyectiva generada a partir de ella han permitido que en el campo del diseño se refinen soluciones

funcionales, constructivas y se tienda a experimentar e innovar; maximizar porque la mayor parte de estos encargos deben concluirse en corto tiempo, lo que ofrece la oportunidad de evaluar los resultados prontamente y contrastar los logros con las intenciones. [1]

1.2 Proceso de iluminación de espacios publicitarios

Los proyectos en el campo comercial tienen el mérito de que suelen realizarse dentro de estructuras ya existentes, además muchos de ellos generan o derivan de una imagen corporativa o responden a una temática determinada u orientadas a un usuario específico, todas estas exigencias se sobreponen a principios fundamentales del diseño como la iluminación, la escala, la proporción, la funcionalidad, y aspectos constructivos. [1]

En la elaboración del diseño de un display, se siguen los pasos mostrados en el diagrama de flujo de la figura 1.1 donde se explicará detalladamente el proceso de iluminación así como las consideraciones a tomar en cuenta conforme se va desarrollando el proyecto.



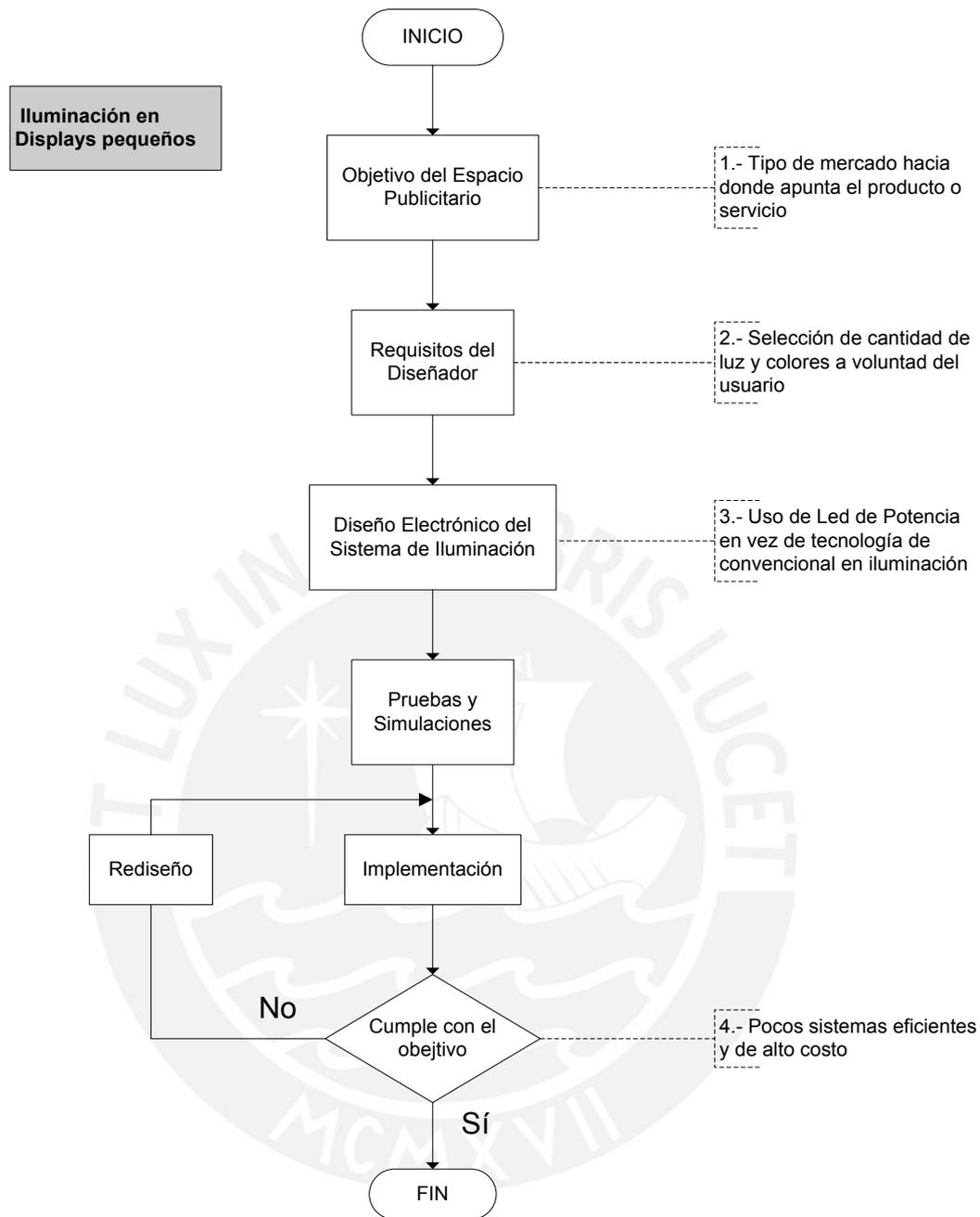


Figura 1.1 Diagrama de flujo del diseño de un sistema de iluminación

De la figura podemos decir algunos puntos resaltantes como:

- a) Primero se debe definir el display adecuado que se usará para un producto o marca que se desea publicitar en un determinado espacio, en el cual el público objetivo se dejará seducir por el mensaje en forma de imagen, foto o texto hacia un producto dado en un contexto en el que se desarrolla, esta situación también juega un papel importante, la estación del año influye en el tipo de necesidad del consumidor además del lugar en donde se encuentra ya sea una tienda o centro comercial.

- b) Después actúa el diseñador de acuerdo a los requerimientos de la publicidad como distribución, intensidad y difusión de la luz, debe diseñar y desarrollar el display usando las luminarias que cumplan con los objetivos. El usuario elige el color o tono de luz siempre y cuando vaya de la mano con el tipo de publicidad para una marca o producto que se desea publicitar. [2]
- c) El desconocimiento del LED en aplicaciones de iluminación hace que se desaproveche la ventajas que nos puede dar, eficiencia de energía entre otros sin mencionar la aparición de un nuevo miembro en la familia, el LED RGB que es capaz de brindar un tono de luz en particular y también la característica de cambiar de color.
- d) Actualmente los sistemas de iluminación son poco eficientes debido a que gran parte de su consumo de energía es disipada en forma de calor agregando un costo innecesario que se podría aprovechar si se conocieran otras opciones a parte de luminarias convencionales. El tiempo de funcionamiento que el espacio publicitario va a estar constantemente iluminado que puede ser 24 horas o parte de ésta y el espacio que abarca la publicidad, es un cálculo que permitirá saber cuántos dispositivos de iluminación son requeridos para cumplir con el objetivo. Si ahora tomamos que es para un display de superficie pequeño el costo de adquisición, consumo y mantenimiento se reduce notablemente tanto para la cantidad de luz necesaria, el número de LEDs o lámparas a usar.

1.3 Declaración del marco problemático

En la actualidad, los espacios publicitarios se encuentran iluminados por las lámparas halógenas, que ofrecen efectos luminosos de colores por el alto índice de nivel de reproducción cromática en determinadas marcas o productos; también por las lámparas fluorescentes, de bajo consumo de energía y larga duración de vida; dependiendo del diseño que se tiene en el display.

En general las lámparas convencionales por sus características y eficiencias definidas y establecidas por varios años, no siguen la constante tendencia de innovación y desarrollo de la publicidad, por lo que se propone el uso de la tecnología basada en LEDs de potencia RGB para el diseño e implementación de un sistema de iluminación de espacios publicitarios de pequeñas dimensiones que resaltará el objeto a iluminar.

CAPÍTULO 2

TECNOLOGÍAS USADAS EN ILUMINACIÓN

El posicionamiento de los semiconductores LED en el mercado de luminarias ha puesto a las tecnologías convencionales en un segundo plano ya que aquellas presenta mejoras y ventajas en iluminación y eficiencia por eso en el presente capítulo explicaremos brevemente el funcionamiento y características de la tecnologías actuales así como también la tecnología LED que utilizaremos en la implementación en la presente tesis.

2.1 Evolución de los sistemas de iluminación convencionales

Las luminarias con mayor uso en iluminación en exteriores son las lámparas fluorescentes, lámparas de descarga y las lámparas incandescentes.

2.1.1 Lámparas fluorescentes

Se conocen bajo la designación de lámparas fluorescentes a aquellas lámparas de descarga en atmósfera de mercurio a baja presión en las que la generación de luz se debe, principalmente, al fenómeno de la fotoluminiscencia. La descarga en vapor de mercurio a baja presión origina, fundamentalmente radiación UV ($\lambda = 253.7\text{nm}$) causante de la excitación de la sustancia fluorescente (cesa la luminiscencia cuando cesa el agente excitador) situada en la pared interna del tubo de descarga, emitiendo radiaciones con mayores longitudes de onda. A continuación se muestran los componentes principales de toda lámpara fluorescente como:

1. Tubo de descarga, hecho de vidrio y opalizado por la sustancia foto luminiscente de forma común al cilindro rectilíneo, aunque también se comercializan para ciertas aplicaciones (sobre todo domesticas) en formas circulares y en U. Los diámetros normalizados comunes son de 16mm para tubos de pequeña potencia y 26mm para los convencionales, trifosforos y alta frecuencia.
2. Los electrodos, permite la conexión con el tubo de descarga, arrollado en doble espiral y recubiertos por sustancias emisivas de electrones.
3. Gas de relleno, usualmente utilizados como relleno en el tubo de descarga son:
 - Argón o bien una mezcla de Argón y Neón
 - Kriptón en las lámparas trifosforos

- Mercurio ya que debido al fenómeno de la absorción de este elemento por parte de las sustancias fluorescentes empleadas, debemos asegurar un cierto remanente de él.
4. Sustancias fluorescentes
- Halofosfato de calcio para lámparas que persiguen una buena eficiencia luminosa, dejando al rendimiento en color en un segundo plano.
 - Fluogermanato de magnesio o silicato de calcio para lámparas que persiguen el efecto contrario al anterior, es decir, un buen rendimiento en color aun en detrimento de su eficacia luminosa.
 - Aluminato de magnesio y bario para lámparas trifosforos.
5. Casquillo generalmente doble del tipo espigas o clavijas.

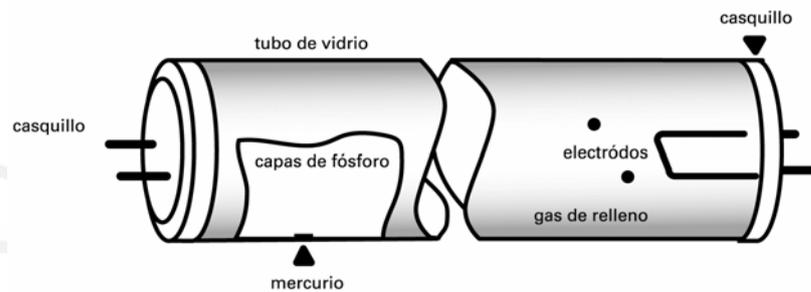


Figura 2.1 Partes de una lámpara fluorescente
(Diseño de iluminación, 2006)

2.1.1.1 Características generales de funcionamiento

El correcto funcionamiento de los tubos fluorescentes puede verse sensiblemente afectado por los siguientes factores:

a) Temperatura de funcionamiento

La máxima emisión se produce cuando la presión de vapor es del orden de los 0.8 Pa correspondiendo a una temperatura de funcionamiento de 40°C. En estas condiciones, la mayor proporción de la radiación emitida (96%) se encuentra en la longitud de onda de los 253.7nm y con temperaturas mayores, la presión de vapor se incrementa, ensanchándose la emisión de radiaciones a longitudes de onda superiores (a los 253.7nm). A temperatura menores a 40°C. Una parte del mercurio se condensa, disminuyendo la producción de radiaciones; en ambos casos, se provoca una disminución del flujo luminoso relativo de la lámpara.

b) Temperatura ambiental

Cualquier variación de la Pv (presión de vapor) del mercurio se traduce en una disminución del flujo luminoso relativo emitido por la lámpara, y por tanto, de su eficacia.

c) Humedad ambiental

Si tratamos lámparas instaladas en el exterior, un alto grado de humedad del aire ocasionará condensaciones de agua en la superficie del tubo, que lo enfriarían, haciendo necesarias tensiones de arranque más elevadas que dificultarían el correcto funcionamiento.

d) Temperatura de color

Temperatura de color, abarca desde las tonalidades cálidas (2700 – 3100K), intermedias (380 – 4500 K) hasta frías (6500-7500 K), el rendimiento de color va desde un IRC 50 hasta aproximadamente 90, sabiendo que en las lámparas normales a medida que se incrementa el IRC disminuye la eficacia. La combinación de ambas características anteriores dan lugar a una extensa gama de lámparas fluorescentes, entre las que incluimos las trifosforos, que se comentan seguidamente.

e) Tiempo de vida

La vida útil de una lámpara fluorescente acaba cuando se agotan sus electrodos llegando a ser aproximadamente 10 000 horas. [3]

2.1.1.2 Tipos de lámparas fluorescentes

1. Lámparas fluorescentes compactas, existen dos tipos de estas, las llamadas “electrónicas” ya que poseen un balasto y cebador incorporado, concebidas para la sustitución directa de las lámparas incandescentes, sus potencias usuales son 8, 11, 15, 20 y 25 W. El otro tipo posee cebador pero no balasto, precisando en este caso luminarias especialmente diseñadas para las mismas.
2. Lámparas fluorescentes de color estándar, se usa en lugares con necesidades de reproducción cromática no muy exigentes, las potencias nominales pueden ser de 36, 58 y 70 W y rendimientos en color que no sobrepase la valoración IRC 75.
3. Lámparas trifósforos, de alta eficacia luminosa y excelente reproducción cromática (IRC superior a 80), gama de potencia igual a las anteriores.

4. Lámparas pentafósforas, poseen un IRC mayor a 90, aunque de eficacia media. Gama de potencias igual a las estándares.
5. Lámparas miniatura, tienen un diámetro de 16 mm, y diseñadas para su utilización en iluminación de emergencia, lámparas portátiles, muebles empotrados, etc. La gama de potencias es de 4, 6, 8 y 13 W, tienen una vida media de 5000 horas.
6. Lámparas en forma de U, con potencia normal de 40 W y vida media estimada de unas 12000 horas.

2.1.2 Lámparas Incandescentes

Las lámparas incandescentes generan luz cuando pasa una corriente eléctrica por una bobina de alambre montada en un bulbo de vidrio relleno de gas o al vacío, este tipo de lámparas tienen valores muy bajos de rendimiento luminoso, transformándose la mayor parte de energía eléctrica consumida en calor, pero cabe resaltar la excelente reproducción cromática que poseen. Los principales elementos en una lámpara incandescente son:

- A. Filamento como un elemento conductor de resistencia media que al paso de una corriente eléctrica se pone incandescente emitiendo calor y luz. El material empleado para su construcción ha pasado desde el carbón, osmio y tántalo hasta el wolframio o tungsteno, que es el utilizado exclusivamente hoy en día, con temperatura de fusión de unos 3400 °C.
- B. Ampolla o bulbo, la función principal es de aislar al filamento del medio ambiente y al mismo tiempo, permitir la evacuación del calor producido por éste. Las formas y tamaños de dichas ampollas van a depender de las potencias y aplicaciones de las lámparas en cuestión.
- C. Casquillo permite cerrar herméticamente la ampolla además de conectar la lámpara a la red de servicio y fijar mecánicamente la lámpara al portalámparas correspondiente. El material usado en la construcción de casquillos son el aluminio, níquel y latón

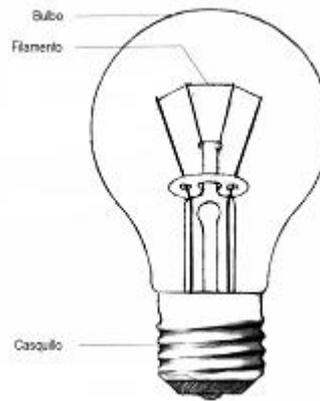


Figura 2.2 Partes de una lámpara incandescente
(Diseño de iluminación, 2006)

2.1.2.1 Características generales de funcionamiento

Dentro de los parámetros esenciales de funcionamiento citaremos los conceptos de vida media y depreciación luminosa, así como la influencia que ejerce las variaciones en la tensión de alimentación.

- Vida media, experimentalmente cada fabricante confecciona las curvas de mortalidad, en las cuales indican el porcentaje de lámparas en funcionamiento en función del tiempo de encendido. Siguiendo criterios técnico-económico, los filamentos se construyen de forma que su vida media estimada sea de unas 1000 horas, es decir algunas dejaran de funcionar antes y otras después, siguiendo la curva estadística de mortalidad.
- Depreciación luminosa, el flujo luminoso emitido por una lámpara incandescente no es constante en toda su vida, esto debido al efecto de evaporación, las partículas que se desprenden del filamento se depositan sobre la pared de la ampolla, ennegreciéndola, así también por el adelgazamiento progresivo de aquel, lo cual aumenta su resistencia eléctrica, dificultando el paso de la corriente eléctrica y aumentando la potencia absorbida, lo cual nos lleva a una pérdida de eficacia luminosa.
- Influencia de las variaciones de tensión de alimentación, aumentos de la tensión de alimentación con respecto a la nominal ocasionan incrementos en el flujo luminoso emitido, por encima de la potencia consumida, y por tanto aumentos de eficacia luminosa; pero a costa de una drástica reducción de la vida media estimada de la lámpara; “así por ejemplo, aumentos de un 6% de tensión respecto a la nominal incrementan alrededor de un 20% de su flujo, pero reduciendo la vida del filamento a casi la mitad de la estimada” [3]

2.1.2.2 Tipos de lámparas incandescentes

- a) Lámparas estándar, se usa en servicios generales y domésticos, según el casquillo pueden ser tipo E27 y B22 con 15, 25, 40, 50, 75, 100, 150, 200 y 300 W con flujos luminosos nominales que van desde 90 hasta 4850 lm, también se pueden encontrar otros tipos de casquillos en el mercado, como por ejemplo la E40, menos usados, de 300 W con 4850 lm de flujo luminoso.
- b) Lámparas estándar opalizadas, se encuentran en blancos o tonos pastel, empleadas en aquellas aplicaciones donde el aspecto visual es importante, ya que presentan un menor deslumbramiento que las anteriores, se encuentran en casquillos E27 y B22 desde 25 hasta 100 W y flujos de 200 hasta 1220 lm respectivamente.
- c) Lámparas Kriptón, llamadas así por gas con el cual está rellena, lo cual permite un rendimiento luminoso mayor en 10% a las estándar, también se pueden encontrar en los casquillos E27 y B22 con potencias de 25, 40, 60, 75, 100 W y 225, 450, 770, 1000, 1460 lm de flujo luminoso respectivamente.
- d) Lámparas reflectoras, las características de estas, son que tienen una ampolla de vidrio soplado de acabado interno reflectante, lo que permite un mayor control del flujo luminoso, pudiendo concentrar el ancho del haz luminoso en un solo sentido; por esta razón se usa mucho en aplicaciones de iluminación por proyección. Se encuentran en casquillos E27 y B22 con un ancho de haz de luz de 35° y 80°, con potencias entre 40 y 150 W.
- e) Lámparas reflectoras PAR, compuesta por un reflector aluminizado parabólico y por el lente, el cual permite un nivel de control luminoso aún mayor que el de las lámparas reflectoras normales, con ángulos de concentración del haz de luz 12, 15 y 30°, y se encuentran en casquillos E27 con potencias de 60, 75, 100 y 150 W.
- f) Lámparas reflectoras PAR de bajo voltaje, se alimentan con tensiones de 6, 12 o 24 V, se necesitara un transformador individual o por grupo de lámparas. Al estar alimentado por baja tensión aumenta la intensidad de corriente a través del filamento y por tanto mayor eficiencia luminosa, es decir proyecta más luz por vatio sobre los objetos que ilumina, es por esto que su mayor uso es en alumbrado decorativo de resalte, así como en iluminación de piscinas. Se encuentran en potencias desde 25 hasta 100 W.

- g) Lámparas halógenas lineales, al aumentarle yodo al gas de relleno se obtiene un equilibrio en el ciclo de evaporación del filamento de la lámpara, alargando el tiempo de vida de esta. La conexión es directa a la línea de alimentación, sus ampollas son claras y están diseñadas para alumbrado por proyección o iluminación indirecta decorativa. Debido a la condición de una alta temperatura dentro del bulbo, se usa una doble envoltura de cuarzo y vidrio. Se encuentran en potencias desde los 100 W hasta 2000W con flujos luminosos de 1350 a 4400 lm respectivamente.
- h) Lámparas halógenas de bajo voltaje. Existen en voltajes de 6, 12 y 24 V, el reflector incorporado puede ser metálico o dicróico (refleja la luz y transmite hasta las dos terceras partes de la radiación infrarroja hacia la parte posterior de la lámpara), los ángulos de concentración van desde los 7° hasta los 60° con potencias más usuales de 35, 50 y 75 W; las lámparas de halógeno de tungsteno de bajo voltaje tienen excelente reproducción del color, son pequeñas y son indicadas para iluminar resaltando objetos, iluminaciones decorativas, vitrinas y sobretodo para iluminar objetos que son sensibles al calor (alimentos) u objetos que son sensibles a la acción de los rayos infrarrojos, como por ejemplo telas oscuras exhibidas en los museos. [4]

2.1.3 Lámparas de descarga

Las lámparas de descarga se pueden clasificar según el gas utilizado o la presión a la que se encuentra. Entre ellas tenemos:

2.1.3.1 Lámparas de vapor de mercurio

Son lámparas en las que la emisión de radiaciones luminosas se debe a la excitación de mercurio contenidos en tubos de descarga. Las propiedades eléctricas y luminosas de la descarga en vapor de mercurio dependen en gran medida de la presión del vapor como la variación del rendimiento luminoso frente a dicho parámetro. Existen lámparas de vapor de mercurio de alta presión, de luz de mezcla, halogenuros metálicas y de inducción.

- 1) Lámparas de mercurio de alta presión, sus componentes fundamentales son: el tubo de descarga, los electrodos, el gas de relleno y el casquillo. El tiempo de encendido es del orden de los cuatro-cinco minutos y su corriente de arranque puede ser 1.5 a 1.9 veces su corriente nominal. Sus principales ventajas son:
- Eficacia superior a las lámparas incandescentes halógenas, su eficiencia luminosa es de 60 lm/W frente a 20 lm/W de la primera, para una misma potencia de lámpara. [3]

- Vida útil de aproximadamente 8000 horas, este dato varía dependiendo del fabricante.
- Tiene una buena reproducción de las tonalidades verde, ideal para jardines y áreas verdes.

Como limitaciones tenemos:

- Encendido y reencendido no inmediato.
- Necesidad de sobredimensionamiento de circuito de alimentación.
- Menor eficacia luminosa frente a otras lámparas de descarga

2) Lámparas de luz mezcla, es una lámpara de vapor de mercurio de alta presión con balasto incorporado, sus principales ventajas son:

- Vida útil de 6000 horas.
- Acoplo directo a la red.

Sus limitaciones son:

- Eficacia luminosa frente a otras lámparas de descarga, 30 lm/W.
- Alta influencia de las variaciones de la tensión de la red.
- Encendido y reencendido no inmediato.

3) Lámparas de halogenuros metálicos, la diferencia con las otras de la misma familia es que el tubo de descarga tiene diversos aditivos metálicos, en forma de halogenuros, son usadas en interiores, como por ejemplo en salas de venta, escaparates, hoteles, galerías de arte, ferias, etc. En exteriores es recomendable en campos deportivos (sobre todo en aquellos donde se va transmitir por televisión), calles, edificios y monumentos.[5] Sus principales ventajas son:

- Amplia gama de temperaturas de color (3000 a 6500 K), que permiten su adaptación a diferentes ambientes cromáticos.
- Dimensiones reducidas (tubo de descarga) en las lámparas que no tienen la envoltura de vidrio.
- Alta eficiencia luminosa, hasta 95 lm/W.

Sus principales desventajas son:

- Poca vida útil, 2000 a 6000 horas aproximadamente
- Presentan una descarga inestable, sensible a las variaciones de tensión de red.
- Precio de adquisición elevado que las convierten en una de las fuentes de luz más caras del mercado.

2.1.3.2 Lámparas de vapor de sodio

La producción de luz se efectúa como consecuencia de la excitación de átomos de sodio contenidos el tubo de descarga, existen lámparas de baja y alta presión.

1. Lámparas de vapor de sodio de baja presión, su principal empleo es en iluminación de vigilancia de grandes espacios exteriores, también se encuentra en iluminación de autopistas y carreteras fuera de la zona urbana; sus principales ventajas son:
 - Alta eficacia luminosa (200 lm/W).

Entre sus principales desventajas se tienen:

- Rendimiento nulo en color.
 - Excesivo volumen de lámpara, lo que dificulta su empleo.
 - Apariencia de color cálida.
2. Lámparas de vapor de sodio de alta presión, tiene una distribución espectral que abarca casi todo el espectro visible proporcionando una luz blanca dorada mucho mas agradable que la proporcionada por las lámparas de baja presión su campo de aplicación es muy amplio, con introducción elevada en las aplicaciones del sodio de baja presión y mercurio de alta presión, sustituyendo a éstas normalmente, también se le usa en interiores en los que se requieran lámparas de descarga de alta intensidad. Sus principales ventajas son:
 - Tiene un rendimiento del color mejorado respecto a las lámparas de baja presión.
 - Buena magnitud de vida útil, desde 8000 hasta 12 000 horas.
 - Eficiencia luminosa de hasta 125 lm/W.

Sus principales limitaciones son:

- Los valores de IRC no se acercan a los conseguidos por las lámparas de halogenuro metálico.
- Apariencia de color cálida, con una temperatura del color desde 1900 hasta 2200 K aproximadamente, que ofrece una cierta sensación de rechazo psicológico cuando se trata de ofrecer altos valores de iluminancia.

A continuación se muestra una tabla de resumen de todas las lámparas anteriormente expuesto:

Tabla 2.1 Tipos de lámparas

Lampara Fluorescente	Compactas De color estandar De alta eficacia luminosa Pentafosforicas Miniatura En forma de U
Lampara de Descarga	De vapor de mercurio De vapor de sodio
Lampara Incandescente	Estandar Estandar opalizadas Kripton Reflectoras Reflectoras PAR Reflectoras PAR de bajo voltaje Halogenas lineales Halogenas de bajo voltaje

2.2 Tecnología LED en sistemas de iluminación

2.2.1 LED

Los LEDs ofrecen decisivas ventajas gracias a su avanzada tecnología, que los convierte en una alternativa real a las lámparas convencionales en muchas aplicaciones. Los diodos que emiten luz son semiconductores compuestos que convierten la corriente eléctrica directamente en luz. Los diodos luminosos permiten muchos diseños creativos para conseguir soluciones luminosas innovadoras con la variedad de colores de los LEDs, su reducido tamaño y la flexibilidad de los módulos. [6]

El efecto de producir luz con un diodo semiconductor se observó por primera vez en 1907, pero como la luz que proporcionaba era muy pequeña nadie le dio ninguna importancia. Se tuvo que esperar hasta 1962 a que Nick Holonyak, en aquel momento investigador de General Electric, redescubriera que los cristales semiconductores podían emitir luz roja (se consiguió una frecuencia de emisión de unos 650 nm con una intensidad relativamente baja, aproximadamente 10mcd @20mA). Los siguientes desarrollos, ya entrada la década del 70, introdujeron nuevos colores al espectro, así se consiguieron colores verde, ámbar y naranja. También se desarrollaron leds infrarrojos, los cuales se hicieron rápidamente populares en los controles remotos de los televisores y otros artefactos del hogar. Ya en la década de los 90 se usaron nuevos materiales para producir leds (como por ejemplo: AlInGaP, mezcla de Aluminio, Indio, Galio y Fósforo; GaN, Galio – Nitrógeno) y así se pudo conseguir una gran gama de colores del espectro visible, cambiando la proporción de los materiales que lo componen; su vida útil también aumento hasta alrededor de 100 000 horas. [7]

Los LEDs son una alternativa válida a las fuentes convencionales de luz en muchas áreas de la iluminación general – y están abiertos también a oportunidades y perspectivas desconocidas hasta ahora. En la actualidad las prestaciones de los LEDs son amplias, poseen una gama de dispositivos que varían de acuerdo a los colores que producen, distribuciones angulares, geometrías y potencia consumidas. Es una revolución que cambia día tras día a un ritmo casi imposible de imaginar, en países más desarrollados permanentemente se producen lanzamientos y los especialistas van logrando aplicaciones que eran inimaginables poco tiempo atrás. Como menciona el gerente de marketing de OSRAM Argentina, Luis Schmid, “No se puede hablar de un “estado del arte” en la tecnología LEDs, porque es una revolución que cambia día tras día a un ritmo casi imposible de imaginar” [8]

2.2.2 Funcionamiento

El diodo que se basa en una capa electroluminiscente, cuando está formada por una película de componentes orgánicos que reaccionan a una determinada estimulación eléctrica, son conocidos como OLED, estos existen en gran diversidad de estructuras y materiales que se han podido idear e implementar para contener y mantener la capa electroluminiscente, también se subdividen según el tipo de componentes orgánicos que utilizan. Las principales ventajas de los OLEDs son: menor costo, mayor rango de colores, más contrastes y brillos, mayor ángulo de visión, menor consumo y, en algunas tecnologías, flexibilidad. Pero la degradación de los materiales oled han limitado su uso por el momento.

Actualmente se está investigando para dar solución a los problemas derivados, hecho que hará de los OLEDs sea una tecnología que puede reemplazar por ejemplo, la actual hegemonía de las pantallas LCD (TFT) y de las pantallas de plasma. Los oled se pueden clasificar de la siguiente forma:

- a) SM-LED (Small-molecule oled), se basan en una tecnología desarrollada por la compañía Kodak. La producción de leds con pequeñas moléculas requiere una deposición en el vacío de las moléculas que se consigue con un proceso de producción mucho más caro que con otras técnicas.
- b) PLED (Polymer Light-Emitting Diodes) o leps (Light-Emitting Polymers) han sido desarrollados por la empresa Cambridge Display Technology, estos se basan en un polímero conductivo electroluminiscente que emite luz cuando le recorre una corriente eléctrica, se usa una película de sustrato muy delgada para el recubrimiento y así se obtiene una pantalla de gran intensidad de color que requiere relativamente muy poca

energía en comparación con la luz emitida. No es necesario que se produzca en un encapsulado al vacío, es así como los polímeros pueden aplicarse sobre el sustrato mediante una técnica derivada de la “impresión de rayo comercial” (llamada inkjet en inglés). El sustrato usado puede ser flexible, como un plástico PET, por ejemplo. Es por esto que los peds pueden ser producidos de manera económica.

- c) TOLED (Transparent oled), usan un terminal transparente para crear pantallas de televisión que pueden emitir en su cara de adelante, en la de atrás, o en ambas consiguiendo ser transparentes, estos pueden mejorar enormemente el contraste con el entorno, haciendo mucho más fácil el poder ver las pantallas con la luz del sol.
- d) SOLED (Stacked oled) utilizan una arquitectura de píxeles novedosa que se basa en almacenar subpíxeles rojos, verdes y azules, unos encima de otros en vez de disponerlos a los lados como sucede de manera normal en las pantallas lcd, con esto se mejora la resolución de las pantallas y realzando por completo la calidad del color.

2.2.3 Ventajas

Las principales ventajas de los LEDs son [6]:

1. Producen más lúmenes por watt que las lámparas incandescentes, esto es especialmente útil en dispositivos operados a baterías, su eficiencia luminosa llega a 100 lm/W.
2. Los LEDs pueden producir luz de un color específico, sin la necesidad de utilizar filtros adicionales, lo que ahorra peso y los hace más eficientes, así como la actual variación y generación de múltiples colores, basado esto en la tecnología RGB lo cual crea posibilidad de diseños creativos gracias a la gran variedad de colores, medidas compactas y flexibilidad de los módulos
3. Cuando se utilizan en aplicaciones donde se requiere disminuir su potencia, es decir donde se necesite menos intensidad de iluminación, los LEDs no cambian su color, a diferencia de las luces incandescentes que tienden a tornarse amarillas.
4. Los LEDs no se ven afectados por ciclos rápidos de encendido y apagado, a diferencia de las lámparas fluorescentes o de descarga.
5. Siendo dispositivos de estado sólido, son muy resistentes a impactos.

6. Tienen extremadamente larga vida útil, algunos fabricantes estiman su duración entre 100,000 y 1000,000 horas.
7. Bajo costo de mantenimiento de instalaciones luminosas y el funcionamiento a bajo voltaje permite un uso sin peligro
8. Se iluminan rápidamente, un LED típico puede alcanzar su máxima brillante en algunos microsegundos.
9. Puede ser muy pequeño lo cual facilita su uso en lugares donde el espacio de trabajo es reducido
10. A diferencia de las lámparas fluorescentes, los LEDs no contienen mercurio

2.2.4 Aplicaciones

Hoy en día se puede encontrar LEDs en una gran cantidad de aplicaciones como por ejemplo en la iluminación de efectos, de fondos, de acento, en luminarias de seguridad y en displays. Su lado más fuerte es la iluminación con colores. Los LEDs están disponibles siempre con la última tecnología y potencia, la eficacia luminosa evoluciona de tal forma, que los LEDs son cada vez más aptos para la iluminación en general. Los LEDs están disponibles en todos los colores y se dejan acoplar fácilmente a diferentes exigencias luminosas. Sus aplicaciones de iluminación abarcan: [9] y [10]

- En la iluminación publicitaria.
- En la creación de ambientes e iluminación general.
- En la señalización del tráfico.
- Para la iluminación de orientación en edificios.
- En la señalización de salidas de emergencia.
- Para luminarias de diseño y para empotrar.
- En luminarias indicadoras.
- Para poner en escena la arquitectura.



Figura 2.3 Ejemplo de iluminación de exteriores con LEDs RGB (Catalogo Osram, 2008)

2.3 Síntesis sobre el asunto de estudio

El alto grado de efectividad de los módulos LEDs tiene como consecuencia, hasta un 80 % de ahorro de energía, en función del color, frente a los tubos de neón. La flexible geometría de los módulos facilita la utilización de productos estándar, con lo que se ahorra el exceso de costes de los tubos de neón fabricados específicamente para el cliente. La capacidad de control de luz emitida y la vida, claramente superior, de los LEDs, lleva a una reducción drástica de los costes de mantenimiento. Con los LEDs la radiación luminosa monocromática alcanza una saturación del color considerablemente más alta que los medios luminosos tradicionales, esto es, colores brillantes y luminosos para una publicidad luminosa.

Los LEDs se pueden encontrar en los pilotos traseros de bicicletas bicicleta, en linternas, en los faros posteriores de autos, en semáforos, y por ultimo llegan al hogar, donde economizan consumo, (podríamos iluminar un hogar durante días con el contenido de una batería de auto), en caso de caída de tensión en la red eléctrica es útil para sitios rurales y hospitales, esta tecnología que evoluciona rápidamente, puede empotrarse en cualquier tipo de arquitectura debido a su pequeño tamaño, peso, robustez y larga vida.

2.4 Aspectos Generales

2.4.1 Aspecto físico de la luz

Cuando un sujeto se encuentra en un ambiente iluminado percibe una serie de sensaciones que le permiten distinguir y reconocer lo objetos que le rodean, mientras que si se encuentra en un ambiente privado de luz, dichas sensaciones dejan de producirse. Más del 50% de las

informaciones sensoriales recibidas por el hombre son del tipo visual, tienen como origen primario la acción de la luz.

La luz es cualquier tipo de radiación visible, apreciada de acuerdo con la sensibilidad del ojo humano, y la radiación es cualquier tipo de energía que no precisa de un medio material para su propagación y cuya velocidad de propagación en el vacío es una constante universal (aproximadamente 300 000 Km/s). [11]

La longitud de onda se define como la distancia entre dos crestas consecutivas, su unidad más frecuente es en nanómetro (nm), no es una característica invariable, sino que va a depender de la naturaleza del medio a través del que se propaga, tal y como se expresa en la relación:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (\text{ec. 2.1})$$

Siendo f la frecuencia, c la velocidad de propagación en el medio considerado y la longitud de onda de dicha radiación. Teniendo en cuenta que f es una característica invariable de la radiación y que las variaciones en la velocidad de propagación son relativamente pequeñas, la clasificación más usual de las radiaciones electromagnéticas es la que se basa en las longitudes de onda, las radiaciones visibles ocupan una franja muy estrecha, comprendida aproximadamente entre los 380 y 760 nm del espectro electromagnético, fuera de esta banda visible el órgano visual aunque quede expuesto a energía radiante de diversas longitudes de onda, no es capaz de provocar ninguna respuesta de carácter visual. Otra característica física de la radiación luminosa es su propagación en línea recta, como consecuencia de esta cualidad, la sombra arrojada por un cuerpo va ser función de la fuente luminosa elegida para su iluminación; una fuente puntual ocasionará sombras con excesivo contrastes entre la zona de luz y la oscuridad, mientras una fuente de luz lineal añadirá una tercera zona a las anteriores, llamada penumbra que atenuara el contraste entre la sombra y el área de luz.

A continuación se definen las siguientes magnitudes y unidades: [12]

Flujo luminoso: Se define como la potencia (W) emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible. Su símbolo es Φ y su unidad es el lumen (lm). A la relación entre watts y lúmenes se le llama equivalente luminoso de la energía y equivale a: 1watt-luz a 555nm = 683lm. El flujo luminoso se puede entender como la cantidad de luz que emite una fuente de luz en todas las direcciones del espacio.

Intensidad luminosa: Es el flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido en una dirección concreta. Su símbolo es I y su unidad la candela (cd)

Illuminancia: Se define como el flujo luminoso recibido por una superficie. Su símbolo es E y su unidad es el lux (lx) que equivale a un lm/m². Existe también otra unidad, el foot-candle (fc), utilizada en países de habla inglesa cuya relación con el lux es la siguiente: $1 \text{ fc} \approx 10 \text{ lx}$.

Luminancia: Es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. Su símbolo es L y su unidad es la cd/m². También es posible encontrar otras unidades como el stilb ($1 \text{ sb} = 1 \text{ cd/cm}^2$) o el nit ($1 \text{ nt} = 1 \text{ cd/m}^2$).

2.4.2 Propiedades Ópticas de los cuerpos

Cuando incide una radiación luminosa sobre un cuerpo se generan tres fenómenos diferenciados por su comportamiento frente a la luz, que son: la reflexión, transmisión y absorción.

- a. **Reflexión:** Es el rechazo sufrido por la radiación al incidir sobre una superficie reflectante, los tipos de reflexión se definen de acuerdo con las características físicas de la superficie reflectante en cuestión; si la textura de la superficie es lisa y brillante, el ángulo de incidencia es igual al reflejado, en superficies rugosas y brillantes, la radiación es reflejada en varias direcciones pero hay una con mayor intensidad; y si las superficies son blancas y esmaltadas, los rayos incidentes se reflejan en todas las direcciones espaciales, existiendo una mayor proporción en determinadas zonas.
- b. **Transmisión:** Se conoce a la propagación de las radiaciones a través de los cuerpos transparentes o traslúcidos, si durante esta transmisión se produce un cambio en la densidad del medio, los rayos luminosos cambian su dirección, este es el fenómeno de refracción.
- c. **Absorción:** Una fracción de la energía radiante incidente sobre el cuerpo real es reflejada, otra parte es transmitida a través de él y por último, una parte de dicha energía es absorbida por el cuerpo, aumentando su energía interna

2.4.3 El color

Dentro del rango del espectro visible, existen subintervalos que generan una u otra sensación de color, en función de la longitud de onda de dichas radiaciones. Las siguientes zonas del espectro representan los siguientes colores:

Tabla 2.2 Rango de longitudes de ondas para los colores

Longitud de onda	Color
380 - 436 nm	Violeta
436 - 495 nm	Azul
495 - 566 nm	Verde
566 - 589 nm	Amarillo
589 - 627 nm	Naranja
627 - 760 nm	Rojo

Estos límites en las longitudes de onda, para pasar de un color a otro, no tienen un carácter absoluto, por cuanto dicho paso se efectúa de forma progresiva; el color se puede definir como una interpretación psicofisiológica del espectro electromagnético visible, no es una propiedad única de los cuerpos, ya que además de depender de sus propiedades ópticas, también va a depender de la composición espectral de la luz que reciben; el concepto de color tiene su origen en tres tipos de percepciones visuales:

1. Tono: es el definido por una frecuencia del espectro visible, es decir a la intensidad del rojo, amarillo, verde, etc., se está haciendo alusión a los diversos tonos.
2. Luminancia: es la cantidad de intensidad luminosa que percibimos cuando se observa un objeto desde un cierto ángulo; la luminancia máxima equivale al blanco, ya que se pierde la sensación de color, mientras que una luminancia mínima corresponde al negro.
3. Saturación: refleja la predominancia de una longitud de onda determinada (tono) frente a una mezcla de diversas longitudes de onda, es decir, determina la concentración de un color con respecto a un gris cuando ambos son vistos con el mismo grado de luminancia.

Cualquier color visible se obtiene variando proporciones de luminancias de los colores primarios (rojo-verde-azul), los resultantes poseen mayor luminancia que los primarios, ya que se trata de adición de radiaciones luminosas. El espacio propuesto por la C.I.E. (Comisión Internacional de l'Eclairage) en 1931 es una representación de los colores existentes divididos en coordenadas cromáticas.

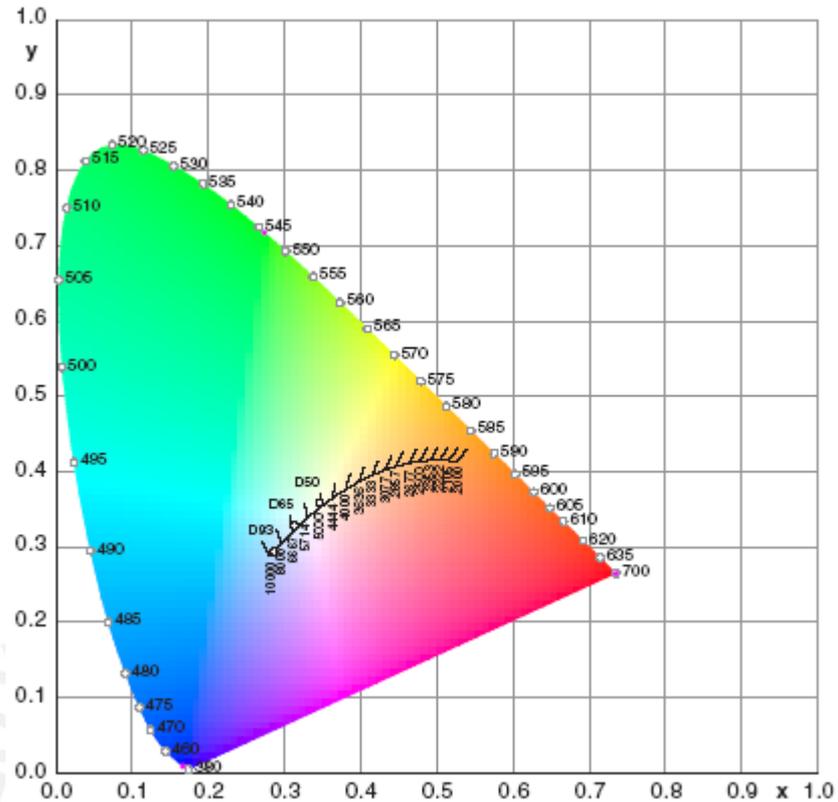


Figura 2.4 Diagrama de color CIE 1931

En la figura 2.1, la línea perimetral del espacio se representa los diferentes tonos, ambos extremos (380 – 760 nm) se unen por la llamada línea púrpura, conformando el designado “triángulo cromático CIE”. En el centro se encuentra el punto al cual le corresponde una saturación nula (no hay predominancia de ninguna longitud de onda sobre otras) y una luminancia máxima (asociada al blanco por excesiva claridad). Cualquier color existente vendrá definido en el espacio anterior por tres coordenadas x, y, z que reciben el nombre de coordenadas cromáticas, para mejor comodidad resulta evidente trabajar en sistemas de planos (dos variables) y para ello consideremos que cualquier color podemos conseguirlo mediante diferentes proporciones de luminancias de los tres colores primarios (rojo, verde y azul) en un mezcla tricromática. [11]

2.4.4 Temperatura de color

Se define la temperatura de color de una determinada fuente luminosa como la temperatura que debe alcanzar un cuerpo negro ideal para que la tonalidad de la luz sea igual a la de la lámpara que emite la luz, es medida con un colorímetro y expresada en grados Kelvin (K), se relaciona con la apariencia de color como vemos en la siguiente tabla.

Tabla 2.3 Rango de temperatura de color

Tc (K)	Apariencia de color
Tc < 3300	Cálida
3300 < Tc < 5000	Intermedia
Tc > 5000	Fría

La luz cálida se inclina hacia el amarillo-rojo, la luz fría hacia el azul-violeta; la luz emitida por el sol en cielo despejado tiene una temperatura de color aproximada de 5800 K cuando se encuentra en el cenit, y de 2000 K cuando está sobre el horizonte. Este parámetro es válido, por su propia definición para lámparas incandescentes o termoradiadoras, que se rigen por la ley de Planck, en las lámparas de descarga, los puntos de color no coinciden con los de la curva del cuerpo negro, se acepta como valor de temperatura, la del cuerpo negro más parecida a la del color de luz analizado.

2.4.5 Índice de reproducción cromática

Es la relación entre el aspecto cromático que representa un determinado cuerpo iluminado con su fuente de luz y el aspecto que representaría bajo una luz de referencia, en otras palabras, es la capacidad de una fuente luminosa para reproducir los colores naturales de los objetos observados; se cuantifica a través del índice de reproducción cromática, IRC o Ra, que oscila en una escala graduada de 0 a 100. La fuente de referencia es la luz natural normalizada de un cuerpo negro cuando la Tc de la fuente luminosa que va a ser analizada es menor o igual a 5000 K y es la luz de día, cuando la Tc esta por encima de 5000 K, es decir no se puede comparar el IRC de una lámpara con un Tc de 3000 K con el de otra cuya Tc es de 5500 K, ya que la primera se ha calculado su IRC usando como luz de referencia la emitida por un cuerpo negro a una temperatura de 3000 K, y en la segunda su IRC se ha calculado usando luz de día, con una temperatura de 5500 K; a continuación observamos valores comunes de IRC para ciertos tipo de lámparas artificiales. [2]

Tabla 2.4 Índice de reproducción cromática de acuerdo a las lámparas incandescentes

Lámparas incandescente / halógenas	IRC 100
Lámparas fluorescentes compactas electrónicas	IRC 85
Lámparas de vapor de mercurio	IRC 49 - 55
Lámparas de vapor de sodio baja presión	IRC 0

Por último y para que nos sirva como referencia, vamos a anotar los diversos efectos psicológicos que provocan los colores sobre el ser humano, según Grandjean:

Tabla 2.5 Efecto psíquico de acuerdo a los colores

Color	Impresión a distancia	Impresión de Temperatura	Efecto psíquico
Rojo	Acercamiento	Caliente	Excitante
Naranja	Gran acercamiento	Muy caliente	Actividad inquietante
Amarillo	Acercamiento	Muy caliente	Actividad
Verde	Alejamiento	Muy frío a neutro	Calma
Azul	Alejamiento	Frío	Calma, lentitud
Violeta	Gran alejamiento	Frío	Apatía

2.5 Iluminación publicitaria – Display

El término display designa tanto eventos como objetos y acciones tratándose específicamente de la acción de manipular objetos dentro de un espacio con miras a las acciones de venta de productos, almacenamiento y ostentación, ya sean estos comunes, de primera necesidad o de lujo. Es una forma de comunicación visual intencional, el cual crea una interacción entre el objeto presentado y el público destinatario. El display puede clasificarse en: display – espacio o como display – objeto: Una pequeña descripción y clasificación de cada uno presento a continuación. [13]

A. Display – Objeto, es la representación física, gráfica o zoográfica de un producto; se puede subdividir en distribuidores o no distribuidores. En la primera hace referencia al display que facilita los productos al alcance de la mano del cliente, puede ser un mostrador o mural. La segunda consiste en un objeto que sólo presenta al producto, pueden subclasificarse en: paneles (recuerda el slogan o argumento de la marca o producto), móviles (elementos pequeños bidimensionales o tridimensionales suspendidos del techo o en alguna plataforma), material animado (elementos tridimensionales que poseen movimiento total o parcial debido a algún mecanismo eléctrico-físico), también se incluye el formato de video como medio de comunicación con el público.

B. Display – Espacio, se clasifica en escaparates y stands.

Escaparates: si se encuentra al exterior del recinto de venta, su función será la de atraer a los posibles clientes que circulan por las calles, constituyen la fachada más importante de la tienda. Si el escaparate se encuentra al interior del centro comercial, posee dimensiones y profundidad reducidas, lo que permite representaciones no muy amplias. Los stands son espacios donde se expone y vende los productos a la vez, es usado con más frecuencia en ferias.

CAPÍTULO 3

REDISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

3.1 Introducción

En el presente capítulo se desarrollará los diferentes circuitos que hará posible manejar la intensidad luminosa en LED de alto brillo hacia el display publicitario.

3.2 Diagrama de bloques

El sistema de iluminación presenta 5 partes. De acuerdo al objeto que se desea iluminar se elige los tipos de LED de alto brillo que se necesitan, para después diseñar la interfaz de potencia que regula la corriente necesaria para el funcionamiento del LED. El microcontrolador permite variar la intensidad de brillo del LED a partir del cambio de DC (Duty Cycle) de la señal PWM (Pulse Width Modulation), ya que en la interfaz de usuario se tienen pulsadores, uno para aumentar y otro para disminuir.

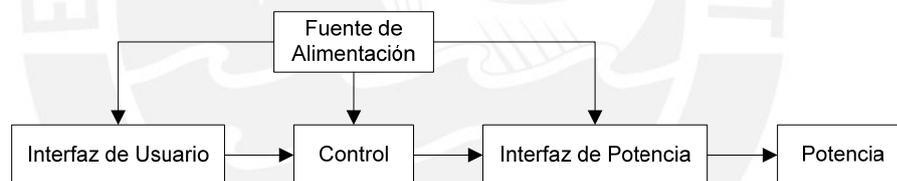


Figura 3.1 Diagrama de bloques del sistema de iluminación

El rediseño del sistema de iluminación será en la interfaz de potencia, ver el documento de tesis “Diseño de sistema de iluminación para espacios publicitarios” propuesto por el Ing. Manuel Lara, pues se va a utilizar el circuito integrado LM3405 que se explicará mas adelante.

3.2.1 Potencia

Conformado por: el LED de potencia, el disipador de calor y el lente convergente.

3.2.1.1 LED de Potencia

Los LEDs de potencia tiene las características eléctricas de alta intensidad de corriente (se le nombra “ I_d ”), que soportan entre 100 a 1500 mA y el voltaje ánodo - cátodo (se le nombra “ V_f ”, Forward Voltage) que va desde 3 hasta 10 voltios para un consumo de potencia límite en algunos casos de 12 W con una eficiencia luminosa de hasta 120 lm/W. El objetivo de la tesis

es la iluminación de un display publicitario de tamaño pequeño, de área superficial no mayor a 25x25 cm² por lo tanto los requerimientos del LED son: flujo luminoso que emite menor a 60 lm (lúmenes) y menor consumo de potencia.

En la tabla 3.1 se hace un cuadro comparativo entre dos tipos de LEDs, uno fabricado por Lamina Lightning y el otro por Optek Electronics.

Tabla 3.1 Parámetros de dos LEDs de potencia RGB a Tj = 25°C

LED		Vf (VDC)	Id (A)	Potencia (W)	Flujo Luminoso (Lm)	Costo [3] USDD
NT 43F0-0424 RGB - Atlas Lamina Lightning	R	4.5	0.35	1.6	59	24.00
	G	7.0	0.35	2.5	98	
	B	7.3	0.35	2.6	19	
OVTL09LG3M Optek Electronics	R	6.8	1.05	7.2	74	33.84
	G	9.4	1.05	10	74	
	B	9.6	1.05	10	74	

En la elección del LED se tomaron distintos aspectos, primero es la potencia consumida, en el LED de Lamina Lightning es 6.7W mientras para el LED de Optek Electronics es 27W, otra característica es el flujo luminoso total emitido en el LED, en el de Lamina es 180lm mientras para el de Optek Electronics es 220lm, por ultimo la eficiencia del LED de Lamina Lightning es 17 lm/W a Id de 350mA comparado con 11lm/W a Id de 1.05mA. Por las razones antes expuesto, de menor precio, flujo luminoso y eficiencia, se decide por usar el LED RGB Atlas de Lamina Lightning.

En el diagrama de conexión del LED RGB Atlas, que se muestra en la figura 3.2, los LEDs internos (rojo, verde y azul) son independientes entre sí lo que facilita poder controlarlos por separado, en cambio el LED de Optek Electronics tiene una configuración de ánodo común para los tres LEDs internos. En el Anexo 1 se observan las curvas características y especificaciones técnicas de este LED de potencia.

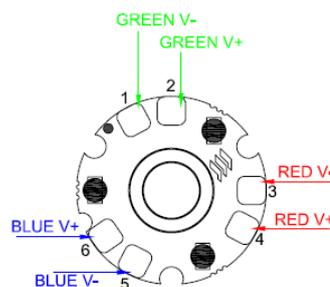


Figura 3.2 Conexión eléctrica del LED RGB Atlas (Modificado de la Hoja de datos de Lamina Lightning, 2008)

3.2.1.2 Disipador de Calor

Largo tiempo de vida del LED RGB es asegurado por el elemento que permite disipar calor, pues el LED RGB funciona con gran cantidad de potencia, elevando su temperatura de trabajo, que influye en las horas de vida estimado del LED RGB. La marca Lamina Lightning nos brinda un conjunto de disipadores de calor, ver anexo 2, de acuerdo al tipo de LED a usar, la cantidad de potencia de trabajo de acuerdo a la tabla 3.2, y la temperatura máxima que soporta. En la tabla se presenta varios disipadores de calor, ver tabla 3.3

Tabla 3.2 Valores máximos de trabajo ($I_d=350\text{mA}$)

	I_f (mA)	V_f (V)	P (W)
R	350	4.4	1.54
G	350	6.8	2.38
B	350	7.1	2.49
		P total	6.41

Tabla 3.3 Disipadores de calor a $T_j = 125^\circ\text{C}$

Temperatura de juntura máxima = 125°C		
Potencia de disipación = 6.5W		
Disipador de Calor	Espesor	Resistencia Termica($^\circ\text{C}/\text{W}$)
HS-4050-0345	0.5"	7
HS-4075-0345	0.755"	6.4
HS-4100-0345	1"	6
HS-4150-0345	1.5"	5

De acuerdo a la resistencia térmica del LED Atlas, es $6^\circ\text{C}/\text{W}$, se usa la tabla Resistencia térmica vs. Potencia disipada para elegir el disipador de calor que cumpla con los requerimientos. Por lo tanto es conveniente utilizar el disipador de calor HS-4100-0345 de Lamina Lightning.

3.2.1.3 Lente Convergente

Con este dispositivo podemos dirigir el flujo luminoso que irradia el LED RGB hacia el display publicitario, aprovechando al máximo la cantidad de energía que le llega al objetivo además de sumar los colores primarios y obtener los colores secundarios. En la tabla 3.4 se presenta varios tipos de lentes convergentes recomendados por el fabricante Lamina Lightning para el LED Atlas:

Tabla 3.4 Parámetros de tres lentes convergentes

Lente	Tipo de lente	Ángulo de Divergencia	Eficiencia
OP-4LN1-0457	Haz Estrecho	17°	73%
OP-4FM1-0442	Haz Mediano	34°	86%
OP-4FW1-0441	Haz Ancho	38°	84%

Como observamos en la tabla anterior, los dos últimos lentes tienen características similares pero se decidió por el lente OP-4FM1-0442 ya que se encontraba disponible en el mercado nacional. En el anexo 3 se puede verificar los datos mencionados además de presentar las características físicas del lente debido a su alta eficiencia y ángulo de divergencia de 34°. A continuación se muestra un cuadro de la iluminancia (flujo luminoso por m²) a diferentes distancias del lente convergente para los colores rojo, verde y azul.

Tabla 3.5 Valores de iluminancia para el lente OP-4FM1-0442

		Distancia del Lente (m)			
		1	2	5	10
OP-4FM1-0442	Id (mA)	Iluminancia (Lux)			
R	350	125	31	5	1.3
	525	183	46	7	1.8
G	350	309	77	13	3.1
	525	402	100	16	4
B	350	53	13	2	0.5
	525	72	18	3	0.7

3.2.2 Interfaz de Potencia

Según los requisitos del LED RGB Atlas proporcionado en su hoja de datos, ver anexo 1, la máxima corriente DC de trabajo es de 550mA, para lo cual se tiene los siguientes datos:

Tabla 3.6 Valores máximos de trabajo para el LED Atlas

	Vf (V)	Id (mA)	Potencia (W)	Flujo Luminoso (lm)
R	4.70	550	2.7	90
G	7.25	550	4.1	135
B	7.65	550	4.4	28

La mayoría de las fuentes de alimentación de LED se pueden dividir en dos categorías principales: lineales y conmutadas (SMPS, Switch Mode Power Supply). Las primeras se basan en alimentar directamente a la carga, mientras que las conmutadas están diseñadas para transferir energía de la fuente a la carga a través de un capacitor. En la presente tesis se ha optado por un circuito integrado que funciona como fuente conmutada y una señal PWM que varíe los tiempos de encendido y apagado del LED, la cual estará a una frecuencia mayor a 30 Hz (frecuencia mínima a la que el ojo humano percibe cambios abruptos de estados) y por consiguiente al variar el ciclo de trabajo dará la impresión al ojo humano que el LED está aumentando o disminuyendo su intensidad luminosa.

Como se observa en el siguiente diagrama de bloques de la figura 3.3, las líneas de alimentación y de control por PWM son independientes para cada uno de los tres LEDs internos que componen el LED RGB.

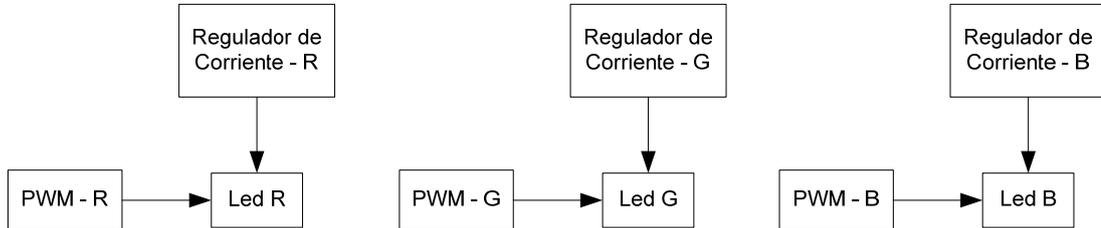


Figura 3.3 Diagrama de bloques para cada LED

La fuente conmutada que se utilizará en la presente tesis es el LM3405, ver anexo 4. Este es un regulador de corriente diseñado para dar una solución simple y de alta eficiencia en la conducción de LEDs de alta potencia. Con un voltaje de referencia de 0.205 V para el control de retroalimentación que minimiza la disipación de potencia, y una resistencia externa mantiene la corriente necesaria, hasta 1A, para controlar los diferentes tipos de LEDs.

A continuación, de acuerdo a la hoja de datos del fabricante, se hará una breve descripción del funcionamiento del LM3405 a partir del siguiente diagrama de bloques:

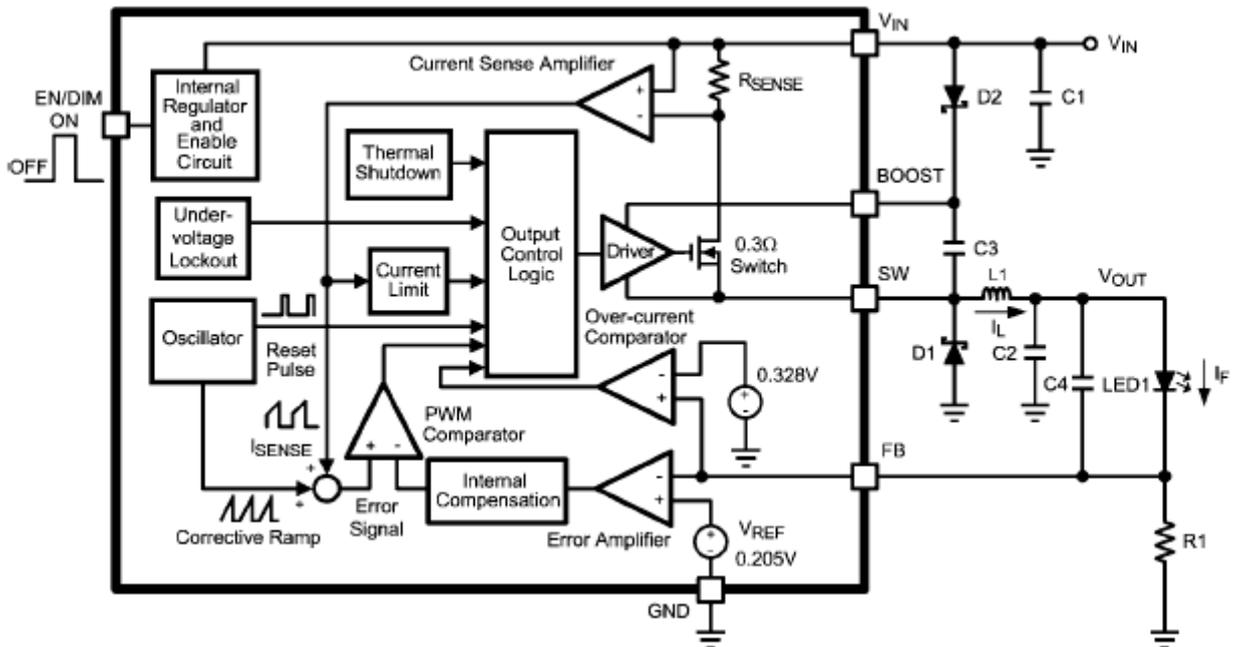


Figura 3.4 Diagrama de bloques del LM3405

El LM3405 suministra una corriente de salida regulada por la conmutación del switch de potencia interno NMOS a una frecuencia constante y un ciclo de trabajo variable.

El ciclo de conmutación se inicia con un flanco de bajada del pulso generado por el oscilador interno a una frecuencia de 1,6 MHz, mientras el pulso se encuentre en '0', el controlador lógico activa el switch NMOS. Durante el tiempo de encendido el voltaje del pin SW (V_{SW}) se eleva hasta aproximadamente el voltaje de entrada y la corriente del inductor (I_L) se incrementa linealmente, y es sentido por el amplificador de corriente que genera una señal proporcional a la corriente del switch NMOS. La señal sentido se suma con el regulador de rampa correctivo y comparado con el error de amplificado de salida, que es la proporcional a la diferencia entre el voltaje de retroalimentación y el voltaje de referencia (V_{REF}).

Cuando el comparador de salida PWM esta en '1' debido a que el voltaje de feedback (V_{FB}) alcanza al V_{REF} (0.205V) entonces el switch interno NMOS se desactiva hasta el inicio del siguiente ciclo del pulso generado por el oscilador interno. Durante el tiempo que se encuentra desactivado el switch NMOS, el V_{SW} cae hasta un voltaje negativo del diodo D1 e I_L se descarga hacia el LED y la resistencia externa como se muestra en la figura 3.5

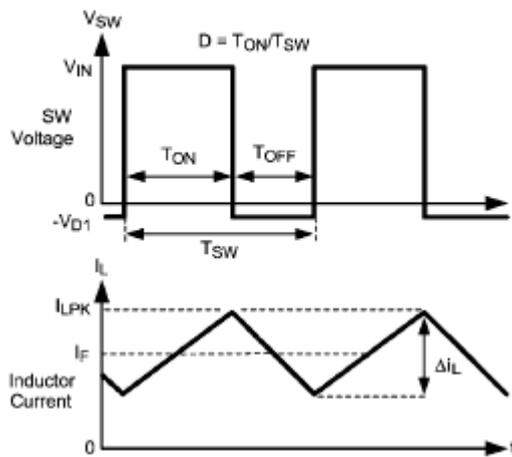


Figura 3.5 Carga y descarga de la corriente en el inductor

El voltaje en el capacitor C_3 , $V_{BOOST} - V_{SW}$, es el voltaje gate que activa al switch interno NMOS durante el T_{ON} y debe ser mayor a 2.5 V. Un mayor valor de éste voltaje es recomendado para minimizar la resistencia interna del switch NMOS (R_{ON}) y el tiempo de flanco de subida y de flanco de bajada. Sin embargo $V_{BOOST} - V_{SW}$ no debe exceder del límite máximo de operación de 5.5 V.

En aplicaciones donde el V_{IN} y V_{OUT} son mayores que 5.5 V, es necesario colocar un diodo zener D_3 en serie con el diodo D_2 como se muestra en la figura 3.6. En este caso, el voltaje gate es:

$$V_{IN} - V_{D3} - V_{D2} + V_{D1} \quad (\text{ec 3.1})$$

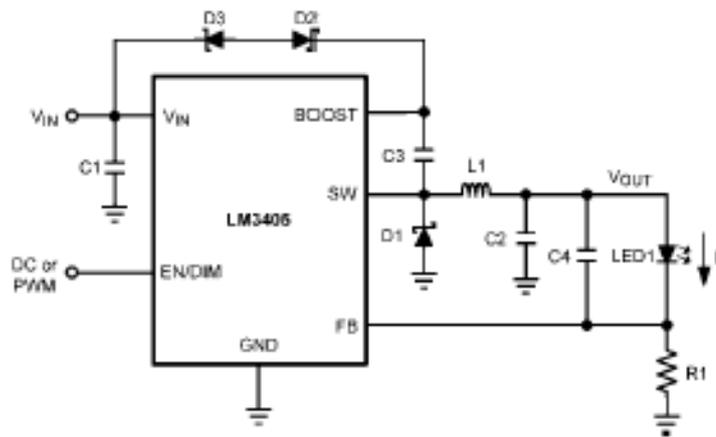


Figura 3.6 Circuito esquemático del LM3405

El presente diseño se encuentra en el anexo 4 proporcionado por el fabricante.

Como se puede apreciar en la figura 3.7, el LED RGB se encuentra conectado entre el V_{OUT} y el V_{FB} con un valor típico de 0.205 V. Por lo tanto la corriente directa (I_F) del LED RGB es dado por la resistencia externa R_1 según la siguiente ecuación:

$$I_F = \frac{V_{FB}}{R_1} \tag{ec 3.2}$$

Si deseamos que $I_F = 350\text{mA}$ en cada LED entonces:

$$R_1 = 0.58 \Omega$$

Con una potencia disipada de 0.07W, por esto se debe elegir un valor comercial de 0.25W. Además su voltaje ánodo-cátodo, según el anexo 1 tenemos la tabla 3.7:

	I_f (mA)	V_f (V)
R	350	4.4
G	350	6.8
B	350	7.1

Tabla 3.7

El voltaje de salida se determina por el número de LEDs conectados en serie entre V_{OUT} y el V_{FB} , por lo tanto se cumple la siguiente ecuación:

$$V_{OUT} = (n \cdot V_F) + V_{FB} \tag{ec 3.3}$$

donde: n es el número de LEDs y

V_F es el voltaje directo ánodo-cátodo del LED.

De acuerdo a la hoja de especificaciones del LM3405, $V_{FB} = 0.205 \text{ V}$

La tabla 3.8 muestra para cada LED su V_F , V_{FB} y V_{OUT} necesarios

Tabla 3.8

	Vf (V)	Vfb (V)	Vout (V)
R	4.4	0.205	4.61
G	6.8	0.205	7.01
B	7.1	0.205	7.31

El brillo del LED se puede controlar aplicando una señal periódica al pin EN/DIM variando la frecuencia y /o el DC. Esto se conoce como efecto dimmer ya que la corriente es obtenido de un promedio entre el tiempo que la señal de PWM esta en ‘alta’ y el periodo de la señal. El rango de frecuencias aplicables al LM3405 es desde 100Hz hasta 5kHz.

El valor del inductor determina el rizado de salida (Δi_L) en la corriente I_F como se puede observar en la figura 1.6. Un valor pequeño del inductor incrementa Δi_L pero un valor demasiado grande en el valor del inductor decrementa Δi_L . El ratio de rizado (r) es optimizado cuando se encuentra en 0.4 y 0.6; y está definido por:

$$r = \frac{\Delta i_L}{I_F} \tag{ec 3.4}$$

Se asume $r = 0.5$ con $I_F = 350\text{mA}$ entonces $\Delta i_L = 175\text{mA}$.

Ahora que se ha determinado r , la inductancia es calculado por:

$$L = \frac{V_{OUT} + V_{D1}}{I_F \times r \times f_{SW}} \times (1 - D) \tag{ec 3.5}$$

Donde: V_{D1} es el voltaje directo en el diodo D_1 que se encuentra en el rango de 0.3V a

0.7V y se obtiene de una grafica a partir de la corriente directa,

que es $I_F \cdot (1-D)$ igual a 52.5mA

D es una relación entre V_{OUT} y V_{IN}

f_{SW} es la frecuencia del oscilador interno 1.6MHz.

Tabla 3.9 Valores de para cada inductancia

	If (mA)	Vout (V)	Vd1 (V)	r	fsw (MHz)	D	L (uH)
R	350	4.61	0.4	0.5	1.6	0.85	2.6813
G	350	7.01	0.4	0.5	1.6	0.85	3.9670
B	350	7.31	0.4	0.5	1.6	0.85	4.1277

Si $D = 0.85$, valor típico según hoja de datos del LM3405, entonces V_{IN} para cada regulador de cada led interno es:

Tabla 3.10 Valores de V_{IN}

	D	Vout (V)	Vin(V)
R	0.85	4.61	5.4176
G	0.85	7.01	8.2412
B	0.85	7.31	8.5941

Un condensador de entrada (C_1) es necesario para asegurar que el V_{IN} no varíe excesivamente durante la conmutación del switch NMOS y el condensador de salida (C_2) disminuye el rizado de la corriente Δi_L . Así también tenemos el condensador boost (C_3) se emplea para generar un voltaje que activa el switch NMOS como se mencionó en la página anterior y el condensador Feedback (C_4) conectado en paralelo con el LED RGB evita que se produzca picos de corriente cuando se aplica una señal PWM en el pin EN/DIM y disminuye el tiempo de subida y de bajada de la corriente I_F .

Tomando en cuenta las recomendaciones de la hoja de especificaciones del LM3405, elegimos los siguientes valores:

Tabla 3.11 Valores de los cuatro condensadores

C1	10uF cerámico
C2	1uF cerámico
C3	1uF cerámico
C4	1uF cerámico

El diodo D1 conduce durante el estado off de conmutación. Un diodo schottky por su rápida respuesta de conmutación y bajo voltaje umbral es una buena opción como el SR160. Para el diodo D2 que conduce cuando se está cargando el condensador C3 se va usar el 1N4148.

Como se observa en la figura 3.7 el circuito integrado LM3405 se encarga de alimentar a un LED de los tres que está compuesto el LED RGB, por ello se necesitará 2 mas LM3405. Además se utilizó el LM317 como regulador de voltaje y una fuente DC de 12V. El control de la intensidad luminosa está dado por la señal PWM proporcionado por el microcontrolador.

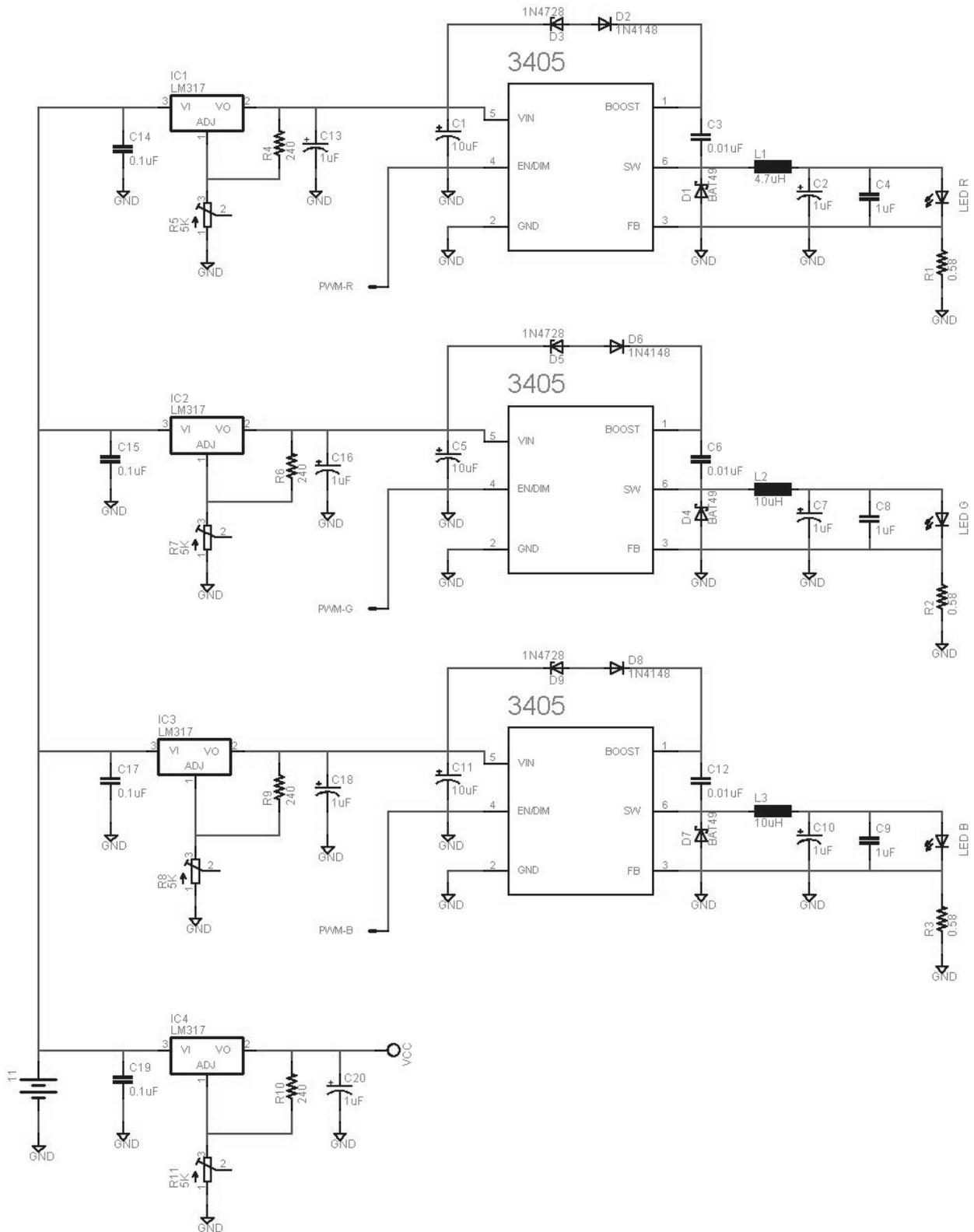


Figura 3.7 Circuito esquemático de los tres reguladores LM3405

3.2.3 Control

El microcontrolador deberá tener los siguientes requerimientos: 8 puertos de entradas para los 8 pulsadores, y 10 puertos de salida, 3 para cada una de las ondas PWM a una frecuencia

entre 500Hz y 5KHz; y 7 para la multiplexación de los display. En la tabla 3.12 se compara a dos microcontroladores, Atmega8 de Atmel y el PIC 16F786

Tabla 3.12 Valores de los parámetros de dos microcontroladores

Microcontroladores	Pines	Puertos I/O	ADC 10-bit	Memoria Flash (Kbytes)	EEPROM (bytes)	RAM (bytes)	PWM
PIC16F786	28	18	8	8	512	128	3
Atmega8	28	23	6	3.5	256	1K	3

Dado que se tiene conocimiento del lenguaje Assembler de microcontroladores Atmel, se trabajará con el microcontrolador Atmega8 pues cumple con los requisitos mencionados (ver anexo 5). El programa se encarga de recibir las ordenes de la interfaz de usuario, de mostrar los niveles de brillo del LED en displays de 7 segmentos y de variar el ancho de pulso de cada puerto: PB1, PB2 y PB3 independientemente y estos van a una determinada línea:

Tabla 3.13 Asignación de un puerto del microcontrolador a una señal PWM

PUERTO	LINEA
PB1	PWM-R
PB2	PWM-G
PB3	PWM-B

Con esto se logra conseguir los colores rojo, verde y azul en diferentes tonalidades. Además en otro modo el usuario varía secuencialmente los tres colores secundarios diferentes de la luz, los cuales son: amarillo, magenta, cian y por último el blanco. Para esto se trabaja con el 0 y 100% de cada una de las tres líneas PWM como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3.14 Obtención de los colores secundarios a partir de la mezcla de los colores primarios a 100%

LÍNEA	AMARILLO	MAGENTA	CIAN	BLANCO
PWM-R	100	100	0	100
PWM-G	100	0	100	100
PWM-B	0	100	100	100

En el siguiente diagrama de flujo se muestra el programa principal que ejecutará el ATMEGA 8

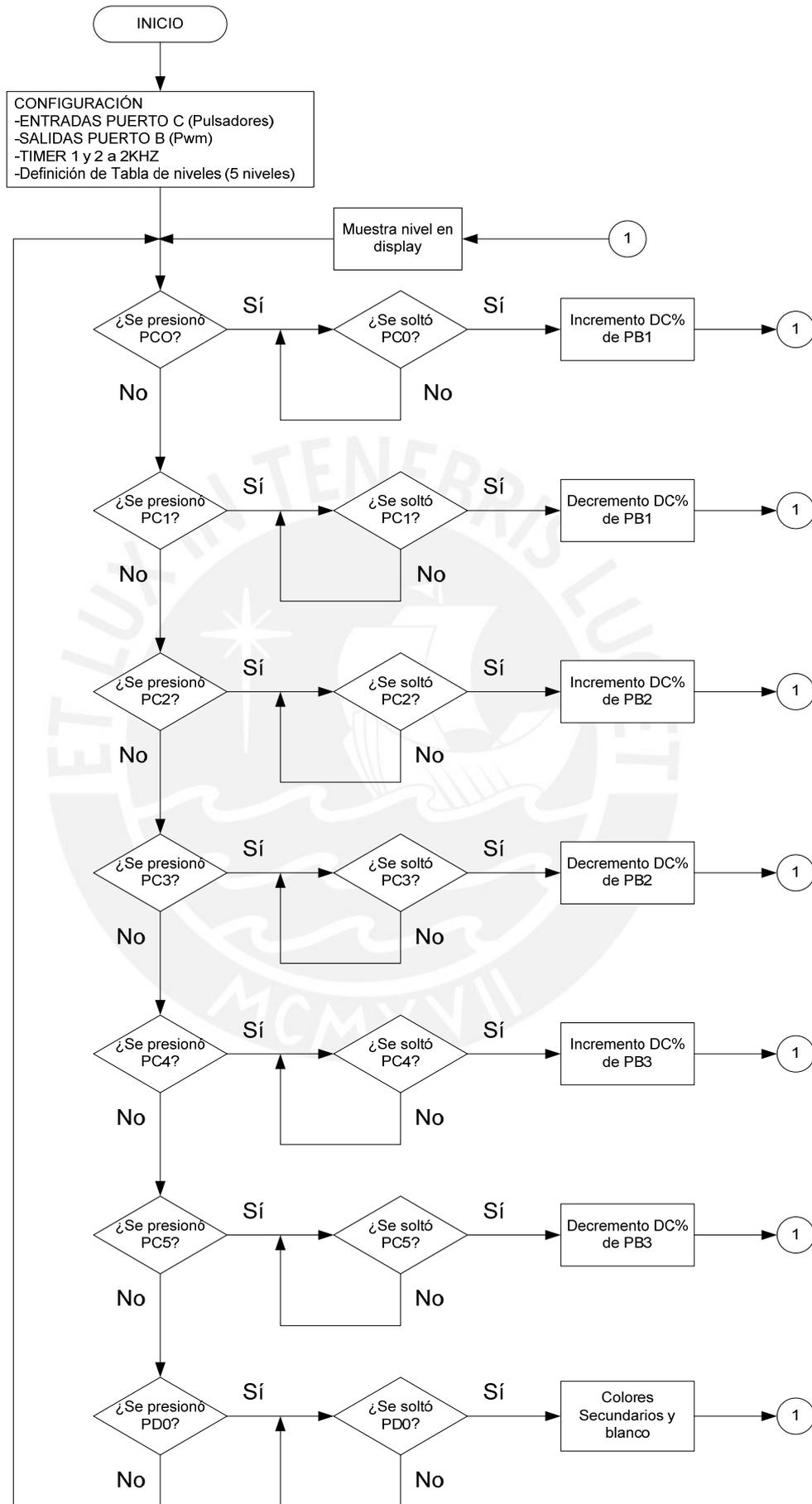


Figura 3.8 Diagrama de flujo del programa principal

La variación de DC está dado en 5 niveles: 0%, 25%, 50%, 75% y 100% que se mostrará en los 3 displays para cada LED como: '-', '1', '2', '3' y '4' respectivamente. En la figura 3.9 se muestra los colores secundarios partiendo de los colores primarios:

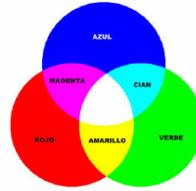


Figura 3.9 Colores primarios y secundarios

Para mostrar los niveles de brillo de cada LED se utilizará 3 displays de siete segmentos. Este tipo de visualizador está formado por siete LEDs que permite visualizar dígitos del 0 al 9 y puede adoptar la configuración en ánodo común o cátodo común ver figura 3.10

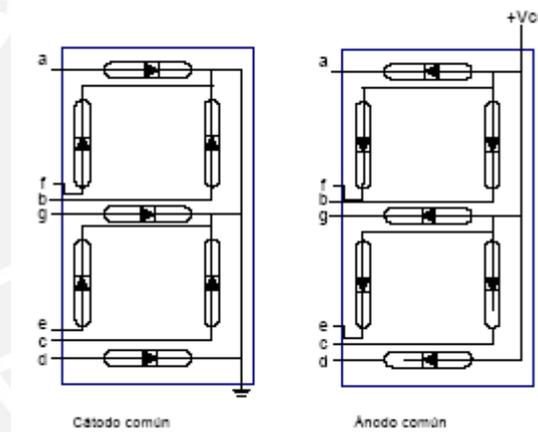


Figura 3.10 Circuito esquemático de ánodo común y cátodo común

Además del Atmega8, se usará el 74LS164, ver anexo 6, y el ULN2804, ver anexo 7. El primero es un registro de desplazamiento que permite desplazar un '0' a una frecuencia determinado por su reloj externo. El segundo es un arreglo de transistores Darlington. A continuación se muestra el siguiente diagrama esquemático, figura 3.11, para el microcontrolador. Cabe resaltar por el puerto C se recibe las señales del interfaz de usuario para que, por cada flanco de subida, se pueda variar el ciclo de trabajo o DC de las ondas PWM del puerto B. Por el puerto PC6 permite reiniciar el programa guardado en el microcontrolador.

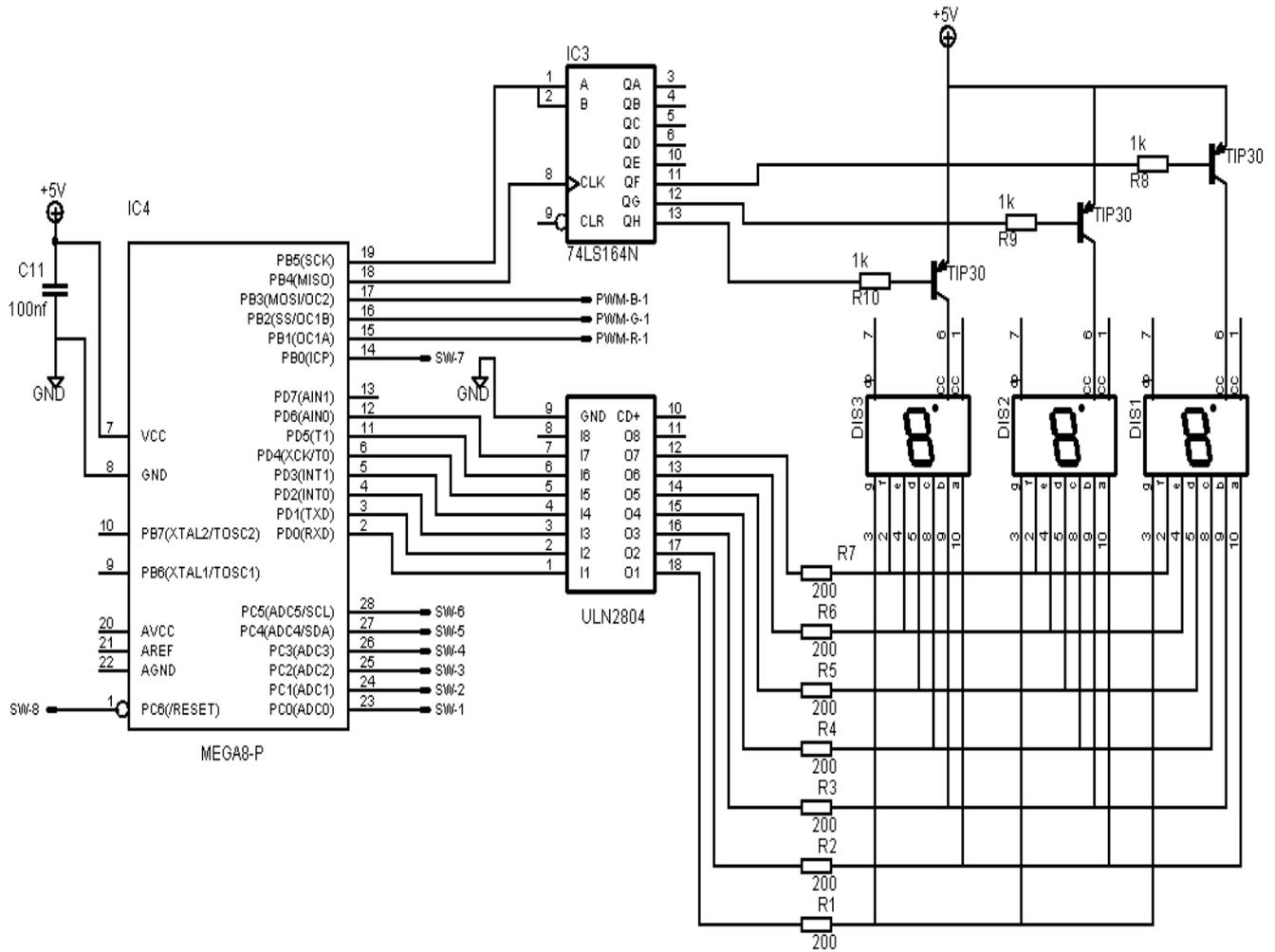


Figura 3.11 Circuito esquemático del Atmega8 con tres displays de 7 segmentos, líneas PWM y pulsadores

El primer display solo se prende durante 1.02ms luego se apaga y después se prende el segundo display durante el mismo tiempo que estuvo prendido el primero. El tercer display se prende después de apagarse el segundo. El encendido de los display se da al saturar el amplificador de corriente, TIP32 ver anexo 8, enviando un '0' a la base del amplificador. Esta conmutación la realiza el 74LS164 a partir de las señales de control que recibe del microcontrolador. Una vez que se mandó las señales de control, después de 5us el microcontrolador envía una secuencia de bits al ULN2804, que se encuentra conectado por el puerto D, y este permite prender los LEDs internos del display para así poder visualizar un dígito. Es decir si el ULN2804 recibe un '1' de un pin del puerto D del microcontrolador, se prende un determinado segmento del display. Con la resistencia de 200Ω se controla la corriente que pasa por uno de los LEDs del display que sigue a la malla formado por el voltaje emisor-colector (V_{EC}) del TIP 32 con un valor típico de 0.2V de acuerdo a la hoja de datos, la caída de tensión en un LED, se asume 0.6V, y también en la resistencia de 200 y el voltaje de salida del ULN2804 con un valor típico de 0.9V de acuerdo a la hoja de datos (ver anexo 7).

$$0.2 + 0.6 + i.200 + 0.9 = 5$$

(ec 3.6)

Resolviendo la ecuación anterior da como resultado una corriente i de 16.5mA.

3.2.4 Interfaz de Usuario

Con el uso de los pulsadores se podrá cambiar el DC en 5 niveles, ya sea aumentando o disminuyendo para cada uno de los tres LED internos del LED RGB. Además es necesario agregar un circuito antirebote cuya finalidad es impedir que se produzca oscilaciones indeseadas en la señal cuando se presiona el pulsador. Para ello se usará el Schmit Trigger. En la siguiente tabla se relaciona cada pulsador con su respectivo color.

Tabla 3.15 Pulsadores para obtener los colores primarios y secundarios

Colores Primarios	Rojo	SW1 y SW2
	Verde	SW3 y SW4
	Azul	SW5 y SW6
Colores Secundarios y Blanco	Amarillo, Cian, Magenta y Blanco	SW7
Reset	Ningún color	SW8

A continuación se muestra el diagrama esquemático de la interfaz de usuario, ver figura 3.12. Cuando no se presiona un pulsador, la corriente se carga a través de la resistencia de $4.7K\Omega$ y el condensador de 10μ , le llega al Inversor Schmit Trigger 40106BP, ver anexo 9, 5V para una salida de 0V. En el otro caso de presionar el pulsador, la corriente almacenada en el condensador de $10\mu F$ se descarga a través de la resistencia de 100Ω y tierra para que le llegue 0V al 40106BP con una salida de 5V.

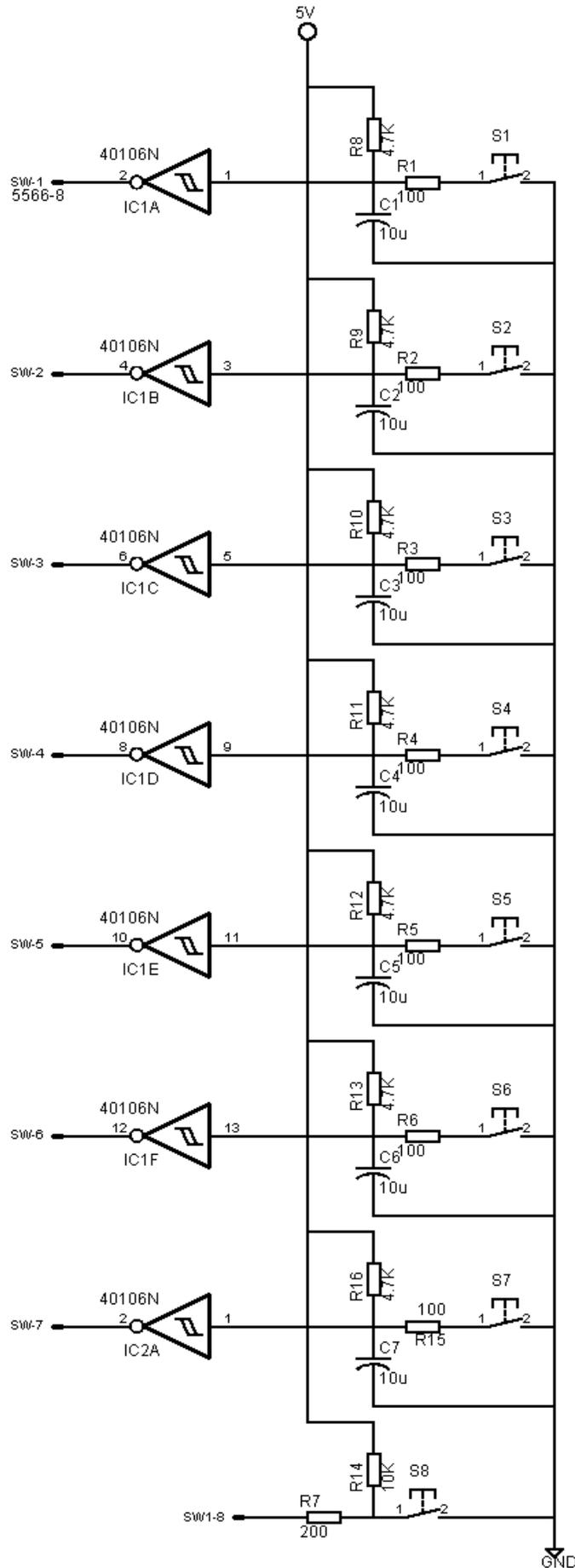


Figura 3.12 Circuito esquemático para cada uno de los pulsadores

3.2.5 Fuente de Alimentación

Basado en un menor costo y su disposición en el mercado nacional, se decidió usar el LM317 en su topología de fuente de voltaje constante el cual esta fijado por el potenciómetro R_2 en serie con la resistencia R_1 se muestra a continuación:

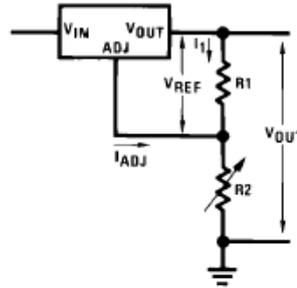


Figura 3.13 Circuito esquemático del LM317

El voltaje de salida esta fijado por la caída de tensión en la resistencia R_1 y R_2 , de acuerdo a la siguiente ecuación: (ver anexo 10)

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ} \times R_2 \quad (\text{ec 3.7})$$

donde el V_{REF} es 1.25V y I_{ADJ} es 50uA, la corriente I_1 es 5.2mA para un resistencia de 240Ω y con potenciómetro de $5K\Omega$ podemos obtener una tensión de salida que varía desde 1.2 hasta 25V. Para un voltaje de entrada (V_{IN}) del regulador debe ser mayor en por lo menos 2V al voltaje de salida (V_{OUT}), esta diferencia de tensión para un consumo de corriente de 350mA es 2V según la hoja técnica de especificaciones del LM317.

En la tabla 3.16 se muestra los V_{OUT} (voltajes de entrada para cada uno de los tres reguladores de corriente) y V_{IN} (voltaje de entrada para cada uno de los tres reguladores de voltaje)

Tabla 3.16 Valores de V_{IN}

	Vout(V)	Vin(V)
R	5.41	7.41
G	8.24	10.24
B	8.59	10.59

En la tabla 3.17 se muestra los V_{OUT} (voltaje de entrada para el control e interfaz de usuario) y V_{IN} (voltaje de entrada para el regulador de voltaje).

Tabla 3.17 Valores de V_{IN}

	Vout(V)	Vin(V)
Control	5	7
Interfaz de Usuario	5	7

De las tablas 3.16 y 3.17 se deduce que se requiere un voltaje de salida de 12V (valor comercial) para la fuente de alimentación.

Para el diseño de la fuente de alimentación del sistema de iluminación se siguió la guía de diseño elaborado por Motorota, ver anexo 11, para el circuito de rectificación puente de onda completa usado dar alta corriente y alto voltaje de salida.

Parámetros:

$$V_C = 12V$$

$$f = 60Hz$$

$$V_{RIZADO (PP)} = 3V$$

$$V_{MAX} = 15 V$$

$$I_O = 3 I_{LED} + I_{ADJ} + I_{MICRO} + I_{DISPLAY}$$

$$I_{LED} = 350mA$$

$$I_{ADJ} = 50uA$$

$$I_{MICRO} = 24 I_{PUERTO} \text{ (40mA por cada puerto de entrada y salida)}$$

$$I_{DISPLAY} = 140mA$$

Entonces $I_O = 2.15A$

Asumiendo un factor de seguridad de 30 % más, $I_O = 3A$

$$1.- \quad R_f = \frac{V_{RIZADO(PP)}}{2\sqrt{2}V_C} \times 100\% = 9.64\%$$

2.- De la figura 8.5:

$$5 < WCR_L < 8 \quad \rightarrow \quad WCR_L = 7$$

$$3.- \quad \frac{V_C}{V_{MAX}} = \frac{12}{15} \times 100 = 73.33\%$$

De la figura 8.3: usando $WCR_L = 7$ y $\frac{V_C}{V_{MAX}} = 73.33\%$

$$\frac{R_s}{R_l} = 10\% \rightarrow R_s = 0.2 \left(\frac{11}{3} \right) = 0.73 \Omega \text{ de } 25 \text{ W}$$

4.-
$$C = \frac{WCR_L}{2\pi \cdot f \left(\frac{V_C}{I_o} \right)} = \frac{7}{2\pi \cdot 60 \left(\frac{12}{3} \right)} = 5064 \mu\text{F de } 18 \text{ V}$$

5.- Rango de Rectificación

$$I_{F(\text{promedio})} = \frac{I_o}{2} = 1.5 \text{ A (por cada diodo)}$$

De la figura 8.4: $I_{F(\text{rms})} = 2.5 I_{F(\text{promedio})} = 3.75 \text{ A}$

De la figura 8.4: $I_{F(\text{pico})} = 6.2 I_{F(\text{promedio})} = 9.3 \text{ A}$

6.- Transformador

$$V_{\text{SECUNDARIO}} = \frac{V_{MAX} + 2(1)}{\sqrt{2}} = \frac{15 + 2}{\sqrt{2}} = 12.1 \text{ Vrms}$$

$$I_{\text{SECUNDARIO}} = \sqrt{2} I_{F(\text{rms})} = 5.3 \text{ A}$$

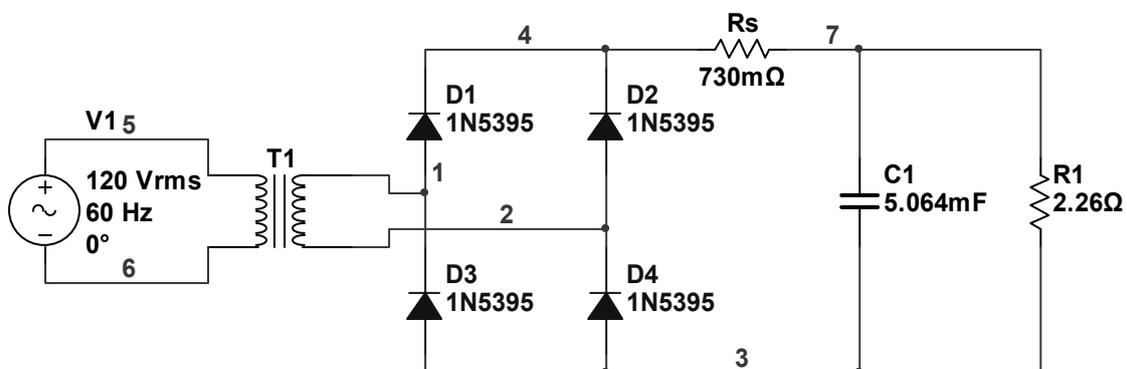


Figura 3.14 Circuito esquemático de fuente de alimentación

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Descripción

En el presente capítulo se mostrará las gráficas, obtenidas usando el osciloscopio tektronics, que contienen las señales de control (Canal1) y salida de la interfaz de potencia (Canal 2), de acuerdo al diagrama esquemático dado en el capítulo 3 (ver figura 3.8). Por ello se realizaron 3 pruebas, una para cada LED rojo, verde y azul. Para la entrada se observa las señales de los puertos de salidas del microcontrolador que son las tres líneas de PWM que recibe la interfaz de potencia. Mientras que en la salida se muestran los voltajes en cada uno de los tres LEDs internos que conforma al LED RGB.

4.2 Interfaz de Potencia

En los resultados obtenidos que se muestran a continuación tenemos las gráficas de los voltajes para el LED rojo, verde y azul, y también se muestra una con el retardo producido en la salida del interfaz de potencia dado el flanco de subida de la onda PWM. Además cabe resaltar, la corriente consumida por el LED es de 170mA muy por debajo del asumido en el capítulo 3, unos 350mA, debido al uso del diodo Schottky 1N4148 que conmuta a una frecuencia de 250MHz, menor de la cuarta parte de la frecuencia de conmutación a 1,6GHz del regulador de corriente LM3405.

I. Generación de Colores Primarios

1) LED Rojo

- a. Retardo: 86us a DC 50%

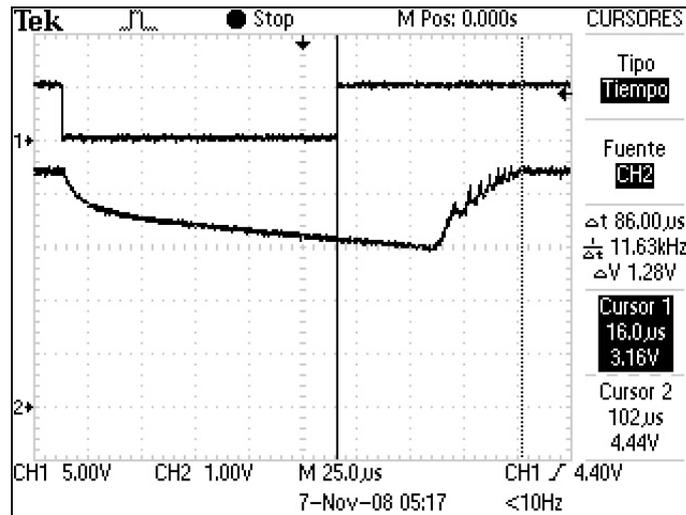


Figura 4.1

Canal 1: PWM-R

Canal 2: V_{LED}

El tiempo de retardo producido en el voltaje de salida, canal 2, consiste en dos partes: el primero es el tiempo que continua descargándose el voltaje en el LED aun cuando se ha dado el flanco de subida en la señal PWM, canal 1, y el segundo es el tiempo que empezará a cargarse el voltaje en el LED hasta se estabiliza.

b. DC 0%

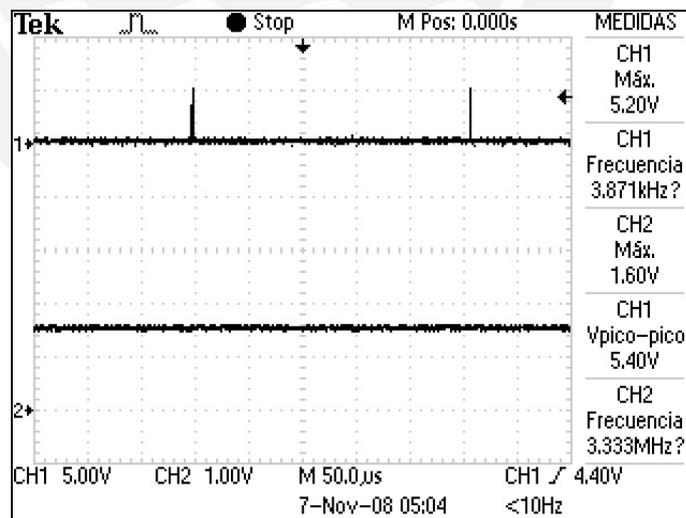


Figura 4.2

Canal 1: PWM-R

Canal 2: V_{LED}

Para una señal de amplitud casi cero, durante gran parte del periodo, en el canal 1, el voltaje de salida en el LED es 1.6V que es insuficiente para lograr prender a un mínimo intensidad de brillo en el LED RGB.

c. DC 25%

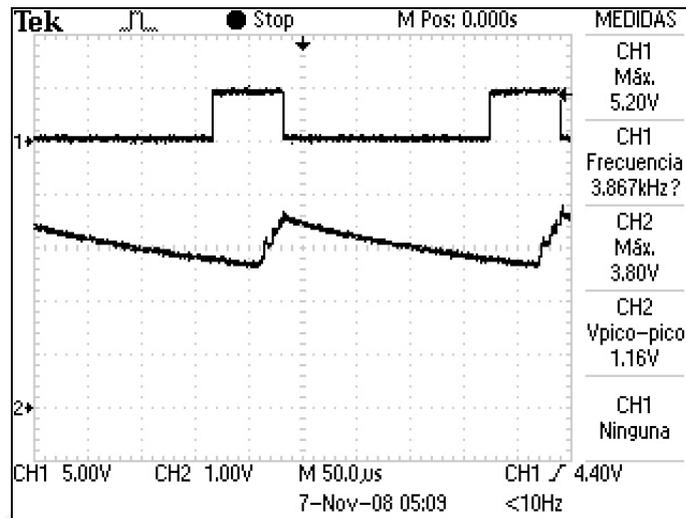


Figura 4.3

Canal 1: PWM-R

Canal 2: V_{LED}

Se observa en el canal 2, el voltaje máximo se mantiene durante un corto tiempo aproximadamente 10µs que impide que se produzca un brillo apreciable en el LED. Por ello un DC a 25 % es el inicio de encendido en el LED.

d. DC 50%

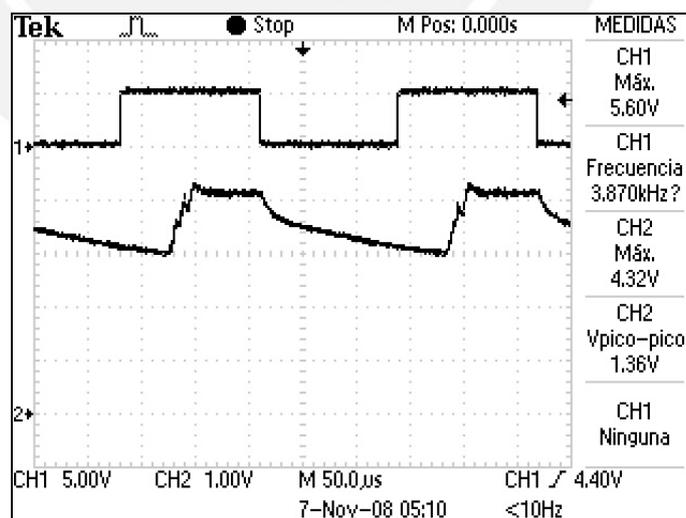


Figura 4.4

Canal 1: PWM-R

Canal 2: V_{LED}

El tiempo que permanece el voltaje máximo del LED es casi la mitad del tiempo en alta de la onda PWM. Esto se debe a que se produce un retardo de 88µs del voltaje del LED

con respecto a la onda PWM. El voltaje en el LED para que permanezca encendido es 4.32V

e. DC 75%

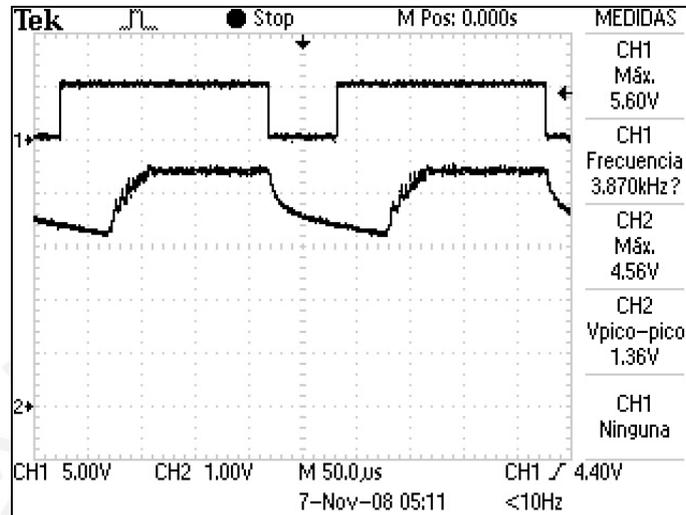


Figura 4.5

Canal 1: PWM-R

Canal 2: V_{LED}

Se observa que el voltaje máximo en el LED es 4,56V mayor que en el caso de 50% de DC pero se mantiene el rizado igual que el caso anterior.

f. DC 100%

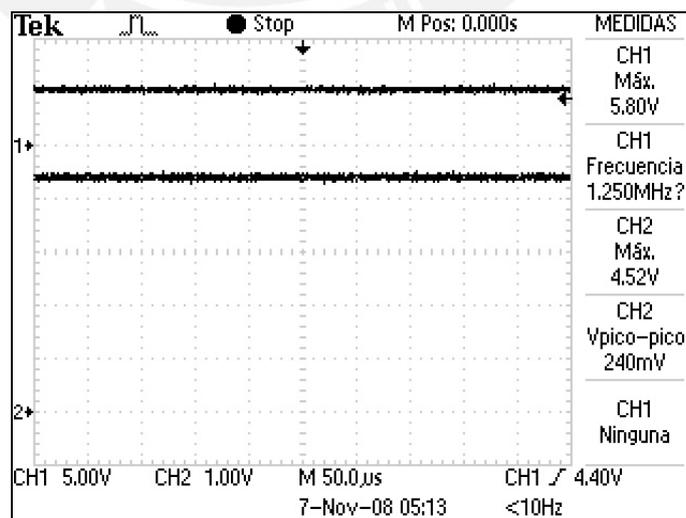


Figura 4.6

Canal 1: PWM-R

Canal 2: V_{LED}

Cuando se tiene una señal continua de 5.8V en el canal 1, el voltaje del LED también permanece constante 4.52V para un consumo de corriente de 170mA. Este voltaje máximo es menor que el voltaje en el LED para un 75% de DC debido que en 100% de DC, el voltaje es el promedio.

2) LED Verde

a. Retardo: 93us a DC 50%

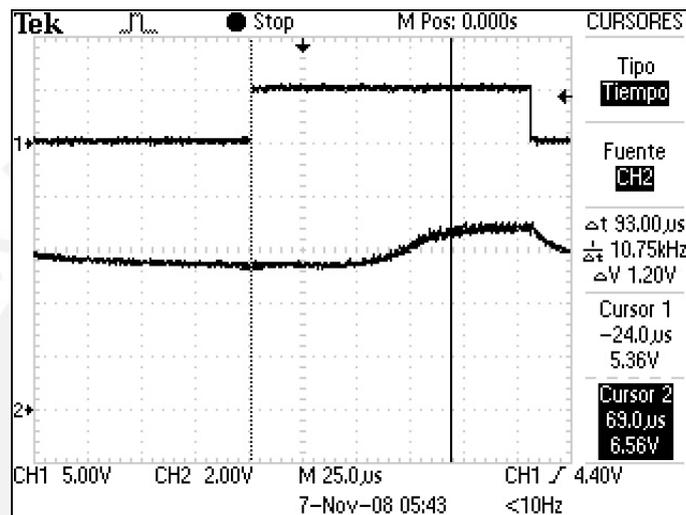


Figura 4.7

Canal 1: PWM-G

Canal 2: V_{LED}

El tiempo de retardo producido en el voltaje de salida es 93us, canal 2, consiste en dos partes: el primero es el tiempo que continua descargándose el voltaje en el LED aun cuando se ha dado el flanco de subida en la señal PWM, canal 1, y el segundo es el tiempo que empezará a cargarse el voltaje en el LED hasta que se estabiliza.

b. DC 0%

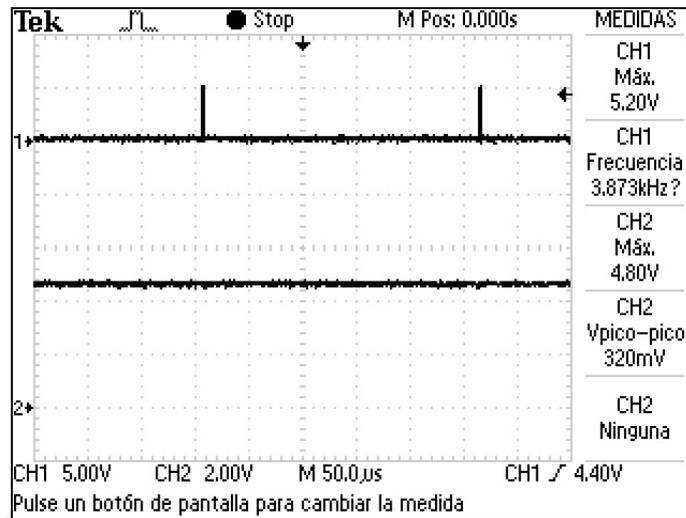


Figura 4.8

Canal 1: PWM-G

Canal 2: V_{LED}

Incluso cuando el voltaje de la onda PWM es casi cero, sigue habiendo una caída de tensión en el LED de 4.8V pero que es insuficiente para lograr encenderlo.

c. DC 25%

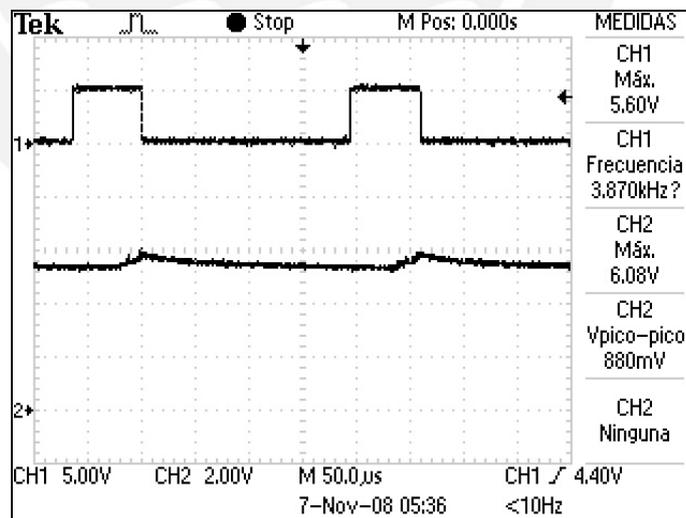


Figura 4.9

Canal 1: PWM-G

Canal 2: V_{LED}

Durante un breve tiempo el voltaje del LED es 6.08V, en el canal 2, ocasionando que el LED logre encenderse a un brillo insignificante.

d. DC 50%

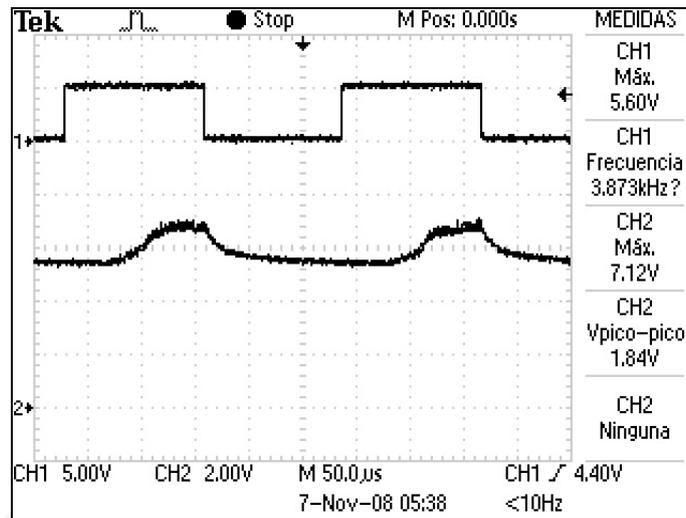


Figura 4.10

Canal 1: PWM-G

Canal 2: V_{LED}

El voltaje máximo en el LED es 7.12V, mayor en el caso anterior y con rizado de 1.84V. La duración de encendido en el LED es menor de la mitad del tiempo de encendido total.

e. DC 75%

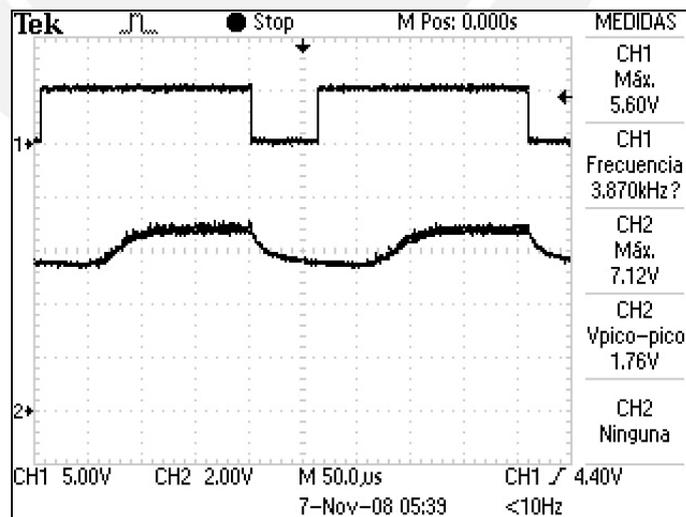


Figura 4.11

Canal 1: PWM-G

Canal 2: V_{LED}

El tiempo que permanece el voltaje máximo del LED es casi la mitad del tiempo, 100µs, en alta de la onda PWM. Esto se debe a que se produce un retardo de 93µs del voltaje

del led con respecto a la onda PWM. El voltaje máximo es 7.12V y se mantiene igual que en el caso anterior pero el rizado disminuye a 1.76V.

f. DC 100%

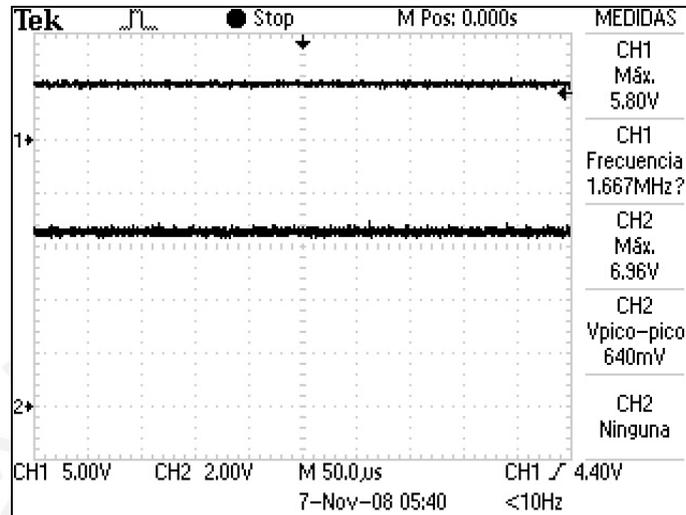


Figura 4.12

Canal 1: PWM-G

Canal 2: V_{LED}

Cuando se tiene una señal continua de 5.8V en el canal 1, el voltaje del LED también permanece constante a 6.96V para un consumo de corriente de 170mA. El voltaje máximo en el LED es 6.96V menor que en el caso de 75% ya este es su voltaje promedio.

3) LED Azul

a. Retardo: 88us a DC 50%

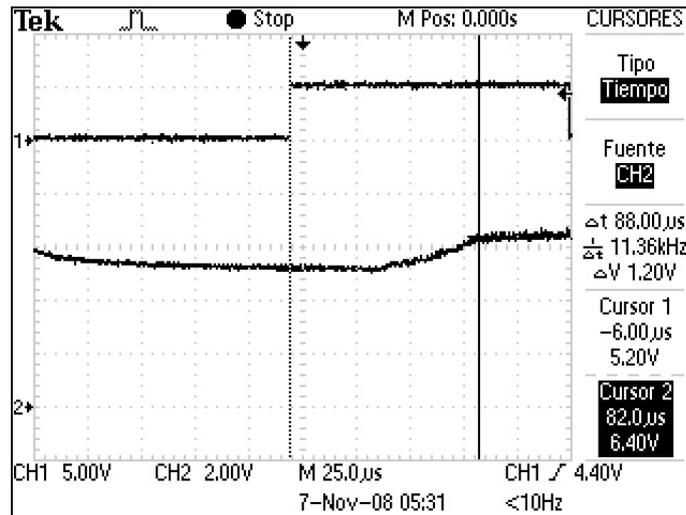


Figura 4.13

Canal 1: PWM-R

Canal 2: V_{LED}

El tiempo de retardo producido en el voltaje de salida, canal 2, consiste en dos partes: el primero es el tiempo que continua descargándose el voltaje en el LED aun cuando se ha dado el flanco de subida en la señal PWM, canal 1, y el segundo es el tiempo que empezará a cargarse el voltaje en el LED hasta se estabiliza.

b. DC 0%

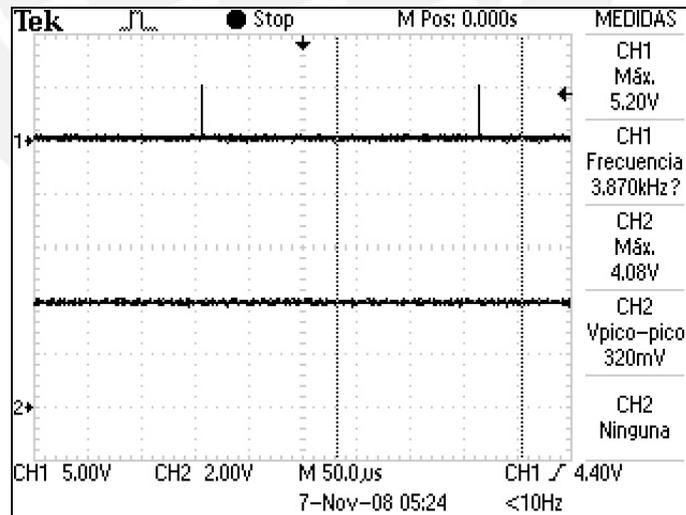


Figura 4.14

Canal 1: PWM-B

Canal 2: V_{LED}

Para una señal de amplitud casi cero, durante gran parte del periodo, en el canal 1, el voltaje de salida en el LED es 4.08V que es insuficiente para lograr prender a un mínimo intensidad de brillo en el LED RGB.

c. DC 25%

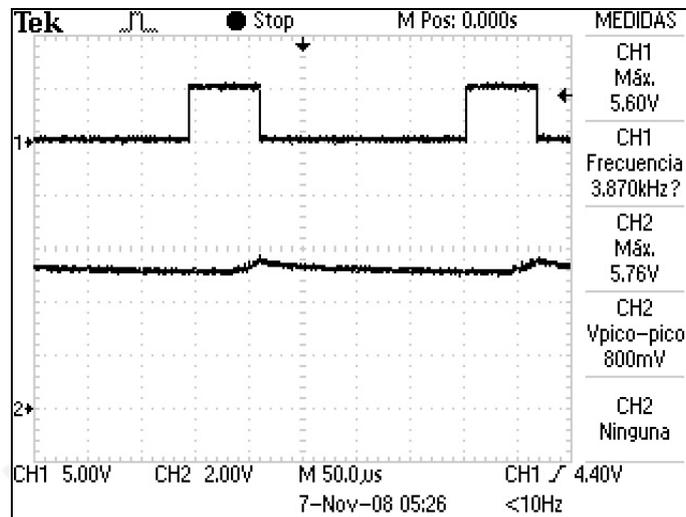


Figura 4.15

Canal 1: PWM-B

Canal 2: V_{LED}

Se observa en el canal 2, el voltaje máximo 5.76V se mantiene durante un corto tiempo aproximadamente 1µs que impide que se produzca un brillo apreciable en el LED. Por ello para un DC a 25 % es el inicio de encendido en el LED.

d. DC 50%

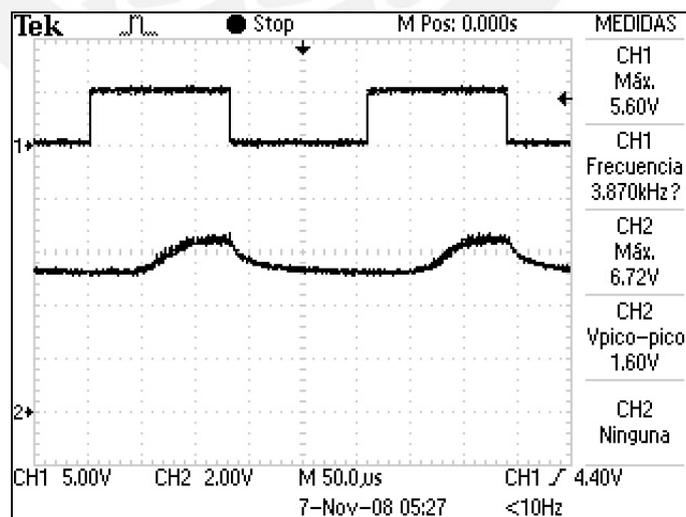


Figura 4.16

Canal 1: PWM-B

Canal 2: V_{LED}

El tiempo que permanece el voltaje máximo del LED es casi la tercera parte del tiempo, 40 μ s, en alta de la onda PWM. Esto se debe a que se produce un retardo de 88 μ s del voltaje del LED con respecto a la onda PWM.

e. DC 75%

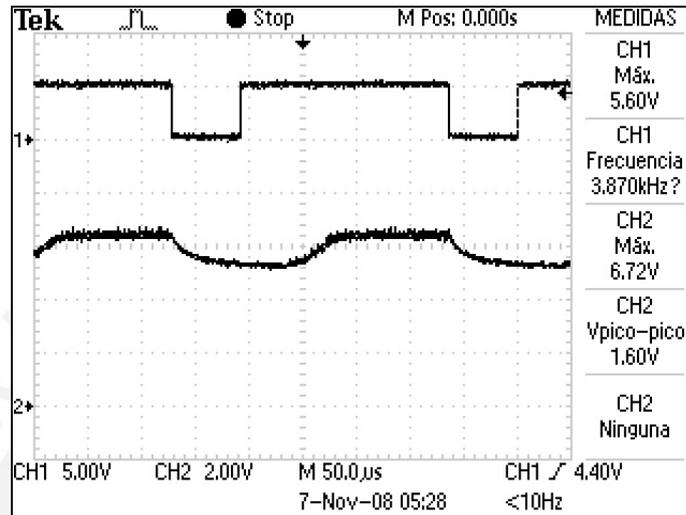


Figura 4.17

Canal 1: PWM-B

Canal 2: V_{LED}

El voltaje de salida de 6.72V solo permanece continuo durante más de la mitad del periodo, 100 μ s, de la onda PWM. El voltaje máximo es 6.72V con un rizado de 1.60V

f. DC 100%

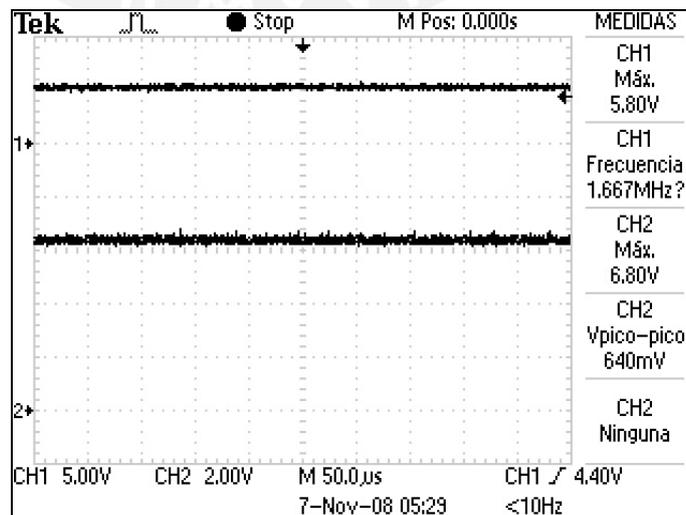


Figura 4.18

Canal 1: PWM-B

Canal 2: V_{LED}

Cuando se tiene una señal continua de 5.8V en el canal 1, el voltaje del LED también permanece constante 6.8V para un consumo de corriente de 170mA. El voltaje máximo es menor que en el caso de 75% ya que en 100% de DC el voltaje es el promedio.

II. Generación de Colores Secundarios

La obtención de los colores secundarios es el encendido de dos LEDs, ver tabla 4.1, al 100% de Duty Cycle y sus resultados se mostraron anteriormente en los colores primarios. Es decir para el color magenta su gráfica consiste en el LED rojo y azul; para el color amarillo es el LED rojo y verde; el color cian el LED verde y azul.

Tabla 4.1 Obtención de los colores secundarios a partir de la mezcla de los primarios

Led Rojo y Led Azul	Color Magenta
Led Rojo y Led Verde	Color Amarillo
Led Verde y Led Azul	Color Cian

III. Generación de Color Blanco

Se obtiene de la mezcla de los tres colores primarios al encender, para un DC al 100%, el LED rojo, verde y azul. Su gráfica consiste en la del LED rojo, verde y azul simultáneamente.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los resultados como el voltaje de cada uno de los LEDs además el tiempo de retardo entre la señal de control y la señal de salida.

Tabla 4.2 Voltaje en cada LED variando el DC

	0%	25%	50%	75%	100%	T retardo
Led Rojo	1.60	3.80	4.32	4.56	4.52	86u
Led Verde	4.80	6.08	7.12	7.12	6.96	93u
Led Azul	4.08	5.76	6.72	6.72	6.80	88u

4.3 Análisis de Costo

En la siguiente tabla se muestra los precios de los componentes usados en la implementación del sistema de iluminación:

Tabla 4.3 Lista de los precios de cada componente usado en la implementación del sistema de iluminación

Dispositivo	Modelo	Cantidad	Precio USD
Led RGB	Atlas NT-43F0-0424	1	24.00
Lente Convergente	OP-4FM1-0442	1	5.62
Heat sink	HS-4100-0345	1	19.42
LM3405	Regulador de corriente	3	7.89
Inductor	4,7uF	3	8.19
Condensador	Electrolítico	12	12.00
1N4148	Schottky	6	2.40
1N5741	Zener	3	1.05
1N5395	Potencia	4	0.50
Microcontrolador	Atmega8	1	3.72
Display 7 segmentos	Anodo Común	3	0.90
40106BP	Schmit Trigger	2	0.33
74LS164	Registro de Desplazamiento	1	0.40
ULN2804	Darlington	1	0.50
Pulsadores		8	1.32
Transformador	Monofásico	1	25.00
		TOTAL	113.00

Los precios se obtuvieron de la página de Internet del distribuidor de componentes electrónicos en Estados Unidos, Digikey, www.digkey.com.

Con respecto al costo de implementación, la fabricación de la tarjeta impresa depende del material, tamaño, número de capas y caras a usar. En este caso la tarjeta se hizo con fibra de vidrio, doble cara y una superficie aproximada de 34x10 cm², por ello se estimó un costo total de 70 soles en el mercado local. También se consideró el tiempo invertido de 2 meses en la realización del proyecto, con un costo de 1000 soles por cada mes.

CONCLUSIONES

1. Usando un dispositivo externo, el lente convergente, permitió dirigir el flujo luminoso del LED RGB con un ángulo de 34° y se logró mezclar los colores primarios para conseguir los tres colores secundarios y el color blanco.
2. Al usar el disipador de calor, el LED RGB llegó a una temperatura máxima de 40°C para un ciclo de trabajo o DC de 100% usando un medidor de temperatura láser.
3. A partir del rediseño e implementación de la interfaz de potencia utilizando el circuito integrado LM3405 como regulador de corriente se logró iluminar con el LED RGB un display de $25\text{cm} \times 25\text{cm}$ para I_F de 170 mA con 30lm de flujo luminoso del LED rojo, 60lm del LED verde y 10lm del LED azul.
4. De la corriente deseado de 350 mA solo se pudo obtener 170mA debido a que se utilizó el diodo Schottky 1N4148 que tiene una frecuencia de conmutación de 250 MHz, inferior a la del diodo SS13, recomendado en el diseño del circuito para el LM3405, que es 1,6GHz, frecuencia a la que trabaja el conmutador interno del regulador.
5. Variando el ancho de pulso de la señal PWM en 0%, 25%, 50%,75% y 100% se logró cambiar la intensidad de brillo del LED RGB en distintas tonalidades de los colores primarios rojo, verde y azul.
6. Para un DC o ciclo de trabajo mayor a 25% recién el LED RGB empezó a encenderse para los colores rojo, verde y azul.
7. Usando tres display de siete segmentos, uno para cada color, se mostró los 4 niveles de intensidad del brillo del LED RGB que representan el 25%, 50%, 75% y 100%.

RECOMENDACIONES

1. La presente tesis es el punto de partida en el desarrollo de un proyecto de sistema de iluminación usando la tendencia actual en luminarias LEDs RGB.
2. Para la interfaz de usuario, en vez de utilizar pulsadores se podría mejorar utilizando un teclado matricial que permita ingresar cierto dígito relacionado con el nivel de intensidad de brillo que se requiere.
3. En la parte de control, se podría hacer un juego de luces cambiando la programación efectuada en el microcontrolador.
4. Dado que en la implementación de la tesis se utilizó el diodo schottky 1N4148 que tiene una frecuencia de conmutación de 250MHz comparado con el diodo SSD13, recomendado por el fabricante, de alta respuesta capaz de trabajar a una frecuencia de 1,6GHz que es con la que trabaja el conmutador de potencia interno del regulador de corriente LM3405, se alcanzó la mitad de la corriente estimada, es decir solo 170mA.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] SOLANO, Juan.
2002 Diseño de espacios comerciales nuevos en Lima: Esparcimiento, oficinas, tiendas. Lima.
- [2] TURNER, Janet.
2000 Diseño con Luz en Espacios Públicos. Soluciones de iluminación para exhibiciones, museos y lugares históricos. México D.F: McGraw-Hill/Interamericana Editores.
- [3] RUIZ, Antonio y ROJAS, Sebastián
1998 Instalaciones de Iluminación. Madrid, Sección de Publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid.
- [4] TURNER, Janet.
2000 Diseño con Luz en Centros Comerciales. Soluciones de iluminación para tiendas, centros comerciales y mercados. México D.F: McGraw-Hill/Interamericana Editores
- [5] RAMÍREZ-GASTÓN ZEVALLOS, Alfredo.
1994 Manual de Iluminación JOSFEL. Lima.
- [6] OSRAM
2004 La nueva dimensión en iluminación. Dimensiones mínimas, máximas opciones: Módulos LED para iluminación general [en línea] [consultado 23/05/2008]
<<http://www.osram.es/108FOLLETO.pdf>>
- [7] MARTIN, Gustavo
2006 Led - Información Sobre Leds, historia y tecnologías [en línea] [consultado 20/06/2008]
<<http://www.dbup.com.ar/info.html>>
- [8] SCHMID, Luis
2007 El futuro de la tecnología en iluminar va mucho más allá de simplemente dar luz. [en línea] [consultado 20/06/2008]
<<http://www.emb.cl/electroindustria/articulm?id=757&edi=>>
- [9] BARTENBACH, Wilfried.
2007 LED Luminaries for general Illumination. LED Profesional Review [en línea] Setiembre [consultado 25/05/2008]
<http://www.LEDprofessional.com/downloads/LpR_03_Sep_2007_freeversion_11487.pdf>
- [10] GREENLAND, Paul y BERNS, Werner.
2004 Powering Next-Generation Solid-State Lighting. [en línea]. Mayo [consultad 2/04/2008]
<<http://powerelectronics.com/mag/405PET24.pdf>>
- [11] General Electric Company
Lighting Application Bulletin [en línea] [consultado 29/10/2008]
<http://www.gelighting.com.pe/App_Lib/lernabout/spec_light_color_final.pdf>

- [12] GARCIA, Javier y BOIX, Oriol.
2004 Luminotecnia. Iluminación de interiores y exteriores
[en línea] [consultado 7/09/2008]
< <http://edison.upc.es/curs/llum/indice0.html> >
- [13] ARAY, Rosa Nila
1994 Display: diseño de espacios y formas para la exhibición de productos.
Tesis (Lic.) – Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Arte. Lima. 618p.

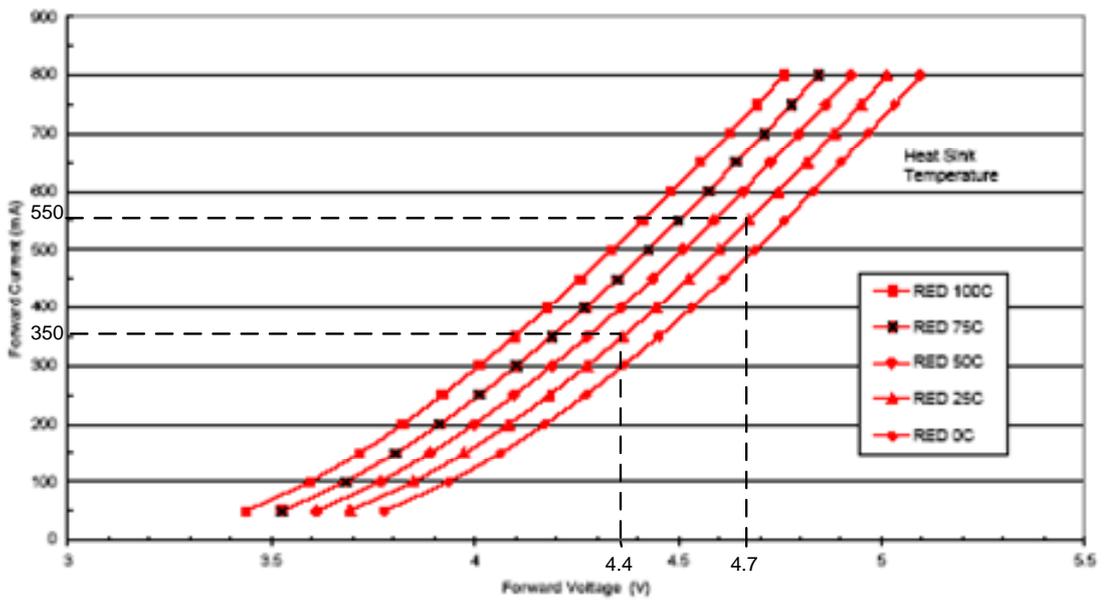


ANEXO

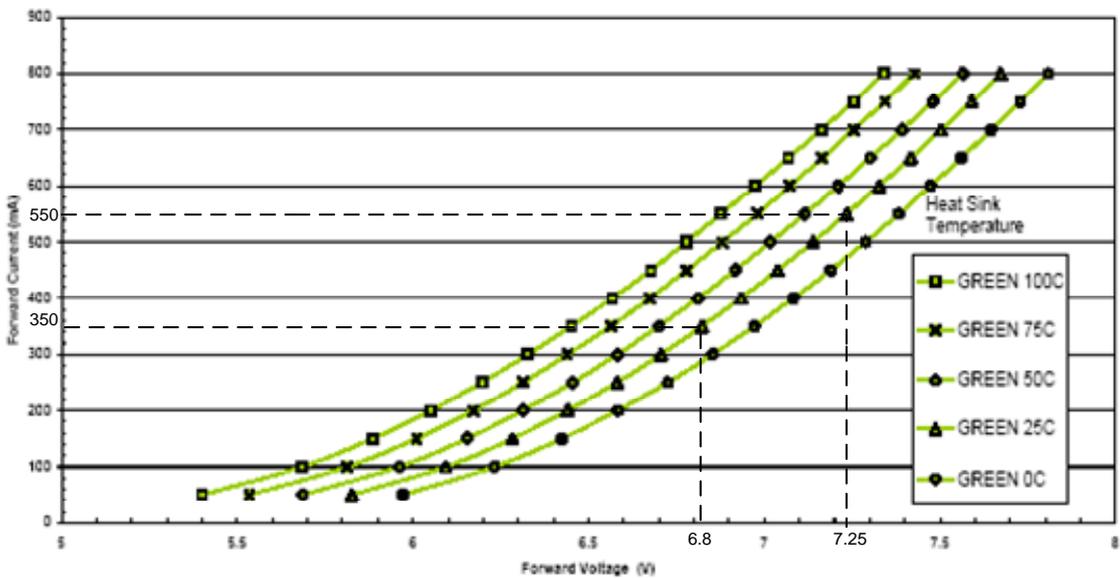
ANEXO 1

LED NT-43F0-0424 RGB ATLAS

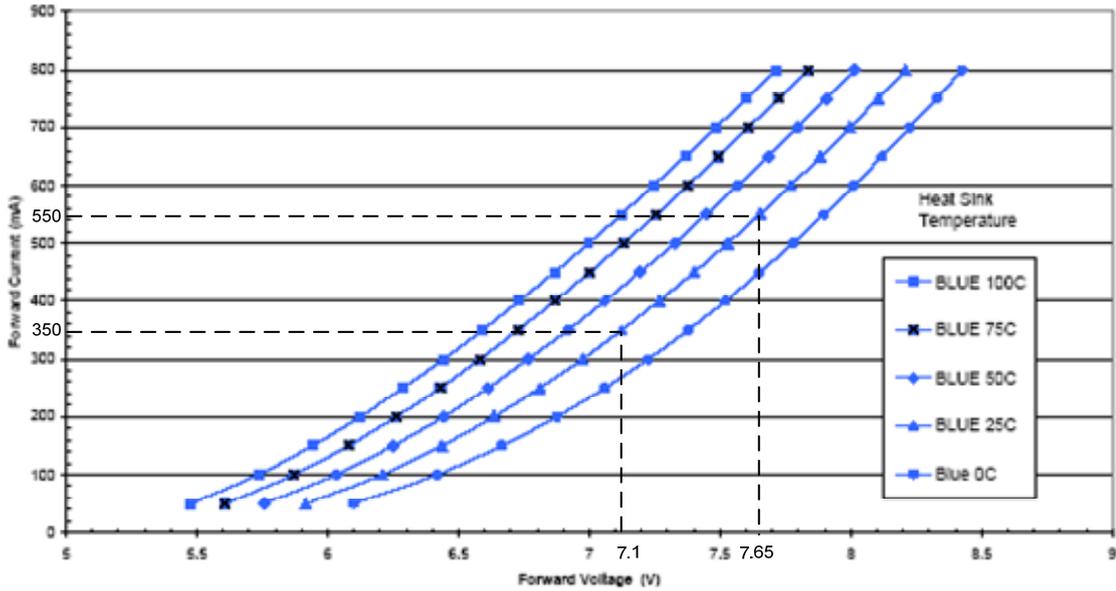
Las figuras y tablas presentadas a continuación son extraídas de la hoja de datos de los LEDs de la serie ATLAS de Lámina Light.



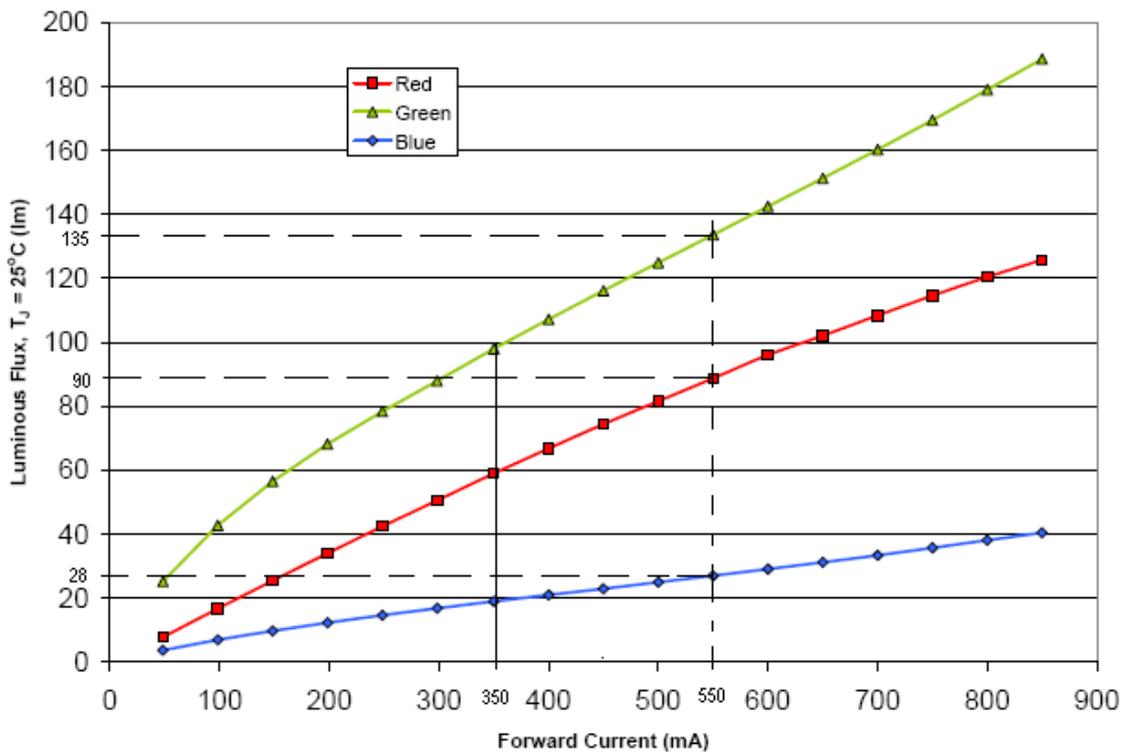
Corriente Id Vs. Vf - Led rojo Atlas



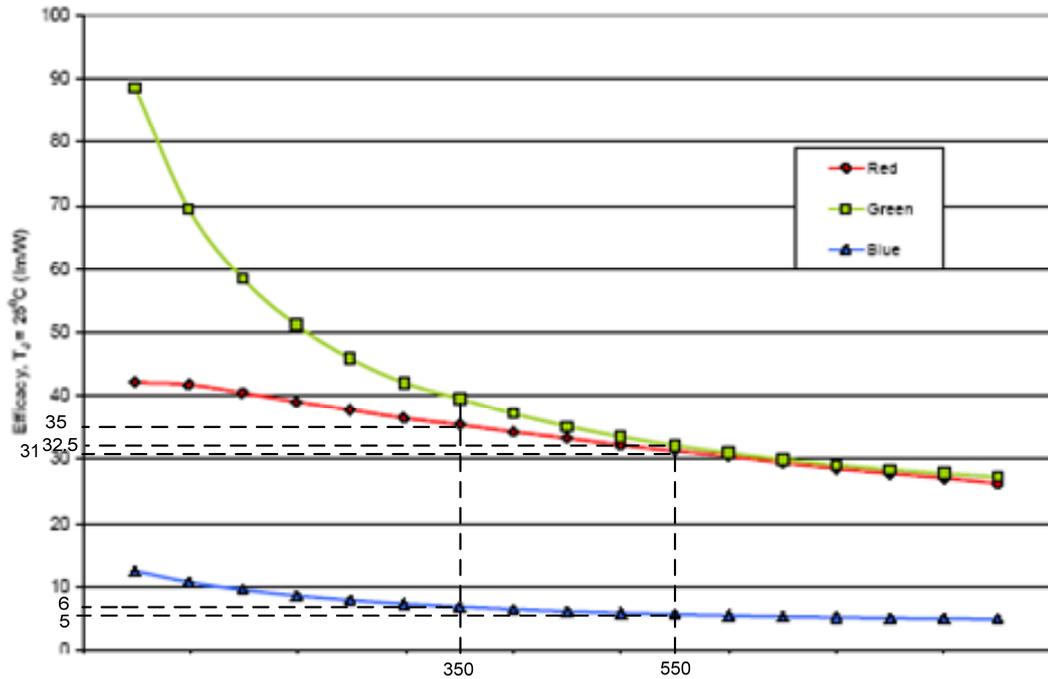
Corriente Id Vs Vf - Led verde Atlas



Corriente Id Vs. Vf - Led azul Atlas



Intensidad luminosa Vs. Vf Led Atlas



Eficiencia Vs. Corriente Id

Optical Characteristics, RGB					
Product		Dominant Wave Length Min. (nm)	Dominant Wave Length Max. (nm)	Total Incl. Angle	View Angle
		NT-43F0-0424 RGB	R	619	629
	G	515	535	180°	113
	B	460	470	180°	132

Tabla de características ópticas

Electrical Performance Characteristics Junction Temperature, $T_j = 25^\circ\text{C}$							
Product		Forward Voltage (VDC)		Typical Power (W)	Typical Temperature Coefficient of Forward Voltage (mV/°C)	Current (mA)	Typical Thermal Resistance Junction to Case (°C/W)
		Typ.	Max.				
NT-42D1-0425 Warm White		7.5	8.2	5.3	-6.12	700	3.0
NT-42D0-0426 Daylight White		7.6	8.2	5.3	-9.29	700	3.0
NT-43F0-0424 RGB	R	4.8	6.4	1.7	-3.55	350	6.0
	G	7.4	8.4	2.6	-5.2	350	6.0
	B	7.9	9.0	2.8	-7.87	350	6.0

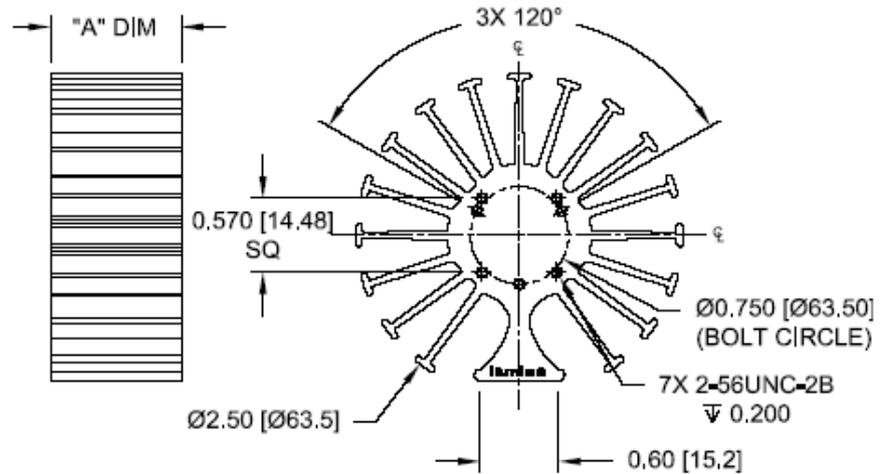
Table 5.

Tabla de características eléctricas del LED Atlas

ANEXO 2

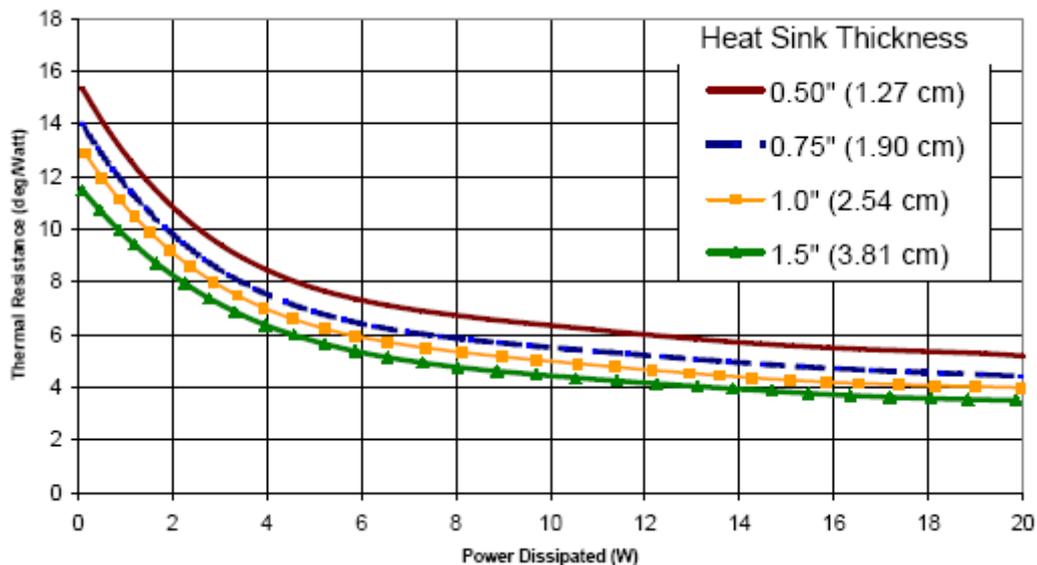
ATLAS™ HEAT SINK MECHANICAL SPECIFICATIONS

NT-4000



NT-4000 Heat Compatibility

Heat Sink Part Number	Dimension "A"
HS-4050-0345	0.5"
HS-4075-0345	0.75"
HS-4100-0345	1.0"
HS-4150-0345	1.5"



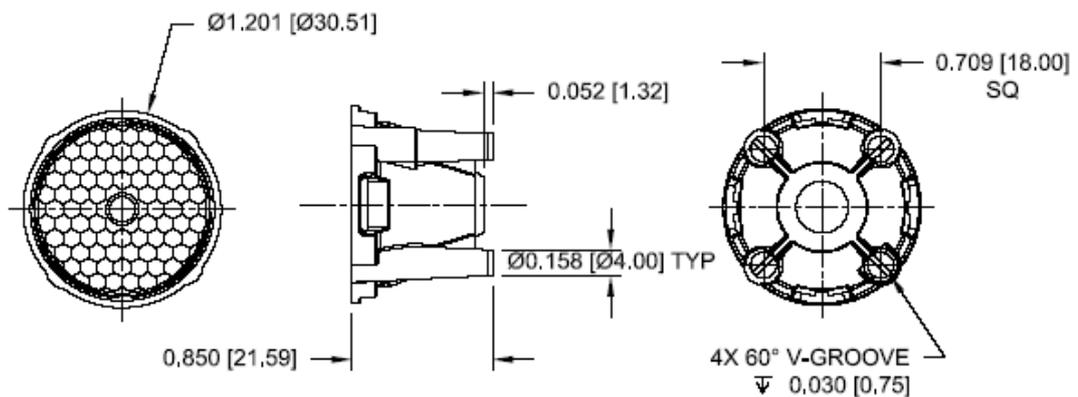
Resistencia Térmica VS Potencia Disipada

ANEXO 3

Especificaciones del lente convergente para el LED Atlas, extraído de la hoja de datos de los accesorios para los LEDs de la marca Lamina Lighting

Optical Performance RGB (NT-43F0-0424)

Lens Part Number	Type of Lens	Typical Total Beam Divergence ⁽¹⁾	Fig. #	Typ. Efficiency
OP-4LN1-0457	Narrow Beam	17°	9	73%
OP-4FM1-0442	Medium Beam	34°	10	86%
OP-4FW1-0441	Wide Beam	38°	10	84%



threshold provides an upper limit for the LED current. LED current overshoot is limited to $328\text{mV}/R1$ by this comparator during transients.

THERMAL SHUTDOWN

Thermal shutdown limits total power dissipation by turning off the internal power switch when the IC junction temperature exceeds 165°C . After thermal shutdown occurs, the power switch does not turn on until the junction temperature drops below approximately 150°C .

Design Guide

INDUCTOR (L1)

The Duty Cycle (D) can be approximated quickly using the ratio of output voltage (V_{OUT}) to input voltage (V_{IN}):

$$D = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$$

The catch diode (D1) forward voltage drop and the voltage drop across the internal NMOS must be included to calculate a more accurate duty cycle. Calculate D by using the following formula:

$$D = \frac{V_{OUT} + V_{D1}}{V_{IN} + V_{D1} - V_{SW}}$$

V_{SW} can be approximated by:

$$V_{SW} = I_F \times R_{DS(ON)}$$

The diode forward drop (V_{D1}) can range from 0.3V to 0.7V depending on the quality of the diode. The lower V_{D1} is, the higher the operating efficiency of the converter.

The inductor value determines the output ripple current (Δi_L , as defined in Figure 2). Lower inductor values decrease the size of the inductor, but increases the output ripple current. An increase in the inductor value will decrease the output ripple current. The ratio of ripple current to LED current is optimized when it is set between 0.3 and 0.4 at 1A LED current. This ratio r is defined as:

$$r = \frac{\Delta i_L}{I_F}$$

One must also ensure that the minimum current limit (1.2A) is not exceeded, so the peak current in the inductor must be calculated. The peak current (I_{LPK}) in the inductor is calculated as:

$$I_{LPK} = I_F + \Delta i_L / 2$$

When the designed maximum output current is reduced, the ratio r can be increased. At a current of 0.2A , r can be made as high as 0.7 . The ripple ratio can be increased at lighter loads because the net ripple is actually quite low, and if r remains constant the inductor value can be made quite large. An equation empirically developed for the maximum ripple ratio at any current below 2A is:

$$r = 0.387 \times I_{OUT}^{-0.2667}$$

Note that this is just a guideline.

The LM3405 operates at a high frequency allowing the use of ceramic output capacitors without compromising transient re-

sponse. Ceramic capacitors allow higher inductor ripple without significantly increasing LED current ripple. See the output capacitor and feed-forward capacitor sections for more details on LED current ripple.

Now that the ripple current or ripple ratio is determined, the inductance is calculated by:

$$L = \frac{V_{OUT} + V_{D1}}{I_F \times r \times f_{SW}} \times (1-D)$$

where f_{SW} is the switching frequency and I_F is the LED current. When selecting an inductor, make sure that it is capable of supporting the peak output current without saturating. Inductor saturation will result in a sudden reduction in inductance and prevent the regulator from operating correctly. Because of the operating frequency of LM3405, ferrite based inductors are preferred to minimize core losses. This presents little restriction since the variety of ferrite based inductors is huge. Lastly, inductors with lower series resistance (DCR) will provide better operating efficiency. For recommended inductor selection, refer to Circuit Examples and Recommended Inductance Range in Table 1. Note that it is a good practice to use small inductance value at light load (for example, $I_F = 0.2\text{A}$) to increase inductor current ramp signal, such that noise immunity is improved.

TABLE 1. Recommended Inductance Range

I_F	Inductance Range and Inductor Current Ripple			
1.0A	4.7µH-10µH			
	Inductance	4.7µH	6.8µH	10µH
	$\Delta i_L / I_F^*$	51%	35%	24%
0.6A	6.8µH-15µH			
	Inductance	6.8µH	10µH	15µH
	$\Delta i_L / I_F^*$	58%	40%	26%
0.2A	4.7µH*-22µH			
	Inductance	10µH	15µH	22µH
	$\Delta i_L / I_F^*$	119%	79%	54%

*Maximum over full range of V_{IN} and V_{OUT} .

**Small inductance improves stability without causing a significant increase in LED current ripple.

INPUT CAPACITOR (C1)

An input capacitor is necessary to ensure that V_{IN} does not drop excessively during switching transients. The primary specifications of the input capacitor are capacitance, voltage rating, RMS current rating, and ESL (Equivalent Series Inductance). The input voltage rating is specifically stated by the capacitor manufacturer. Make sure to check any recommended deratings and also verify if there is any significant change in capacitance at the operating input voltage and the operating temperature. The input capacitor maximum RMS input current rating (I_{RMS-IN}) must be greater than:

$$I_{RMS-IN} = I_F \times \sqrt{D \times \left(1 - D + \frac{r^2}{12}\right)}$$

It can be shown from the above equation that maximum RMS capacitor current occurs when $D = 0.5$. Always calculate the RMS at the point where the duty cycle D , is closest to 0.5 . The ESL of an input capacitor is usually determined by the effective cross sectional area of the current path. A large leaded

capacitor will have high ESL and a 0805 ceramic chip capacitor will have very low ESL. At the operating frequency of the LM3405, certain capacitors may have an ESL so large that the resulting inductive impedance ($2\pi fL$) will be higher than that required to provide stable operation. It is strongly recommended to use ceramic capacitors due to their low ESR and low ESL. A $10\mu\text{F}$ multilayer ceramic capacitor (MLCC) is a good choice for most applications. In cases where large capacitance is required, use surface mount capacitors such as Tantalum capacitors and place at least a $1\mu\text{F}$ ceramic capacitor close to the V_{IN} pin. For MLCCs it is recommended to use X7R or X5R dielectrics. Consult capacitor manufacturer datasheet to see how rated capacitance varies over operating conditions.

OUTPUT CAPACITOR (C2)

The output capacitor is selected based upon the desired reduction in LED current ripple. A $1\mu\text{F}$ ceramic capacitor results in very low LED current ripple for most applications. Due to the high switching frequency, the $1\mu\text{F}$ capacitor alone (without feed-forward capacitor C4) can filter more than 90% of the inductor current ripple for most applications where the sum of LED dynamic resistance and $R1$ is larger than 1Ω . Since the internal compensation is tailored for small output capacitance with very low ESR, it is strongly recommended to use a ceramic capacitor with capacitance less than $3.3\mu\text{F}$.

Given the availability and quality of MLCCs and the expected output voltage of designs using the LM3405, there is really no need to review other capacitor technologies. A benefit of ceramic capacitors is their ability to bypass high frequency noise. A certain amount of switching edge noise will couple through the parasitic capacitances in the inductor to the output. A ceramic capacitor will bypass this noise. In cases where large capacitance is required, use Electrolytic or Tantalum capacitors with large ESR, and verify the loop performance on bench. Like the input capacitor, recommended multilayer ceramic capacitors are X7R or X5R. Again, verify actual capacitance at the desired operating voltage and temperature. Check the RMS current rating of the capacitor. The maximum RMS current rating of the capacitor is:

$$I_{\text{RMS-OUT}} = I_F \times \frac{r}{\sqrt{12}}$$

One may select a 1206 size ceramic capacitor for C2, since its current rating is typically higher than 1A, more than enough for the requirement.

FEED-FORWARD CAPACITOR (C4)

The feed-forward capacitor (designated as C4) connected in parallel with the LED string is required to provide multiple benefits to the LED driver design. It greatly improves the large signal transient response and suppresses LED current overshoot that may otherwise occur during PWM dimming; it also helps to shape the rise and fall times of the LED current pulse during PWM dimming thus reducing EMI emission; it reduces LED current ripple by bypassing some of inductor ripple from flowing through the LED. For most applications, a $1\mu\text{F}$ ceramic capacitor is sufficient. In fact, the combination of a $1\mu\text{F}$ feed-forward ceramic capacitor and a $1\mu\text{F}$ output ceramic capacitor leads to less than 1% current ripple flowing through the LED. Lower and higher C4 values can be used, but bench validation is required to ensure the performance meets the application requirement.

Figure 13 shows a typical LED current waveform during PWM dimming without feed-forward capacitor. At the beginning of

each PWM cycle, overshoot can be seen in the LED current. Adding a $1\mu\text{F}$ feed-forward capacitor can totally remove the overshoot as shown in Figure 14.

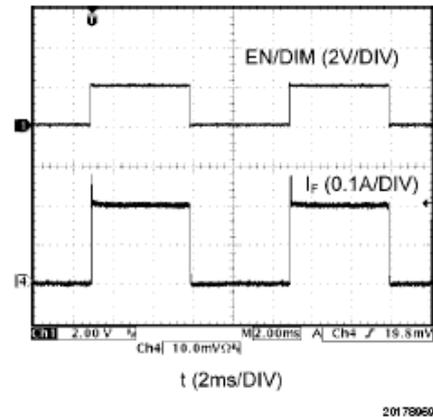


FIGURE 13. PWM Dimming without Feed-Forward Capacitor

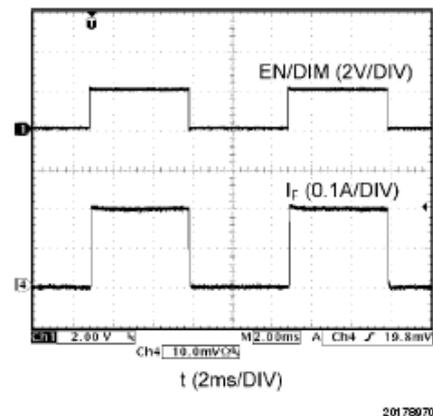


FIGURE 14. PWM Dimming with a $1\mu\text{F}$ Feed-Forward Capacitor

CATCH DIODE (D1)

The catch diode (D1) conducts during the switch off-time. A Schottky diode is required for its fast switching time and low forward voltage drop. The catch diode should be chosen such that its current rating is greater than:

$$I_{D1} = I_F \times (1-D)$$

The reverse breakdown rating of the diode must be at least the maximum input voltage plus appropriate margin. To improve efficiency, choose a Schottky diode with a low forward voltage drop.

BOOST DIODE (D2)

A standard diode such as the 1N4148 type is recommended. For V_{BOOST} circuits derived from voltages less than 3.3V, a small-signal Schottky diode is recommended for better efficiency. A good choice is the BAT54 small signal diode.

BOOST CAPACITOR (C3)

A 0.01µF ceramic capacitor with a voltage rating of at least 6.3V is sufficient. The X7R and X5R MLCCs provide the best performance.

POWER LOSS ESTIMATION

The main power loss in LM3405 includes three basic types of loss in the internal power switch: conduction loss, switching loss, and gate charge loss. In addition, there is loss associated with the power required for the internal circuitry of IC.

The conduction loss is calculated as:

$$P_{COND} = (I_F^2 \times D) \times \left(1 + \frac{1}{3} \times \left(\frac{\Delta I_L}{I_F} \right)^2 \right) \times R_{DS(ON)}$$

If the inductor ripple current is fairly small (for example, less than 40%), the conduction loss can be simplified to:

$$P_{COND} = I_F^2 \times R_{DS(ON)} \times D$$

The switching loss occurs during the switch on and off transition periods, where voltage and current overlap resulting in power loss. The simplest means to determine this loss is to empirically measure the rise and fall times (10% to 90%) of the voltage at the switch pin.

Switching power loss is calculated as follows:

$$P_{SW} = 0.5 \times V_{IN} \times I_F \times f_{SW} \times (T_{RISE} + T_{FALL})$$

The gate charge loss is associated with the gate charge Q_G required to drive the switch:

$$P_G = f_{SW} \times V_{IN} \times Q_G$$

The power loss required for operation of the internal circuitry:

$$P_Q = I_Q \times V_{IN}$$

I_Q is the quiescent operating current, and is typically around 1.8mA for the LM3405.

The total power loss in the IC is:

$$P_{INTERNAL} = P_{COND} + P_{SW} + P_G + P_Q$$

An example of power losses for a typical application is shown in *Table 2*:

TABLE 2. Power Loss Tabulation

Conditions		Power loss	
V_{IN}	12V		
V_{OUT}	4.1V		
I_{OUT}	1.0A		
V_{D1}	0.45V		
$R_{DS(ON)}$	300mΩ	P_{COND}	111mW
f_{SW}	1.6MHz		
T_{RISE}	18ns	P_{SW}	288mW
T_{FALL}	12ns		
I_Q	1.8mA	P_Q	22mW
Q_G	1.4nC	P_G	27mW

D is calculated to be 0.37

$$\Sigma (P_{COND} + P_{SW} + P_Q + P_G) = P_{INTERNAL}$$

$$P_{INTERNAL} = 448mW$$

PCB Layout Considerations

When planning layout there are a few things to consider when trying to achieve a clean, regulated output. The most important consideration when completing the layout is the close coupling of the GND connections of the input capacitor C1 and the catch diode D1. These ground ends should be close to one another and be connected to the GND plane with at least two through-holes. Place these components as close to the IC as possible. The next consideration is the location of the GND connection of the output capacitor C2, which should be near the GND connections of C1 and D1.

There should be a continuous ground plane on the bottom layer of a two-layer board except under the switching node island.

The FB pin is a high impedance node and care should be taken to make the FB trace short to avoid noise pickup that causes inaccurate regulation. The LED current setting resistor R1 should be placed as close as possible to the IC, with the GND of R1 placed as close as possible to the GND of the IC. The V_{OUT} trace to LED anode should be routed away from the inductor and any other traces that are switching.

High AC currents flow through the V_{IN} , SW and V_{OUT} traces, so they should be as short and wide as possible. Radiated noise can be decreased by choosing a shielded inductor.

The remaining components should also be placed as close as possible to the IC. Please see Application Note AN-1229 for further considerations and the LM3405 demo board as an example of a four-layer layout.

ANEXO 5

hoja de datos del Atmega 8

Features

- High-performance, Low-power AVR[®] 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 130 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- Nonvolatile Program and Data Memories
 - 8K Bytes of In-System Self-Programmable Flash
Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
In-System Programming by On-chip Boot Program
True Read-While-Write Operation
 - 512 Bytes EEPROM
Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
 - 1K Byte Internal SRAM
 - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler, one Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Three PWM Channels
 - 8-channel ADC in TQFP and MLF package
Eight Channels 10-bit Accuracy
 - 6-channel ADC in PDIP package
Eight Channels 10-bit Accuracy
 - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated RC Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Five Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, and Standby
- I/O and Packages
 - 23 Programmable I/O Lines
 - 28-lead PDIP, 32-lead TQFP, and 32-pad MLF
- Operating Voltages
 - 2.7 - 5.5V (ATmega8L)
 - 4.5 - 5.5V (ATmega8)
- Speed Grades
 - 0 - 8 MHz (ATmega8L)
 - 0 - 16 MHz (ATmega8)
- Power Consumption at 4 Mhz, 3V, 25°C
 - Active: 3.6 mA
 - Idle Mode: 1.0 mA
 - Power-down Mode: 0.5 µA



8-bit **AVR[®]**
with 8K Bytes
In-System
Programmable
Flash

ATmega8
ATmega8L

2486O-AVR-10/04

(RESET) PC6	□ 1	28	□ PC5 (ADC5/SCL)
(RXD) PD0	□ 2	27	□ PC4 (ADC4/SDA)
(TXD) PD1	□ 3	26	□ PC3 (ADC3)
(INT0) PD2	□ 4	25	□ PC2 (ADC2)
(INT1) PD3	□ 5	24	□ PC1 (ADC1)
(XCK/T0) PD4	□ 6	23	□ PC0 (ADC0)
VCC	□ 7	22	□ GND
GND	□ 8	21	□ AREF
(XTAL1/TOSC1) PB6	□ 9	20	□ AVCC
(XTAL2/TOSC2) PB7	□ 10	19	□ PB5 (SCK)
(T1) PD5	□ 11	18	□ PB4 (MISO)
(AIN0) PD6	□ 12	17	□ PB3 (MOSI/OC2)
(AIN1) PD7	□ 13	16	□ PB2 (\overline{SS} /OC1B)
(ICP1) PB0	□ 14	15	□ PB1 (OC1A)



ANEXO 6

Hoja de datos del SN74LS164

SN74LS164

**Serial-In Parallel-Out
Shift Register**

The SN74LS164 is a high speed 8-Bit Serial-In Parallel-Out Shift Register. Serial data is entered through a 2-Input AND gate synchronous with the LOW to HIGH transition of the clock. The device features an asynchronous Master Reset which clears the register setting all outputs LOW independent of the clock. It utilizes the Schottky diode clamped process to achieve high speeds and is fully compatible with all ON Semiconductor TTL products.

- Typical Shift Frequency of 35 MHz
- Asynchronous Master Reset
- Gated Serial Data Input
- Fully Synchronous Data Transfers
- Input Clamp Diodes Limit High Speed Termination Effects
- ESD > 3500 Volts

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	4.75	5.0	5.25	V
T _A	Operating Ambient Temperature Range	0	25	70	°C
I _{OH}	Output Current – High			-0.4	mA
I _{OL}	Output Current – Low			8.0	mA

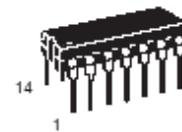


ON Semiconductor

Formerly a Division of Motorola

<http://onsemi.com>

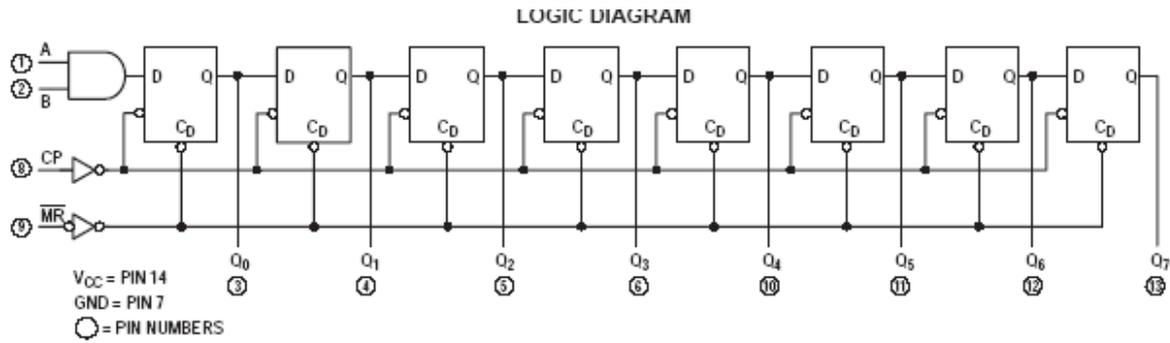
**LOW
POWER
SCHOTTKY**



PLASTIC
N SUFFIX
CASE 646



SOIC
D SUFFIX
CASE 751A



FUNCTIONAL DESCRIPTION

The LS164 is an edge-triggered 8-bit shift register with serial data entry and an output from each of the eight stages. Data is entered serially through one of two inputs (A or B); either of these inputs can be used as an active HIGH Enable for data entry through the other input. An unused input must be tied HIGH, or both inputs connected together.

Each LOW-to-HIGH transition on the Clock (CP) input shifts data one place to the right and enters into Q₀ the logical AND of the two data inputs (A•B) that existed before the rising clock edge. A LOW level on the Master Reset (\overline{MR}) input overrides all other inputs and clears the register asynchronously, forcing all Q outputs LOW.

MODE SELECT — TRUTH TABLE

OPERATING MODE	INPUTS			OUTPUTS	
	MR	A	B	Q ₀	Q ₁ -Q ₇
Reset (Clear)	L	X	X	L	L - L
Shift	H	l	l	L	q ₀ - q ₆
	H	l	h	L	q ₀ - q ₆
	H	h	l	L	q ₀ - q ₆
	H	h	h	H	q ₀ - q ₆

L (l) = LOW Voltage Levels
H (h) = HIGH Voltage Levels
X = Don't Care
q_n = Lower case letters indicate the state of the referenced input or output one set-up time prior to the LOW to HIGH clock transition.



ANEXO 7

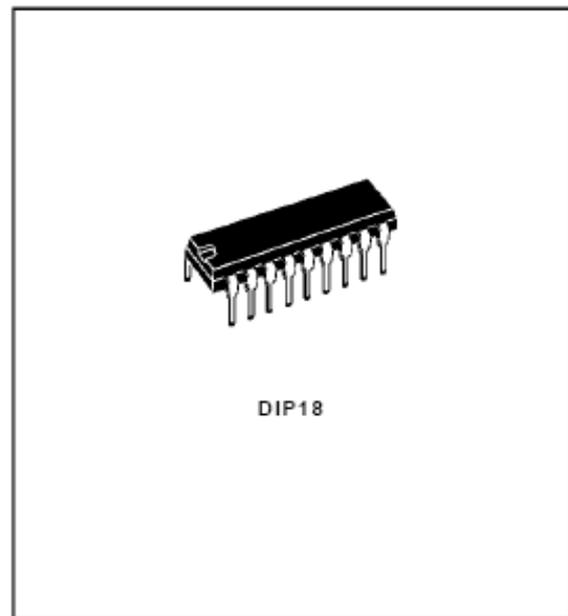
Hoja de datos del ULN2804



ULN2801A
ULN2802A - ULN2803A
ULN2804A - ULN2805A

EIGHT DARLINGTON ARRAYS

- EIGHT DARLINGTONS WITH COMMON EMITTERS
- OUTPUT CURRENT TO 500 mA
- OUTPUT VOLTAGE TO 50 V
- INTEGRAL SUPPRESSION DIODES
- VERSIONS FOR ALL POPULAR LOGIC FAMILIES
- OUTPUT CAN BE PARALLELED
- INPUTS PINNED OPPOSITE OUTPUTS TO SIMPLIFY BOARD LAYOUT



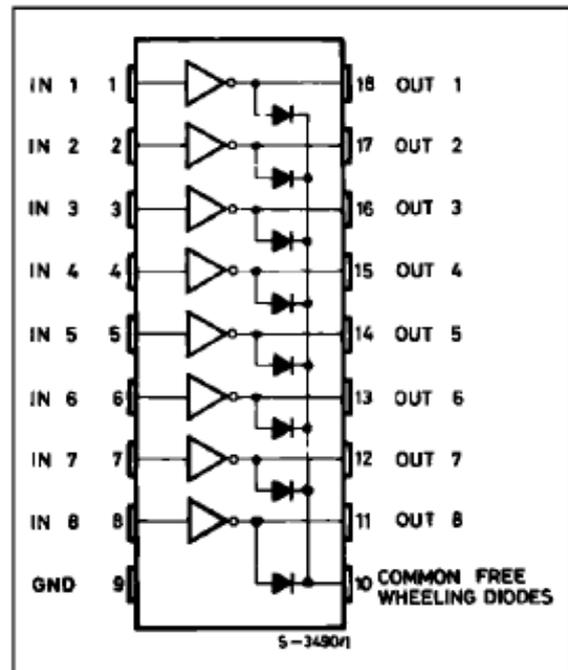
DESCRIPTION

The ULN2801A-ULN2805A each contain eight darlington transistors with common emitters and integral suppression diodes for inductive loads. Each darlington features a peak load current rating of 600mA (500mA continuous) and can withstand at least 50V in the off state. Outputs may be paralleled for higher current capability.

Five versions are available to simplify interfacing to standard logic families : the ULN2801A is designed for general purpose applications with a current limit resistor; the ULN2802A has a 10.5kΩ input resistor and zener for 14-25V PMOS; the ULN2803A has a 2.7kΩ input resistor for 5V TTL and CMOS ; the ULN2804A has a 10.5kΩ input resistor for 6-15V CMOS and the ULN2805A is designed to sink a minimum of 350mA for standard and Schottky TTL where higher output current is required.

All types are supplied in a 18-lead plastic DIP with a copperlead from and feature the convenient input-opposite-output pinout to simplify board layout.

PIN CONNECTION (top view)



ANEXO 8

Hoja de datos del TIP32

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR™

TIP32 Series(TIP32/32A/32B/32C)

Medium Power Linear Switching Applications

- Complement to TIP31/31A/31B/31C

TO-220
1.Base 2.Collector 3.Emitter

PNP Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CB0}	Collector-Base Voltage : TIP32	-40	V
	: TIP32A	-60	V
	: TIP32B	-80	V
	: TIP32C	-100	V
V_{CE0}	Collector-Emitter Voltage : TIP32	-40	V
	: TIP32A	-60	V
	: TIP32B	-80	V
	: TIP32C	-100	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	-5	V
I_C	Collector Current (DC)	-3	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	-5	A
I_B	Base Current	-3	A
P_C	Collector Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	40	W
P_C	Collector Dissipation ($T_3=25^\circ\text{C}$)	2	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	-65 ~ 150	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
$V_{CE0(sus)}$	* Collector-Emitter Sustaining Voltage : TIP32	$I_C = -30\text{mA}, I_B = 0$	-40		V
	: TIP32A				
	: TIP32B				
	: TIP32C				
I_{CE0}	Collector Cut-off Current : TIP32/32A	$V_{CE} = -30\text{V}, I_B = 0$ $V_{CE} = -60\text{V}, I_B = 0$		-0.3	mA
	: TIP32B/32C			-0.3	mA
I_{CES}	Collector Cut-off Current : TIP32	$V_{CE} = -40\text{V}, V_{EB} = 0$ $V_{CE} = -60\text{V}, V_{EB} = 0$ $V_{CE} = -80\text{V}, V_{EB} = 0$ $V_{CE} = -100\text{V}, V_{CE} = 0$		-200	μA
	: TIP32A			-200	μA
	: TIP32B			-200	μA
	: TIP32C			-200	μA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = -5\text{V}, I_C = 0$		-1	mA
h_{FE}	* DC Current Gain	$V_{CE} = -4\text{V}, I_C = -1\text{A}$ $V_{CE} = -4\text{V}, I_C = -3\text{A}$	25	50	
$V_{CE(sat)}$	* Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = -3\text{A}, I_B = -375\text{mA}$		-1.2	V
$V_{BE(sat)}$	* Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE} = -4\text{V}, I_C = -3\text{A}$		-1.8	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = -10\text{V}, I_C = -500\text{mA}$	3.0		MHz

* Pulse Test: PWS300 μs , Duty Cycles2%

SOME RIGHTS RESERVED

Tesis publicada con autorización del autor
Algunos Derechos Reservados. No olvide citar esta tesis

15

ANEXO 9

Hoja de datos del inversor Schmit trigger 40106bp

STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

CHARACTERISTIC	CONDITIONS			LIMITS AT INDICATED TEMPERATURES (°C)							UNITS	
	V _O (V)	V _{IN} (V)	V _{DD} (V)	-55	-40	+85	+125	+25				
								Min.	Typ.	Max.		
Quiescent Device Current, I _{DD} Max.	-	0,5	5	1	1	30	30	-	0,02	1	μA	
	-	0,10	10	2	2	60	60	-	0,02	2		
	-	0,15	15	4	4	120	120	-	0,02	4		
	-	0,20	20	20	20	600	600	-	0,04	20		
Positive Trigger Threshold Voltage V _P Min.	-	-	5	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.9	-	V.	
	-	-	10	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	5.9	-		
	-	-	15	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	8.8	-		
	V _P Max.	-	-	5	3.6	3.6	3.6	3.6	-	2.9		3.6
		-	-	10	7.1	7.1	7.1	7.1	-	5.9		7.1
		-	-	15	10.8	10.8	10.8	10.8	-	8.8		10.8
Negative Trigger Threshold Voltage V _N Min.	-	-	5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.9	-	V	
	-	-	10	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.9	-		
	-	-	15	4	4	4	4	4	5.8	-		
	V _N Max.	-	-	5	2.8	2.8	2.8	2.8	-	1.9		2.8
		-	-	10	5.2	5.2	5.2	5.2	-	3.9		5.2
		-	-	15	7.4	7.4	7.4	7.4	-	5.8		7.4
Hysteresis Voltage V _H Min.	-	-	5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.9	-	V	
	-	-	10	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.3	-		
	-	-	15	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	3.5	-		
	V _H Max.	-	-	5	1.6	1.6	1.6	1.6	-	0.9		1.6
		-	-	10	3.4	3.4	3.4	3.4	-	2.3		3.4
		-	-	15	5	5	5	5	-	3.5		5
Output Low (Sink) Current, I _{OL} Min.	0.4	0,5	5	0.64	0.61	0.42	0.36	0.51	1	-	mA	
	0.5	0,10	10	1.6	1.5	1.1	0.9	1.3	2.6	-		
	1.5	0,15	15	4.2	4	2.8	2.4	3.4	6.8	-		
Output High (Source) Current, I _{OH} Min.	4.6	0,5	5	-0.64	-0.61	-0.42	-0.36	-0.51	-1	-	mA	
	2.5	0,5	5	-2	-1.8	-1.3	-1.15	-1.6	-3.2	-		
	9.5	0,10	10	-1.6	-1.5	-1.1	-0.9	-1.3	-2.6	-		
	13.5	0,15	15	-4.2	-4	-2.8	-2.4	-3.4	-6.8	-		
Output Voltage Low-Level, V _{OL} Max.	-	5	5	0.05				-	0	0.05	V	
	-	10	10	0.05				-	0	0.05		
	-	15	15	0.05				-	0	0.05		
Output Voltage High Level, V _{OH} Min.	-	0	5	4.95				4.95	5	-	V	
	-	0	10	9.95				9.95	10	-		
	-	0	15	14.95				14.95	15	-		
Input Current, I _{IN} Max.	-	0,18	18	±0.1	±0.1	±1	±1	-	±10 ⁻⁵	±0.1	μA	

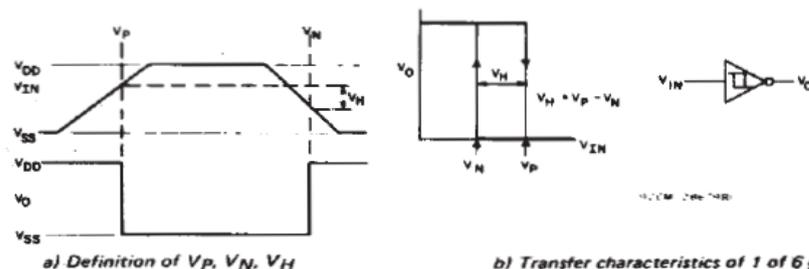


Fig.6 – Hysteresis definition, characteristics, and test set-up.

ANEXO 10

Hoja de datos del LM317

Typical Applications

1.2V–25V Adjustable Regulator

906301

Full output current not available at high input-output voltages
 *Needed if device is more than 6 inches from filter capacitors.
 †Optional—improves transient response. Output capacitors in the range of 1µF to 1000µF of aluminum or tantalum electrolytic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients.

$$\dagger V_{OUT} = 1.25V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ} R_2$$

LM117/LM317A/LM317 Package Options

Part Number	Suffix	Package	Output Current
LM117, LM317	K	TO-3	1.5A
LM317	T	TO-220	1.5A
LM317	S	TO-263	1.5A
LM317A, LM317	EMP	SOT-223	1.0A
LM117, LM317A, LM317	H	TO-39	0.5A
LM117	E	LCC	0.5A
LM317A, LM317	MDT	TO-252	0.5A

SOT-223 vs. TO-252 (D-Pak) Packages

Scale 1:1

Parameter	Conditions	LM317A			LM317			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Reference Voltage	$3V \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40V$, $10 \text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$	1.238	1.250	1.262	-	1.25	-	V
		1.225	1.250	1.270	1.20	1.25	1.30	V
Line Regulation	$3V \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40V$ (Note 4)		0.005 0.01	0.01 0.02		0.01 0.02	0.04 0.07	%/V
Load Regulation	$10 \text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ (Note 4)		0.1 0.3	0.5 1		0.1 0.3	0.5 1.5	%
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.04	0.07		0.04	0.07	%/W
Adjustment Pin Current			50	100		50	100	µA
Adjustment Pin Current Change	$10 \text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ $3V \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40V$		0.2	5		0.2	5	µA
Temperature Stability	$T_{MIN} \leq T_J \leq T_{MAX}$		1			1		%
Minimum Load Current	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40V$		3.5	10		3.5	10	mA
Current Limit	$(V_{IN} - V_{OUT}) \leq 15V$ K, T, S Packages EMP Package H, MDT Packages	- 1.5	- 2.2	- 3.4	1.5 1.5	2.2 2.2	3.4 3.4	A
	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40V$ K, T, S Packages EMP Package H, MDT Packages	- 0.112 0.075	- 0.30 0.20		0.15 0.112 0.075	0.40 0.30 0.20		A

ANEXO 11

Guía de diseño de una fuente de alimentación dado por Motorola

3

**SECTION 8
DESIGNING THE INPUT SUPPLY**

Most input supplies used to power series pass regulator circuits consist of a 60 Hz, single phase step-down transformer followed by a rectifier circuit whose output is smoothed by a choke or capacitor input filter. The type of rectifier circuit used can be either a half-wave, full-wave, or full-wave bridge type, as shown in Figure 8-1. The half-wave circuit is used in low current applications, while the full-wave is preferable in high-current, low output voltage cases. The full-wave bridge is usually used in all other high-current applications.

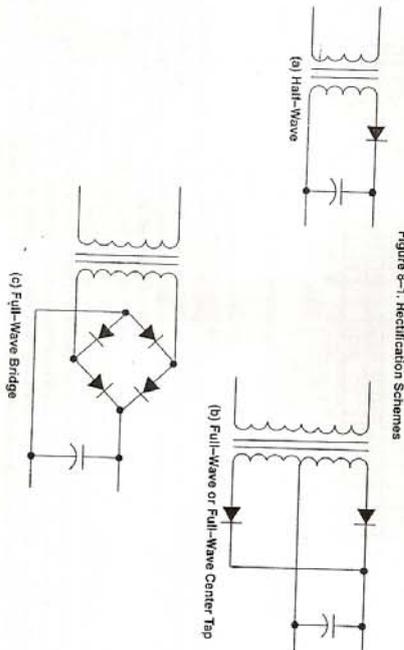


Figure 8-1. Rectification Schemes

In this section, specification of the filter capacitor, rectifier and transformer ratings will be discussed. The specifications for the choke input filter will not be considered since the simpler capacitor input type is more commonly used in series regulated circuits. A detailed description of this type of filter can be found in the reference listed at the end of this section.

3-882

MOTOROLA ANALOG IC DEVICE DATA

1. Design of Capacitor-Input Filters
The best practical procedure for the design of capacitor-input filters still remains based on the graphical data presented by Schade⁽¹⁾ in 1943. The curves shown in Figures 8-2 through 8-5 give all the required design information for half-wave and full-wave rectifier circuits. Whereas Schade originally also gave curves for the impedance of vacuum-tube rectifiers, the equivalent values for semiconductor diodes must be substituted. However, the rectifier forward drop often assumes more significance than the dynamic resistance in low-voltage supply applications, as the dynamic resistance can generally be neglected when compared with the sum of the transformer secondary-winding resistance plus the reflected primary-winding resistance. The forward drop may be of considerable importance, however, since it is about 1.0 V, which clearly cannot be ignored in supplies of 12 V or less.

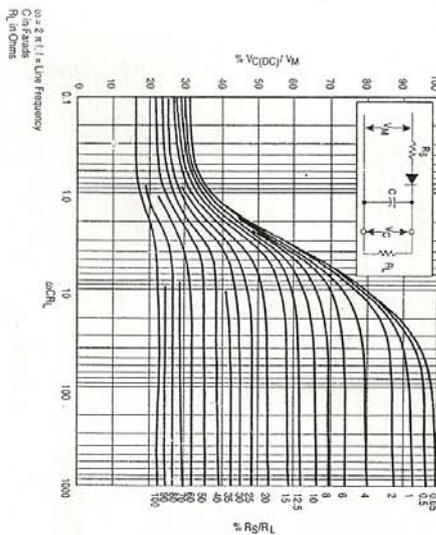


Figure 8-2. Relation of Applied Alternating Peak Voltage to Direct Output Voltage in Half-Wave Capacitor-Input Circuits

(1)From O. H. Schade, Proc. IRE, Vol. 31, p. 356, 1943.

MOTOROLA ANALOG IC DEVICE DATA

3-883

3

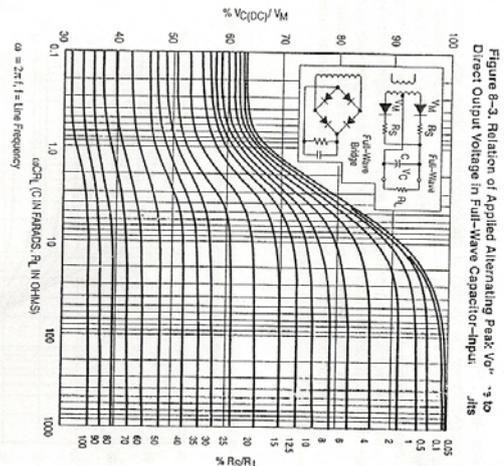


Figure 8-3. Relation of Applied Alternating Peak Voltage to Direct Output Voltage in Full-Wave Capacitor-Input.

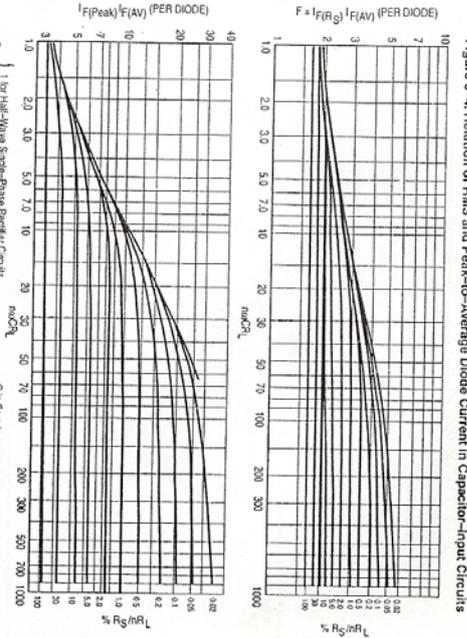


Figure 8-4. Relation of RMS and Peak-to-Average Diode Current in Capacitor-Input Circuits.

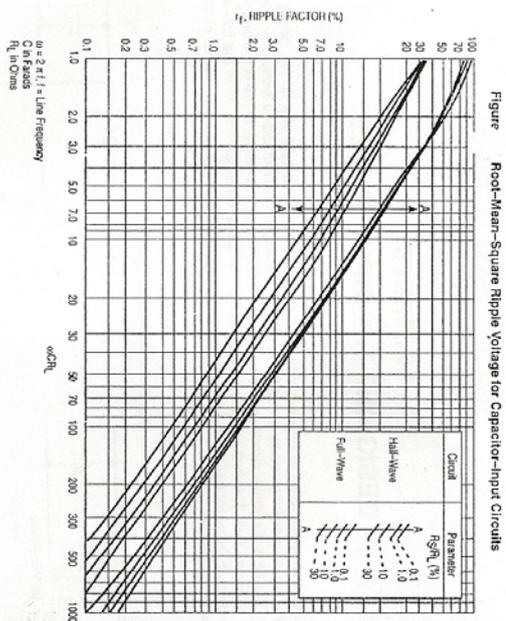


Figure 8-5. Root-Mean-Square Ripple Voltage for Capacitor-Input Circuits.

Returning to the above curves, the full-wave circuit will be considered. Figure 8-3 shows that a circuit must operate with $\omega C R_L \geq 10$ in order to hold the voltage reduction to less than 10% and $\omega C R_L \geq 40$ to obtain less than 2.0% reduction. However, it will also be seen that these voltage reduction figures require R_S/R_L , where R_S is now the total series resistance, to be about 0.1%, which, if attainable, causes repetitive peak-to-average current ratios from 10 to 17 respectively, as can be seen from Figure 8-4. These ratios can be satisfied by many diodes; however, they may not be able to tolerate the turn-on surge current generated when the input-filter capacitor is discharged and the transformer primary is energized at the peak of the input waveform. The rectifier is then required to pass a surge current determined by the peak secondary voltage less the rectifier forward drop and limited only by the series resistance R_S . In order to control this turn-on surge, additional resistance must often be provided in series with each rectifier. It becomes evident, then, that a compromise must be made between voltage reduction on the one hand and diode surge rating and hence average current-carrying capacity on the other hand. If small voltage reduction, that is good voltage regulation, is required, a much larger diode is necessary than that demanded by the average current rating.

Surge Current

The capacitor-input filter allows a large surge to develop, because the reactance of the transformer leakage inductance is rather small. The maximum instantaneous surge current is approximately V_m/R_S and the capacitor charges with a time constant $\tau = R_S C$. As a rough — but conservative — check, the surge will not damage the diode if V_m/R_S is less than the diode IFSM rating and τ is less than 8.3 ms. It is wise to make R_S as large as possible and not pursue tight voltage regulation; therefore, not only will the surge be reduced but rectifier and transformer ratings will more nearly approach the DC power requirements of the supply.

3-864

MOTOROLA ANALOG IC DEVICE DATA

MOTOROLA ANALOG IC DEVICE DATA

3-865

4. Design Procedure

- A) From the regulator circuit design (see Section 6), we know:
 $V_{C(DC)}$ = the required full load average dc output voltage of the capacitor input filter
 $V_{Ripple(pp)}$ = the maximum no load peak-to-peak ripple voltage
 V_m = the maximum no load output voltage
 I_O = the full-load filter output current
 f = the input ac line frequency
- B) From Figure 8-5, we can determine a range of minimum capacitor values to obtain sufficient ripple attenuation. First determine r :

$$r = \frac{V_{Ripple(pp)}}{2 \sqrt{2} V_{C(DC)}} \times 100\% \quad (8.1)$$

A range for $\omega C R_L$ can now be found from Figure 8-5.

- C) Next, determine the range of R_S/R_L from Figure 8-2 or 8-3 using $V_{C(DC)}$ and the values for $\omega C R_L$ found in part B. If the range of $\omega C R_L$ values initially determined from Figure 8-5 is above ≈ 10 , R_S/R_L can be found from Figures 8-2 and 8-3 using the lowest $\omega C R_L$ value. Otherwise, several iterations between Figures 8-2 or 8-3 and 8-5 may be necessary before an exact solution for R_S/R_L and $\omega C R_L$ for a given r and $V_{C(DC)}/V_m$ can be found.

- D) Once $\omega C R_L$ is found, the value of the filter capacitor (C) can be determined from:

$$C = \frac{1}{\omega C R_L} \quad (8.2)$$

- E) The rectifier requirements may now be determined:

$$1. \text{ Average current per diode: } I_{F(AVG)} = I_O \text{ for half-wave rectification} \quad (8.3)$$

$$2. \text{ RMS and Peak repetitive rectifier current ratings can be determined from Figure 8-4.} \quad (8.4)$$

$$3. \text{ The rectifier PIV rating is } 2 V_m \text{ for the half-wave and full-wave circuits, } V_m \text{ for the full wave bridge circuit. In addition, a minimum safety margin of 20% to 50% is advisable} \quad (8.4)$$

$$4. \text{ Maximum surge current: } I_{Surge} = V_m / (R_S + ESR) \quad (8.4)$$

$$\text{where, ESR = minimum equivalent series resistance of filter capacitor from its data sheet.} \quad (8.4)$$

- F) Transformer Specification

$$1. \text{ Secondary leg RMS voltage, } V_S = (V_m + (n) 1.0) / \sqrt{2} \quad (8.5)$$

$$\text{where: } n = 1 \text{ for half-wave and full-wave} \quad (8.5)$$

$$2. \text{ Total resistance of secondary and any external resistors to be equal to } R_S \text{ found from} \quad (8.6)$$

$$3. \text{ Secondary RMS current: } I_{ms} = I_O \quad (8.6)$$

$$\text{half-wave } I_{ms} = I_O \quad (8.6)$$

$$\text{full-wave bridge } I_{ms} = \sqrt{2} I_O \quad (8.6)$$

$$\text{where, } I_{ms} = \text{rms rectifier current (from part E.1 and E.2)} \quad (8.6)$$

$$4. \text{ Transformer VA rating: } VA = V_S I_{ms} \quad (8.7)$$

$$\text{half-wave } VA = 2 V_S I_{ms} \quad (8.7)$$

$$\text{full-wave bridge } VA = V_S I_{ms} \sqrt{2} \quad (8.7)$$

$$\text{where, } I_{ms} = \text{rms rectifier current (from part E.1 and E.2) and,} \quad (8.7)$$

$$V_S = \text{secondary leg RMS voltage.} \quad (8.7)$$

3. Design Example

- A) Find the values for the filter capacitor, transformer rectifier ratings, given Full-Wave Bridge Rectification:

$$V_{C(DC)} = 16 \text{ V}$$

$$V_{Ripple(pp)} = 3.0 \text{ V}$$

$$V_m = 25 \text{ V}$$

$$I_O = 1.0 \text{ A}$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

- B) Using Equation (8.1),

$$r = \frac{3}{2 \sqrt{2} (16)} \times 100\% = 6.6\%$$

from Figure 8.5, $\omega C R_L = 7$ to 15

- C) Using $\omega C R_L = 10$, R_S/R_L is found from Figure 8-3 using,

$$\frac{V_{C(DC)}}{V_m} = \frac{16}{25} = 0.64 = 64\%$$

$$R_S/R_L = 20\% \text{ or } R_S = 0.2 \times R_L = 0.2 \left(\frac{V_{C(DC)}}{I_O} \right) = 0.2 (16) \quad (8.2)$$

$$R_S = 3.2 \Omega$$

- D) From Equation (8.2), the filter capacitor size is found:

$$C = \frac{1}{\omega C R_L} = \frac{1}{10} = 1658 \mu\text{F}$$

- E) The rectifier ratings are now specified:

$$1. I_{F(AVG)} = I_O/2 = 0.5 \text{ A from Equation (8.3)}$$

$$2. I_{F(RMS)} = 2 \times I_{F(AVG)} = 1.0 \text{ A from Figure 8-4}$$

$$3. I_{F(Peak)} = 5.2 \times I_{F(AVG)} = 2.6 \text{ A from Figure 8-4}$$

$$4. PIV = V_m = 25 \text{ V (use 50 V for safety margin)}$$

$$5. I_{Surge} = V_m / (R_S + ESR) = 25 / 3.2 = 7.8 \text{ A from Equation (8.4), neglecting capacitor ESR.}$$

- F) The transformer should have the following ratings:

$$1. V_S = (V_m + n(1.0)) / \sqrt{2} = (25 + 2) / \sqrt{2} = 19 \text{ VRMS (from Equation (8.5))}$$

$$2. \text{ Secondary Resistance should be } 3.2 \Omega$$

$$3. \text{ Secondary RMS current rating should be } 1.4 \text{ A, (from Equation (8.6)).}$$

$$4. \text{ From Equation (8.7), the transformer should have a } 27 \text{ VA rating.}$$

It should be noted that, in order to simplify the procedure, the above design does not allow for line voltage variations or component tolerances. The designer should take these factors into account when designing his input supply. Typical tolerances would be: line voltage = +10% to -15% and filter capacitors = +75% to -10%.

REFERENCES
 1. O.H. Schmitt, Proc. IRE, Vol. 31, 1943
 2. Motorola Silicon Rectifier Manual, 1980.

ANEXOS

ANEXO 1: Led Atlas	1
ANEXO 2: Disipador de Calor	5
ANEXO 3: Lente Convergente	6
ANEXO 4: LM3405	7
ANEXO 5: ATMEGA 8	11
ANEXO 6: 74LS164	13
ANEXO 7: ULN2804	15
ANEXO 8: TIP32	16
ANEXO 9: 40106BP	17
ANEXO 10: LM317	18
ANEXO 11: Guía de diseño de fuente de alimentación	19

