

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN PARA AVISOS LUMINOSOS MEDIANTE EL USO DE ENERGÍA SOLAR

Presentado ante la
Ilustre Universidad Central
de Venezuela por el Br.
Ramirez G., Valery J.
para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2012

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN PARA AVISOS LUMINOSOS MEDIANTE EL USO DE ENERGÍA SOLAR

Prof. Guía: Pedro Pinto

Presentado ante la
Ilustre Universidad Central
de Venezuela por el Br.
Ramirez G., Valery J.
para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2012

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme vivir.

A mis padres, Magaly García y Juan Ramirez, por brindarme la oportunidad de desarrollarme como persona.

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

A mis padres, abuelos, tíos, primos y demás familiares por el apoyo brindado durante la realización de este proyecto.

Al profesor Pedro Pinto por la asesoría prestada durante la ejecución de este proyecto.

Al personal de la empresa Tepro Industrial 2009 C.A. por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto.

A mis amigos y familiares, en especial a mi tía, Eneida García de Margione, por estar ahí cuando los necesité.

Ramirez G., Valery Juan P.

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN PARA AVISOS LUMINOSOS MEDIANTE EL USO DE ENERGÍA SOLAR

Prof. Guía: Pedro Pinto. **Tutor Industrial:** Pedro Pinto. **Tesis.** Caracas. U.C.V.. Facultad de Ingeniería. **Escuela de Ingeniería Eléctrica.** Ingeniero Electricista. Mención Electrónica. Tepro Industrial 2.009, C.A. Trabajo de Grado 2012. **108 páginas.**

Palabras clave: Panel solar, Avisos luminosos, Bloque de generación, Banco de baterías, Iluminación ambiental, Energía solar, Índice de reproducción cromática, Grados de protección, Lámparas HID, Luminarias LED.

Resumen: Los avisos publicitarios requieren sistemas de iluminación para mostrar con claridad la publicidad contratada durante los períodos de baja iluminación ambiental. El trabajo aquí presentado tiene como objetivo la implementación de sistema de iluminación para avisos publicitarios con el fin de mostrar la publicidad contratada de manera efectiva, siendo este un servicio que se ha visto mermado debido a las restricciones gubernamentales debido a la merma en la capacidad de proveer energía por parte de las empresas generadoras. Con el fin de llevar a cabo el sistema se realizó una investigación para determinar los distintos tipos de avisos publicitarios existentes y su forma de iluminación. Una vez determinado el tipo de iluminación utilizada se procedió a desarrollar el sistema para así determinar su viabilidad mediante un análisis de costos de implementación. Además, se realizaron mediciones de funcionamiento del sistema implementado, las cuales consistieron en consumo energético de la carga del sistema, iluminación de una superficie plana de área determinada para así simular el área impresa de una valla publicitaria para lograr iluminación uniforme y funcionamiento del sistema durante un intervalo de tiempo promedio de seis (6) horas. Una vez finalizadas las mediciones se determinó que implementar el sistema de iluminación mediante la utilización de energía solar es viable aunque costoso debido a la utilización de los elementos de generación y almacenaje de energía eléctrica.

ÍNDICE GENERAL

CONSTANCIA DE APROBACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS	v
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN PARA AVISOS LUMINOSOS MEDIANTE EL USO DE ENERGÍA SOLAR.....	vi
Resumen.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
LISTADO DE ACRÓNIMOS	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Objetivo General	4
1.2 Objetivos Específicos	4
CAPÍTULO II: DEFINICIONES DEL SISTEMA.....	5
2.1 MARCO TEÓRICO	5
2.1.1. Iluminación en Publicidad Exterior	5
2.1.2. La Normativa.....	8
2.1.3. La gaceta OFICIAL 39.332	9
2.1.4. El Sistema Fotovoltaico	10
2.1.5. El banco de baterías	14
2.1.6. El Controlador de Carga del Sistema	20

2.1.7.	Los Métodos de Carga.....	22
2.1.7.	La Visión Humana	24
2.1.8.	Fundamentos de la Luz	25
2.1.9.	Clasificación de la iluminación ambiental según el área geográfica	28
2.1.10.	La Temperatura Correlacionada de Color.....	29
2.1.11.	Iluminación LED.....	30
CAPÍTULO III: EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN CONVENCIONAL.....		35
3.1.	CONFORMACIÓN DEL SISTEMA	35
3.2.	SISTEMA DE ILUMINACIÓN CONVENCIONAL VS. SISTEMA DE ILUMINACIÓN ALTERNATIVO	37
CAPÍTULO IV: EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN A IMPLEMENTAR		39
4.	COMPOSICIÓN DEL SISTEMA	39
4.1.1.	Bloque de Generación	40
4.1.2.	Bloque de Control del Sistema de Iluminación	40
4.1.3.	Etapas de Almacenamiento de Energía	41
4.1.4.	Etapas de Iluminación	41
4.1.5.	El sensor de iluminación	42
CAPÍTULO V: DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA		44
5.1.	ILUMINACIÓN	44
5.1.1.	Diseño Eléctrico	46
5.1.2.	Diseño de Iluminación	60
5.2.	BLOQUE DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA	61
5.3.	BLOQUE DE GENERACIÓN	62
5.3.1.	Número de paneles en serie.....	62

5.3.2. Número de paneles en paralelo	63
5.4. TARJETA DE CONTROL DE POTENCIA	63
5.5. TARJETA DE CONTROL DEL SISTEMA	64
5.6. TARJETA DE POTENCIA	67
5.7. MÉTODO DE PROGRAMACIÓN	67
CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE COSTOS	71
6.1. Costos de los elementos constitutivos	71
6.2. Costos por consumo eléctrico	72
CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS	75
7.1. Luminarias	75
7.1.1. Comportamiento Eléctrico	75
7.1.2. Comportamiento Térmico	77
7.1.3. Iluminación	78
7.2. EL CARGADOR DE BATERÍAS Y CONTROL DE ILUMINACIÓN	81
7.3. AVISO PUBLICITARIO	83
7.2.1. Patrón Conjunto	83
7.2.2. Comportamiento eléctrico	85
CONCLUSIONES	86
RECOMENDACIONES	88
GLOSARIO DE TÉRMINOS	90
TRABAJOS CITADOS	92
BIBLIOGRAFÍA	94
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de los tipos de área geográfica según la iluminación ambiental (Caso particular de la distancia mínima de 50m y un ángulo de apertura de 150°).....	29
Tabla 2: Clasificación de la cromaticidad del blanco en función de la temperatura correlacionada de color (Carreon, 2004).....	29
Tabla 3: Gama de colores emitidos por un LED en función de los elementos semiconductores utilizados en su construcción.....	30
Tabla 4: Precios de los elementos constitutivos de un sistema de iluminación con luminarias HID.....	71
Tabla 5: Costo de los elementos constitutivos de un sistema de iluminación con luminarias LED y utilización de energía.....	72
Tabla 6: Consumo mensual de un sistema de iluminación convencional.	73
Tabla 7: Tarifas por consumo eléctrico del sistema convencional.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Publicidad frontlight.	7
Figura 2: Publicidad backlight.	7
Figura 3: Publicidad móvil en paneles LED.	8
Figura 4: Diagrama esquemático de un sistema fotovoltaico.	12
Figura 5: Curva característica de un panel fotovoltaico.	13
Figura 6: Estructura interna de una batería de plomo-ácido.	16
Figura 7: Curvas de carga y descarga de una batería de plomo-ácido.	19
Figura 8: Controlador de carga en paralelo.	21
Figura 9: Controlador de carga en serie.	22
Figura 10: Proceso de carga de una batería de plomo-ácido.	23
Figura 11: Sensibilidad del ojo humano en función de los fotorreceptores.	25
Figura 12: El espectro electromagnético.	26
Figura 13: Representación de las intensidades de luz obtenidas a diferentes distancias.	27
Figura 14: Representación del vector del haz de luz de incidencia curva.	28
Figura 15: Estructura de un LED de potencia.	32
Figura 16: Algunas ópticas disponibles para luminarias LED.	33
Figura 17: Ángulo de emisión de un LED.	33
Figura 18: Directividad de un LED de potencia con patrón de emisión de Lambert.	34
Figura 19: Lámpara HID con protección contra intemperie.	36
Figura 20: Diagrama esquemático del medidor de iluminación.	43
Figura 21: Controlador para fuente conmutada LM2577T-ADJ.	46
Figura 22: Diagrama de bloques del regulador de voltaje interno de la lámpara.	47

Figura 23: Diagrama esquemático del regulador de voltaje interno de la lámpara.....	48
Figura 24: Disipador de calor para la luminaria LED.....	56
Figura 25: Plano simplificado de construcción de la luminaria desarrollada. Medidas en cm.	56
Figura 26: Vista frontal de la luminaria desarrollada.....	57
Figura 27: Vista posterior de la lámpara desarrollada.....	58
Figura 28: Haces de luz redirigidos por un reflector parabólico.....	60
Figura 29: Diagrama de bloques del sistema implementado.....	65
Figura 30: Circuito sensor de iluminación ambiental.	66
Figura 31: Diagrama de flujos del funcionamiento del programa.	69
Figura 32: Curvas de carga de los reguladores utilizados.....	76
Figura 33: Comportamiento en el tiempo de las luminarias desarrolladas.	78
Figura 34: Patrón de irradiancia logrado.....	80
Figura 35: Medidas de la caja contenedora.....	82
Figura 36: Disposición de las luminarias en el marco del aviso publicitario (medidas en metros).	84

LISTADO DE ACRÓNIMOS

AC: Alternating Current (Corriente alterna).

ADC: Analog-Digital Channel (Canal Analógico-Digital).

ANSI: American National Standards Institute (Instituto Nacional Americano de Estandarización).

AMOLED: Active Matrix Organic Light Emitting LED (Diodo Emisor de Luz de Matriz Orgánica Activa).

DC: Direct current (Corriente Directa).

Hz: Hertz.

Lm: Lumen.

MHz: Mega Hertz.

Lm/W: Lumen por Watt.

LED: Light Emitting Diode.

VRLA: Valve Regulated Lead Acid (Plomo-Ácido regulado por Válvula).

INTRODUCCIÓN

Con el auge de la tecnología, a diario se diseñan dispositivos que permiten simplificar y facilitar el manejo de equipos de diversa índole. Estos dispositivos funcionan con energía eléctrica, que es tomada es tomada del Sistema Eléctrico Nacional. Todo ello, junto a un consumo eléctrico per cápita en Venezuela mayor al de otros países de América Latina, ha devenido en una marcada incapacidad de cubrir la demanda de energía eléctrica en el país. Una solución para la las empresas de publicidad exterior es la construcción de un sistema de iluminación que no drene energía del Sistema Eléctrico Nacional.

Un sistema de iluminación para publicidad exterior implementado mediante energía solar es similar a los sistemas de potencia basados en energía solar utilizados en viviendas o plantas generadoras de energía, teniendo como diferencias que la carga se compone exclusivamente de luminarias y están dimensionados para obtener y suministrar potencia eléctrica en menor cantidad si se les compara con otros sistemas.

El uso de energía solar como medio para la generación de energía eléctrica permite colocar el aviso o valla publicitaria en sitios alejados de los centros de distribución de energía eléctrica.

Los sistemas fotovoltaicos presentan una alternativa de generación para iluminar vallas publicitarias. Además, tienen una gran ventaja, pueden ser ubicados en cualquier región del país gracias a sus condiciones ambientales.

El proyecto presentado plantea la construcción de un sistema capaz de almacenar la energía suficiente durante un período de tiempo de 5 horas al día para luego suministrársela a una etapa de iluminación, controlando el tiempo encendido de las luminarias durante el período nocturno, manteniendo una capacidad de reserva.

El Capítulo I describe el proyecto, los objetivos planteados y la justificación del diseño del sistema. El Capítulo II muestra las definiciones del sistema, necesarias para la comprensión del trabajo realizado. El Capítulo III describe el funcionamiento de los sistemas de iluminación convencionales, destacando sus ventajas y desventajas. El Capítulo IV describe el sistema de iluminación a implementar, destacando sus ventajas y desventajas. El Capítulo V describe el funcionamiento interno del sistema de iluminación a implementar. El Capítulo VI presenta los resultados obtenidos del sistema implementado.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La publicidad exterior presenta una gran alternativa para que las empresas y entes den a conocer información, productos o servicios que las mismas ofrecen en el mercado. Al igual que otros métodos de promoción utilizados, en la publicidad exterior se utiliza energía eléctrica para iluminar los anuncios durante las horas del día en las que no se pueden observar total o parcialmente, debido a la falta de iluminación natural. De esta manera se presenta la publicidad durante más horas al día, brindando la oportunidad de tener mayor penetración en el mercado.

Dicha publicidad es presentada en forma de anuncios llamados vallas publicitarias o avisos luminosos, y utilizan energía eléctrica para alimentar sus sistemas de iluminación.

La energía eléctrica usada por estos avisos se toma del Sistema Eléctrico Nacional (**S.E.N.**), lo cual agrava la situación por incapacidad de generación mediante el uso de sistemas de generación convencionales. Actualmente, debido al decreto anunciado en la gaceta No. 39.332 se introduce un aumento sustancial en las tarifas por consumo eléctrico a todo aquel que consuma una excesiva cantidad de energía eléctrica en procesos no esenciales para el cotidiano desarrollo de la vida diaria. Dicha razón resultó en que las empresas dedicadas a la prestación de servicios de publicidad exterior se hayan visto obligadas a mantener inhabilitada la iluminación de los avisos publicitarios.

Las restricciones legales para utilizar la energía eléctrica requerida en la iluminación de los avisos publicitarios no son aplicables si se usan tecnologías verdes. Mediante la iluminación con tecnologías LED y energía se puede mostrar durante una mayor cantidad de tiempo el producto deseado a la mayor cantidad de público posible durante más horas al día, y reduce el consumo de energía eléctrica en la iluminación de las vallas publicitarias.

Entonces, es necesario contar con una alternativa de iluminación para las vallas publicitarias compuesta por elementos independientes del S.E.N.. Tal sistema debe contar con las luminarias de baja potencia, el sistema de almacenamiento de energía, el control de carga y las celdas solares, las cuales son las encargadas de convertir la energía solar en energía eléctrica para su posterior almacenamiento.

1.1 Objetivo General

Implementar un sistema de iluminación autosuficiente para avisos luminosos.

1.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar del cargador de batería a utilizar.
- Seleccionar de la batería a utilizar.
- Seleccionar de los paneles solares a usar para cargar las baterías.
- Implementar el contenedor de los elementos sensibles del sistema.
- Realizar los ensayos pertinentes para comprobar el correcto funcionamiento del sistema.
- Elaborar el manual de usuario del sistema.

CAPÍTULO II: DEFINICIONES DEL SISTEMA

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1. Iluminación en Publicidad Exterior

Por la necesidad de promover productos y servicios los comerciantes comenzaron a usar carteles, desde los fenicios y los egipcios hasta los romanos y más allá en la época moderna; unos hechos a mano, otros hechos con mejores procedimientos, los cuales permitían tener un mejor acabado para así llamar la atención de los consumidores en general. De aquí que la publicidad exterior tienda a ser iluminada para ser la más observada.

Con el tiempo se han hecho avances importantes en los métodos de presentación de productos o servicios al aire libre, entre los cuales están el haber pasado de iluminar dichos carteles o vallas con métodos que implicaban el quemar combustibles a los bombillos incandescentes, bombillos fluorescentes y tecnología LED.

Con la creciente colocación en el mercado de productos de consumo masivo se hace necesaria una nueva forma de presentación o promoción de dichos productos, para que sean comercializados en la mayor cantidad posible y acorde a la realidad del país. Existiendo una muy variada gama de métodos de promoción en publicidad exterior, bien sean pantallas LED **RGB**, publicidad por retroproyección y publicidad en carteles, entre otras.

Existe un método de publicidad exterior en particular, consistente de avisos o carteles colocados estratégicamente en uno o más sitios poblados, vías de transporte, parques nacionales, centros de comercio, etc., los cuales pretenden mostrar un producto o servicio al público transeúnte durante la mayor cantidad de tiempo posible y sin complicadas instalaciones ya que las mismas son solo impresas en colores vívidos e iluminados cuando se requiera.

Los métodos existentes de publicidad exterior se presentan en los formatos presentados a continuación:

- Vallas instaladas en estructuras propias sobre el suelo.
- Vallas en edificaciones las cuales pueden ser con estructuras propias, sobre azoteas o adosadas a las fachadas.
- Vallas con luz proveniente del exterior (sistema Front Light).
- Vallas con luz proveniente de su estructura interior (sistema Back Light).
- Vallas o avisos publicitarios elaborados con luces de neón de colores.
- Vallas electrónicas que anuncian anuncios intercambiables con o sin iluminación interna o externa.
- Vallas que ofrecen tres motivos en un mismo espacio en intervalos de tiempo programables.
- Vallas que combinan dos o más de estas características.

Entre los métodos de presentación de publicidad exterior, el primero y más antiguo es el llamado frontlight, presentado en la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** Como se puede observar, consiste en carteles enmarcados, los cuales utilizan luminarias colocadas a espacios que pueden ser regulares o irregulares. Dependiendo del efecto que se desee lograr, en las mismas se observa que

este tipo de publicidad requiere un tipo especial de iluminación, como se puede observar en la figura 1, la cual solo posee una luminaria.



Fuente: <http://10steps.sg/artworks/50-extraordinary-and-attractive-billboards/>

Figura 1: Publicidad frontlight.

Otro método es el backlight, como se presenta en la Figura 2, el cual consiste de carteles con iluminación interior, lográndo una iluminación uniforme del anuncio a mostrar.



Fuente: <http://www.agilpublicidad.com/publicidad-piezas-especiales.html>

Figura 2: Publicidad backlight.

En la Figura 3 se presenta otro método, integrado por paneles LED, que consiste de una pantalla similar a la de un televisor de gran tamaño cuyos pixeles son representados por LED RGB. Este método tiene como ventaja respecto a los de las figuras 1 y 2, que por ser una pantalla se pueden imágenes o videos previamente grabados o transmitidos de forma remota, dando gran versatilidad en cuanto a la presentación de anuncios.



Fuente: <http://www.color-led-display.com/es/led-trucks.html>.

Figura 3: Publicidad móvil en paneles LED.

2.1.2. La Normativa

La iluminación en vallas publicitarias debe contar con una normativa clara, que regule aspectos como la intensidad de luz emitida por los avisos luminosos, limite la energía eléctrica permisible para la alimentación de los sistemas de iluminación. Sin embargo, ni el Servicio Autónomo Nacional de Normalización, Calidad, Metrología y Reglamentos Técnicos **SENCAMER**, ni la comisión nacional de electricidad, electrónica y Telecomunicaciones **CODELECTRA** a la fecha de emisión de este trabajo de grado contaban con regulación en cuanto a iluminación de avisos publicitarios.

Existen normas y regulaciones de otras instituciones gubernamentales en el país, siendo tres de estos La Alcaldía del municipio Chacao, en el Estado Miranda, La Alcaldía del municipio Libertador, en el distrito Capital y la Ley de Tránsito Terrestre. De estas normas, la de la alcaldía del municipio Chacao hace establece que los avisos publicitarios deben ser dispuestos de manera que no perturben a los transeuntes o habitantes de las zonas aledañas, y odnde se hace cierta referencia a ciertos aspectos técnicos es en el reglamento de La Ley de Tránsito Terrestre, en el cual se hace expresa referencia a que los avisos publicitarios deben estar colocados al menos a 50 metros de distancia de las vías de circulación.

Ante la falta de legislación, normalmente las empresas dedicadas a la rama de la publicidad exterior, también llamada gigantografía, se basan para la realización de los proyectos de instalación de avisos luminosos en normativas extranjeras, como la normativa proveniente del American National Standards Institute **ANSI**. Del catálogo de normas provista por el ANSI. Las normativas usadas para implementación de sistemas de iluminación para avisos publicitarios usadas en esta investigación son las normas TM-11-00 y RP-800.

La norma TM-11-00 es la que se refiere concretamente a las normas de iluminación para avisos publicitarios, en tanto que la norma RP-800 se refiere a la normativa de iluminación exterior para vías de acceso principales.

2.1.3. La gaceta OFICIAL 39.332

A raíz de los problemas ocasionados por las continuas fallas presentadas por el S.E.N. debido a la incapacidad de proveer la energía eléctrica requerida por el

sistema de cargas a nivel nacional, los entes encargados de la prestación del servicio se vieron en la obligación de restringir el uso de energía eléctrica en los servicios no esenciales para el normal desarrollo de las actividades productivas más importantes. En el apartado N° 006, artículos 1 al 7, se describe todo lo referente a la modificación del tipo de iluminación usada en la publicidad exterior, incluyendo el horario permitido para iluminar la publicidad presentada. Además, se promueve el uso de energía solar como fuente de energía eléctrica para la alimentación de los avisos luminosos. En el apartado N° 005 se presentan las causas que llevan a esta situación y las penalizaciones por incumplimiento de las resoluciones enmarcadas en la mencionada gaceta.

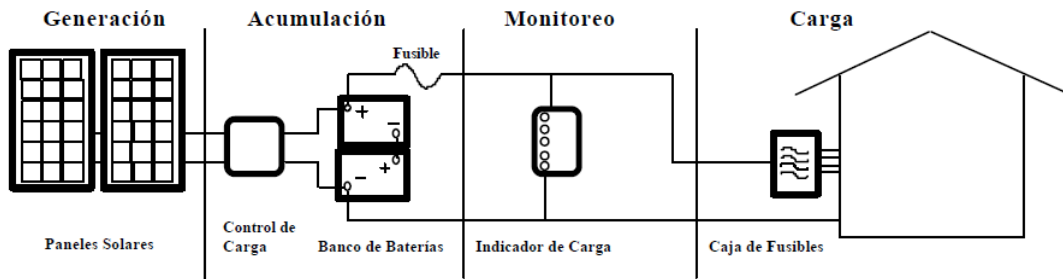
Por las restricciones y obligaciones adquiridas por las empresas prestadoras del servicio de publicidad exterior, éstas se vieron obligadas a prescindir del servicio de iluminación de los avisos luminosos colocados y por colocar en las plazas dispuestas para ello. Lo descrito aquí tiene como consecuencia que la publicidad exterior en cualquiera de sus tres formatos no pueda ser presentada en el período de tiempo originalmente planeado para su presentación ya que en condiciones de baja iluminación será imposible iluminarla por métodos convencionales.

2.1.4. El Sistema Fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos como el mostrado en la Figura 4 se diseñan para suministrar energía eléctrica a los equipos que la necesiten, estos se encuentran compuestos por múltiples dispositivos cada uno con una función específica dentro del mismo.

Los sistemas fotovoltaicos pueden suministrar energía a tres (3) tipos de carga, siendo estas de corriente continua, corriente alterna y la compuesta por los dos tipos de carga mencionados anteriormente de forma continua. Los sistemas fotovoltaicos realizan una conversión de energía lumínica en energía eléctrica DC, razón por la cual las cargas alternas necesitan un dispositivo llamado convertidor DC/AC o inversor, el cual convierte la energía eléctrica en DC a energía eléctrica en AC.

Estos sistemas pueden tener distintos regímenes de uso, siendo estos los regímenes diurno, nocturno o mixto. Cuando el régimen es diurno, el sistema puede necesitar banco de baterías para los casos de baja iluminación dependientes de las diversas condiciones atmosféricas de la zona de instalación. En el régimen nocturno es imprescindible el uso de un banco de baterías ya que las mismas se cargarán durante el día para suministrar energía eléctrica a los dispositivos que así lo requieran durante un determinado período de tiempo, en tanto que el régimen mixto es una combinación de ambos, almacenando energía y alimentando a la carga durante el día directamente a través de los dispositivos de captación de energía solar con el fin de suministrarle energía eléctrica a la carga a través del banco de baterías durante los períodos de inactividad solar.



Fuente: Manual teórico y práctico sobre los sistemas fotovoltaicos, Ing. Hector Gasquet, SOLARTRONIC.

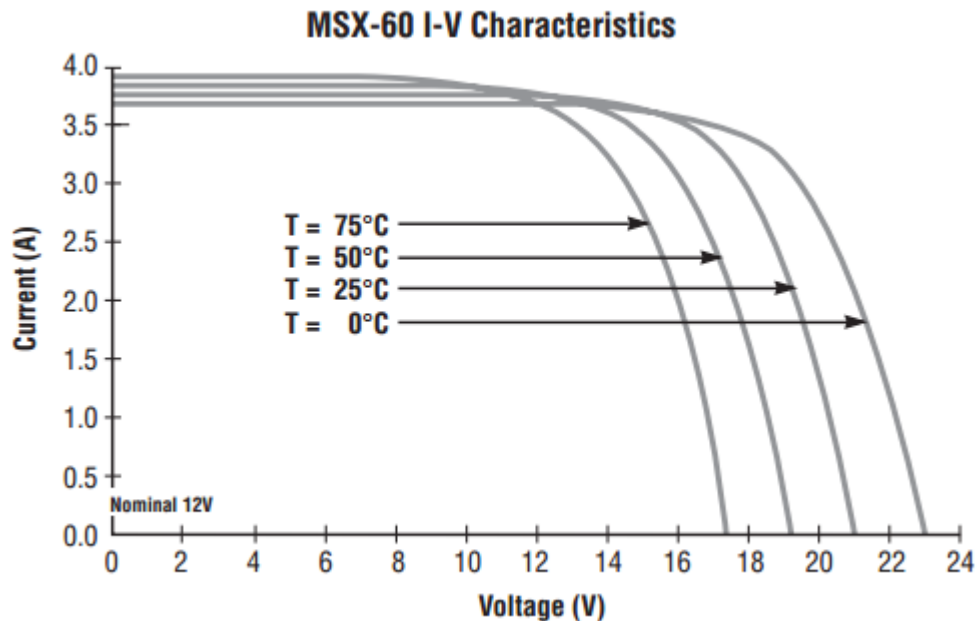
Figura 4: Diagrama esquemático de un sistema fotovoltaico.

El generador de un sistema fotovoltaico es el panel fotovoltaico, siendo el elemento más importante porque capta la energía solar y la convierte en energía eléctrica. El funcionamiento de un panel fotovoltaico se basa en el “efecto fotoeléctrico”, mediante el cual se liberan electrones de una superficie cuando inciden fotones sobre ella.

Con el fin de que sea viable se utilizan combinaciones de materiales, unos más eficientes que otros. Sin embargo, en los paneles fotovoltaicos comúnmente utilizados se usa como material primario el silicio, el cual es un semiconductor, dopado con materiales que le dan las características de un conductor cuando se cumplen ciertas condiciones.

Los paneles fotovoltaicos están conformados por láminas pequeñas conectadas en serie, lo cual hace más fácil la reparación de los mismos en caso de rotura de la estructura. La característica más importante de una celda fotovoltaica es la potencia máxima entregada por la misma, aunque esta característica varía con la intensidad de luz solar recibida por la misma. Estas características normalmente vienen dadas por unas curvas de funcionamiento como la mostrada en la Figura 5,

donde se observa un voltaje máximo a corriente nula, una corriente máxima a voltaje nulo, además del punto de funcionamiento para potencia máxima. Dichas curvas son dadas para distintas temperaturas de funcionamiento y todos los puntos de funcionamiento para potencia máxima son dados para una potencia lumínica de 1 KW/m² o SOL. Existe un parámetro muy importante a tomar en y es el factor de degradación, el cual ocurre cuando aumenta la temperatura de trabajo. Normalmente se considera que durante la mayor parte del tiempo de trabajo el panel estará trabajando a una temperatura mayor a 50 °C (Gasquet, 2004).



Fuente: Manual Teórico y Práctico sobre los Sistemas Fotovoltaicos, Ing. Hector Gasquet, SOLARTRONIC.

Figura 5: Curva característica de un panel fotovoltaico.

2.1.5. El banco de baterías

El banco de baterías es uno de los componentes indispensables de un sistema fotovoltaico de régimen mixto o nocturno, porque es el componente encargado de almacenar la energía convertida por los paneles solares.

Las baterías primarias son baterías que pueden ser usadas de inmediato, las mismas son usadas en aplicaciones en las que es poco probable la recarga o en algunos casos imposible. Estas baterías son utilizables una sola vez para luego ser descartadas. Dependiendo del tipo de batería primaria, pueden tener alta o baja energía específica, estando entre las más comunes la de carbón-zinc, la cual a su vez es la de menor capacidad, en tanto que la alcalina-manganeso la de mayor energía específica.

Las baterías secundarias son aquellas que por definición pueden ser recargadas y por lo tanto, a diferencia de las baterías primarias, pueden ser usadas y recargadas varias veces. Dichas baterías pueden no tener la misma capacidad de una batería primaria, pero pueden ser usadas varias veces.

Los parámetros dados por el fabricante de una batería, bien sea primaria o secundaria son:

Voltaje nominal: es el voltaje a circuito abierto proporcionado por la batería y depende de la tecnología de fabricación de la misma.

Corriente de Carga: corriente máxima de carga que soporta la batería sin disminuir apreciablemente su vida útil o destruirla por sobrecalentamiento.

Corriente de Descarga: corriente máxima de descarga que soporta la batería sin disminuir apreciablemente su vida útil.

Capacidad: es una medida del tiempo que es capaz la batería de proveer una corriente constante hasta que se ha drenado el 80% de su energía, o lo que es lo mismo, se le ha llevado a una profundidad de descarga del 80%. Normalmente viene dada en amperios-hora (Ah), donde la cantidad de energía que se puede drenar de la batería viene dada por la multiplicación de la capacidad en amperios-hora y el voltaje nominal de la batería.

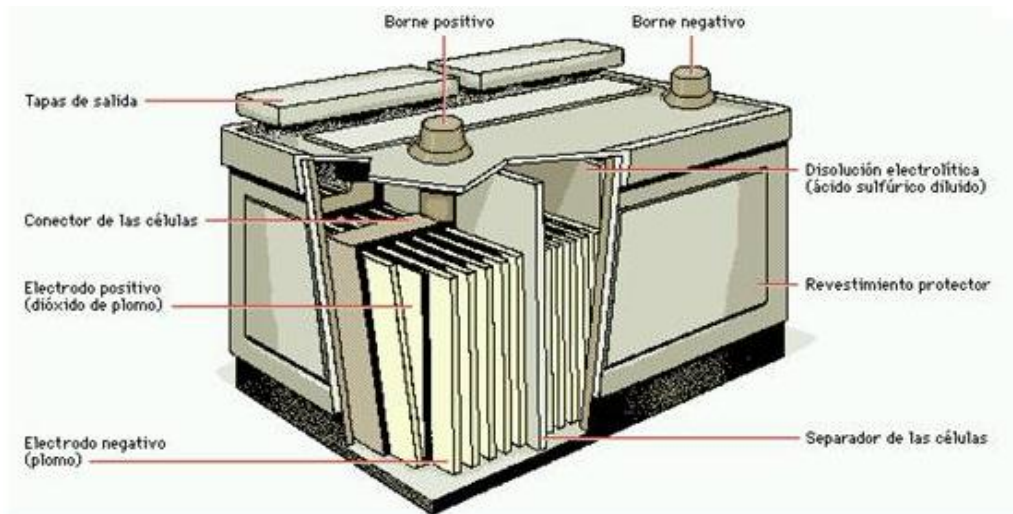
Las tecnologías en baterías secundarias más usadas para la aplicación desarrollada en esta investigación son las siguientes:

- Niquel metal hidruro (NIMH).
- Niquel Cadmio (NiCd).
- Ion de litio (Li-ion).
- Ion de litio-cobalto.
- Ion de litio-fosfato.
- Plomo ácido.
- Polímero de litio.

Normalmente, las baterías más usadas son las baterías de plomo ácido debido a su bajo costo, de tecnología de construcción más simple comparada con el resto de las tecnologías, por lo que se les puede hacer mantenimiento a menor costo.

2.5.1.1. Baterías de Plomo-Acido

Fueron desarrolladas inicialmente por el físico francés Gaston Planté¹ en 1859, fueron las primeras baterías recargables conocidas en el mundo. Debido a su bajo precio y relativa facilidad de construcción, se han convertido en las baterías más usadas en todo sistema de respaldo o alimentación mediante el uso de energía eléctrica.



Fuente: <http://www.maquinaria.cl/baterías.htm>.

Figura 6: Estructura interna de una batería de plomo-ácido.

Las primeras baterías de plomo-ácido usaban electrolito líquido. Su tecnología de construcción se mantuvo invariable durante un largo período de tiempo, hasta que en la década de los años 70 se optó por separar la estructura interna de las

baterías en módulos más pequeños o celdas con placas de menor voltaje igualmente cubiertas por el electrolito, como se muestra en la Figura 6.

Las baterías de plomo-ácido son capaces de suministrar energía eléctrica debido a un proceso denominado doble conversión de energía, en el cual se convierte en energía química la energía eléctrica proveniente del dispositivo alimentador principal para luego convertir en energía eléctrica la energía almacenada en forma de energía química dentro de ella.

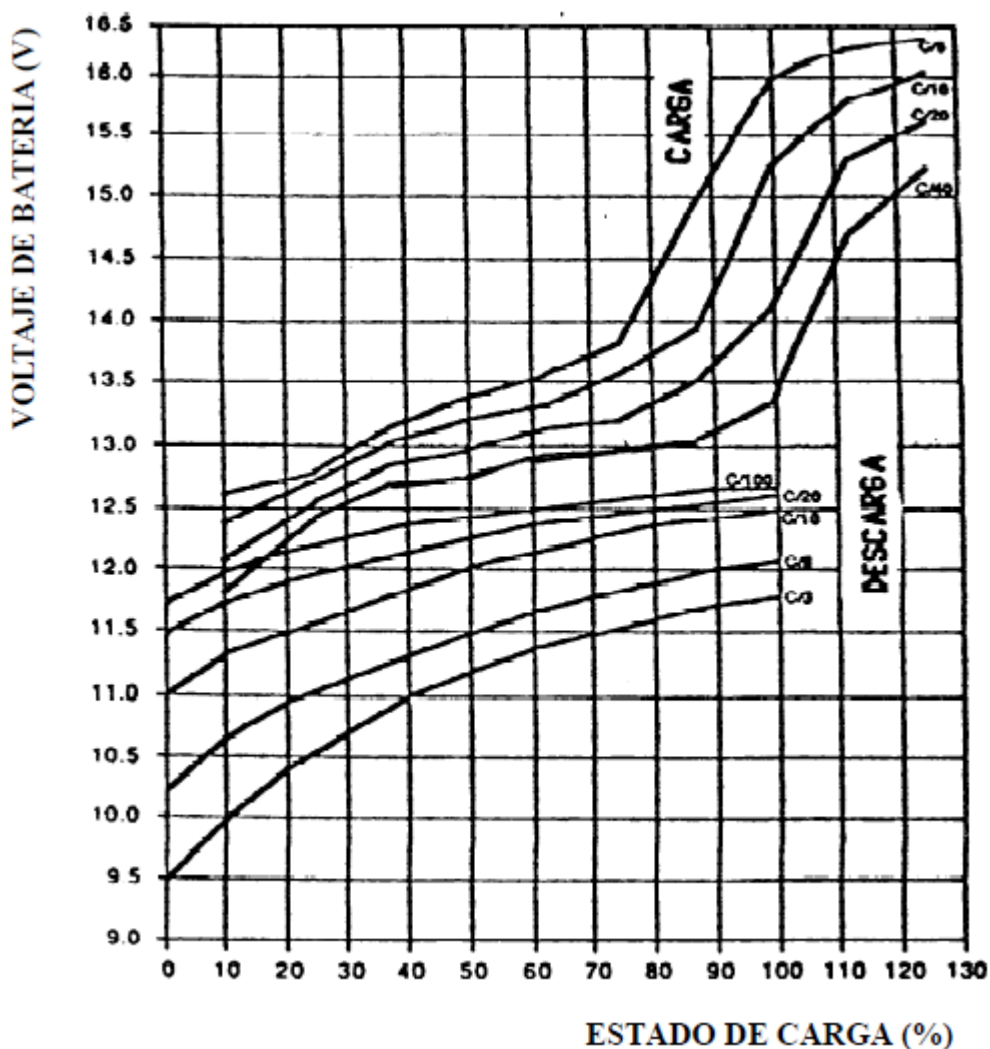
Las baterías actuales son sistemas modulares, los cuales poseen varias celdas de voltaje reducido compuestas por una placa positiva y otra negativa, estandarizado a un voltaje de 2,35 Volts por celda. La conexión de varias de estas celdas en serie constituyen una batería estandar de plomo ácido. Normalmente se construyen baterías de 6, 12 y 24V, y pueden ser asociadas en serie o paralelo con el fin de obtener mayores tensiones o mayores corrientes, tomando en consideración que si se asocian en serie la corriente máxima total será la corriente máxima de la batería de menor capacidad, en tanto que en la conexión en paralelo las características internas de las baterías asociadas deben ser las mismas. Diferentes voltajes de salida pueden ser obtenidos según requerimientos de la aplicación o bajo pedido al fabricante.

Para cargar una batería de plomo ácido, al igual que otras tecnologías de baterías, es necesario un generador de corriente directa, el cual debe estar conectado a un dispositivo que hará las veces de regulador para así ajustarse a los parámetros de carga de la batería. El voltaje de carga en los terminales de la batería debe ser alrededor de un 20% superior al voltaje nominal de la batería y esta nunca debe ser cargada a con corrientes superiores a la máxima corriente de carga recomendada por el fabricante ya que la misma podría sufrir daños por recalentamiento y posterior deformación o rotura de sus componentes internos.

El proceso de cargar una batería de plomo-ácido conlleva la conversión de energía eléctrica en energía química mediante la cual se combina el plomo del que están constituidas las celdas y el electrolito constituido por ácido sulfúrico y agua destilada contenidos en su interior para acumular el plomo en la placa negativa, en tanto que la placa positiva se acumula dióxido de plomo, aumentando la concentración de ácido en la solución. Cuando la batería se descarga el proceso se revierte, haciendo que se forme un compuesto de sulfato de plomo en las placas positiva y negativa de cada celda de la batería disminuyendo el nivel de ácido en la solución. La cantidad de compuesto formado en cada etapa (carga o descarga) depende del nivel energético que posea la batería en un determinado instante de tiempo, siendo es un proceso químico reversible.

Con el fin de medir correctamente los parámetros de una batería de plomo-ácido se deben tener claros tres conceptos: siendo estos la capacidad de descarga **C**, la energía que es capaz de acumular y la profundidad de descarga **PD**. La capacidad de descarga viene dada por la máxima corriente que la batería suministrará de forma constante hasta que esta drene el 80% de su energía y se mide en Ampere*hora **Ah** y se establece como el valor de la corriente multiplicado por el tiempo que dure la descarga. Generalmente el fabricante reporta la capacidad de descarga bajo un régimen de descarga de 20 horas (Gasquet, 2004). La energía acumulada en una batería es medida en forma de watts/hora (**W/h**) y es el resultado de multiplicar el voltaje nominal de la batería por su capacidad **C** de descarga.

El voltaje de una batería de plomo-acido disminuye durante la descarga y aumenta durante la carga. Sin embargo, la rata de variación del voltaje no es lineal y se debe a que la variación de la resistencia interna de la batería en uso tampoco lo es. El voltaje varía dependiendo de la temperatura de trabajo y el estado de carga de la batería.



Fuente: Conversión de la Luz Solar en Energía Eléctrica, Gasquet 2004.

Figura 7: Curvas de carga y descarga de una batería de plomo-ácido.

Dependiendo de la tecnología de construcción de la batería de plomo-ácido, podrá tener distintas clasificaciones:

- Start-Light-Ignition (SLI): Estas baterías están diseñadas para proporcionar grandes corrientes durante períodos cortos de tiempo, por lo general mayores a 100A,

lo cual, dependiendo de su capacidad, otorgará una profundidad de descarga que por lo general será inferior al 1%.

- **Baterías ventiladas:** estas baterías están diseñadas con aberturas que permiten el escape de los gases producidos en su interior, además de permitir reponer el electrolito perdido debido a la gasificación.
- **Baterías selladas SLA (Sealed lead-acid):** estas baterías están diseñadas de manera que no liberan gases excesivos, razón por la cual se hace innecesaria la ventilación y/o la reposición del electrolito.
- **Baterías de plomo-ácido reguladas por válvula VRLA (valve regulated lead-acid):** son baterías selladas, con la diferencia de que estas poseen válvulas diseñadas para permitir la liberación de gases en caso de una carga excesiva o un cortocircuito, evitando las posibilidades de explosión debido a la acumulación de gases. Estas baterías a su vez se clasifican en baterías de electrolito líquido, las cuales tienen celdas separadas y baterías con electrolito de gel, las cuales evitan la pérdida de agua por evaporación y mejora la estabilidad del electrolito.

2.1.6. El Controlador de Carga del Sistema

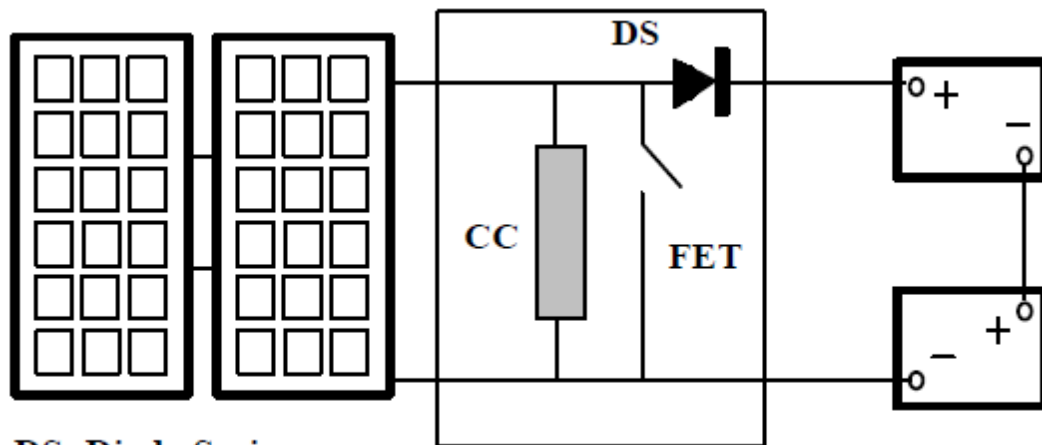
Debido a que el sistema de almacenamiento de energía solo tiene la posibilidad de cargarse durante el día, se hace necesaria la introducción de un dispositivo controlador de nivel de carga. Este dispositivo cumple la función de aislar el banco de baterías tanto del sistema de generación como de la carga del sistema.

El sistema mide la intensidad de luz solar incidente durante el día de manera que solo permite la interconexión entre el bloque generador y el banco de baterías cuando existe una tensión lo suficientemente alta para poder cargar el banco de baterías.

Un control de carga debe seleccionarse teniendo en cuenta los parámetros eléctricos del sistema. Existen distintos tipos de controles de carga y estos se agrupan en dos categorías, los controles en serie y los controles en paralelo, estas categorías se establecen debido a la dirección que toma la corriente de carga cuando el controlador comienza a disminuir la corriente de carga.

El control en paralelo conecta el bloque generador a un circuito alternativo, consistente de una resistencia fija, de esta manera se evita seguir introduciendo energía al banco de baterías y se evita dejar flotante o en cortocircuito al bloque generador.

El control en serie consiste de un interruptor, el cual aísla al banco de baterías del bloque generador y a su vez queda conectado en serie al bloque generador cuando se aísla al banco de baterías. En la Figura 8 se presenta el diagrama esquemático de un cargador serie y en la Figura 9 se presenta un cargador en paralelo.

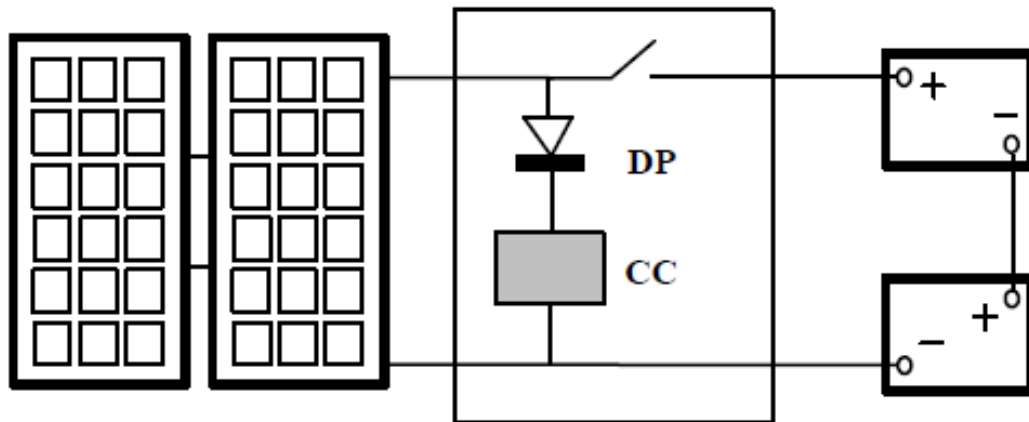


DS: Diodo Serie

CC: Circuito de Control

Fuente: Manual Teórico y Práctico sobre los Sistemas Fotovoltaicos, Gasquet, 2004.

Figura 8: Controlador de carga en paralelo.



Fuente: Manual Teórico y Práctico sobre los Sistemas Fotovoltaicos, Gasquet, 2004.

Figura 9: Controlador de carga en serie.

La energía requerida por el controlador de carga es una muy pequeña proporción de la energía proporcionada por el bloque generador, de manera que no afectará considerablemente el tiempo de carga o descarga del banco de baterías.

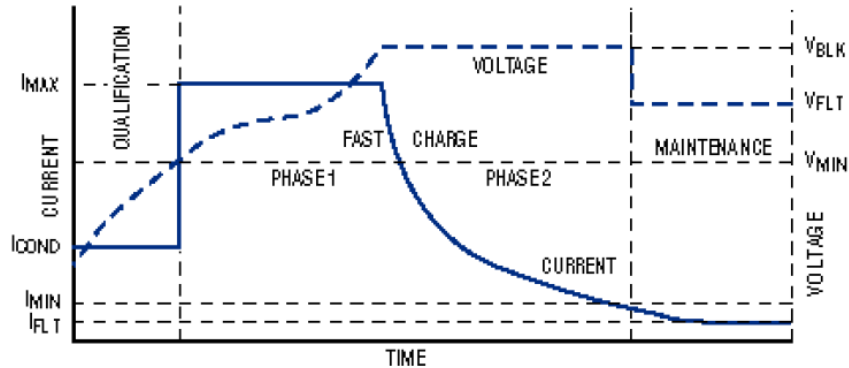
2.1.7. Los Métodos de Carga

Básicamente existen dos métodos para cargar baterías de plomo-ácido, siendo estos:

- Tensión constante: Al utilizar este método se aplica una tensión cercana al 120% de la tensión nominal de la batería durante todo el ciclo de carga, teniendo en cuenta que se debe limitar la corriente de carga si la el banco de baterías se encuentra muy descargado.
- Corriente constante: Al utilizar este método de carga se carga el banco de baterías utilizando una magnitud de corriente que dependerá de las

especificaciones de carga dadas por el fabricante o los requerimientos de la aplicación.

Debido a la característica de funcionamiento de las baterías de plomo-ácido, el diseño del método de carga implementado en las mismas es un método mixto, en el cual se combinan los métodos de carga a corriente constante y a tensión constante con el fin de demostrar el método de carga generalmente usado para cargar una batería de plomo-ácido, se ilustra en la Figura 10 el comportamiento de una batería de plomo-ácido durante el proceso de carga.



Fuente: How to design battery charger applications that require external microcontrollers and related system-level issues, Dallas Semiconductor.

Figura 10: Proceso de carga de una batería de plomo-ácido.

En el gráfico anterior se observa como a una batería que se encuentra descargada se le aplica una corriente de acondicionamiento **I_{COND}** , lo cual evita que la batería aumente el voltaje en sus terminales de manera abrupta, haciendo que el controlador de carga considere erróneamente que la batería se encuentra cargada. Cuando finaliza el acondicionamiento se aumenta el valor de la corriente de carga a un valor **I_{MAX}** . Durante esta parte del proceso el voltaje de la batería se eleva a una rata no lineal hasta comienza a estabilizarse, claro indicio de que la batería se está acercando al 70% de su carga nominal. Como paso siguiente se establece en los

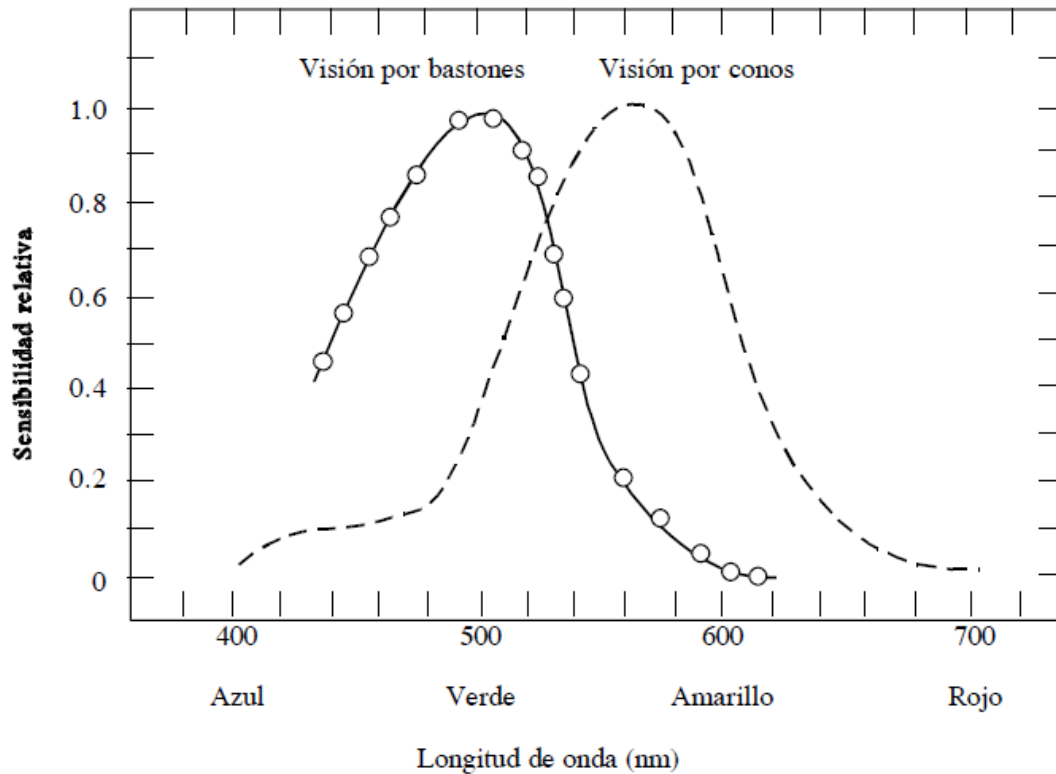
terminales de la batería un voltaje constante, así la corriente de carga comienza a disminuir hasta que alcanza un nivel denominado corriente de flotación **IFLT**, período en cual se coloca en la batería un voltaje de flotación, lo cual mantendrá cargada la batería.

2.1.7. La Visión Humana

El ojo humano es básicamente una máquina de visión, constituido por unos fotorreceptores llamados bastones y conos. Estos se encargan básicamente de detectar la luminancia y los colores de una imagen respectivamente.

Existen diferencias en cuanto a la sensibilidad del ojo humano a la luz en diferentes períodos del día. En el día es más sensible a la luz cálida, este tipo de visión es llamada visión fotópica, en tanto que durante la noche, cuando hay ausencia de luz natural, el tipo de visión es llamada visión escotópica.

En los tipos de visión, el ojo humano cambia sus picos de sensibilidad a los colores, en el día el pico de sensibilidad del ojo humano se encuentra alrededor de los 550nm, mientras que en la noche el pico de visión se encuentra alrededor de los 490nm. La Figura 11 da una mejor perspectiva de la sensibilidad del ojo humano bajo las dos condiciones de iluminación extremas.

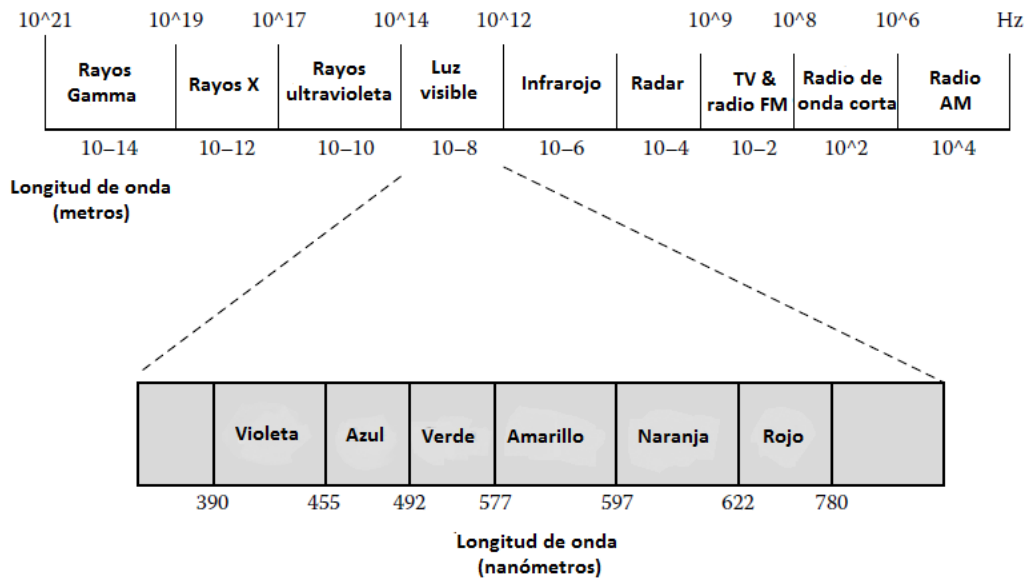


Fuente: <http://www.edicionsupc.es/ftppublic/pdfmostra/OP00104M.pdf>.

Figura 11: Sensibilidad del ojo humano en función de los fotorreceptores.

2.1.8. Fundamentos de la Luz

Todo los materiales conocidos por el ser humano, bien sea por emisión o reflexión, emiten radiación electromagnética en distintas longitudes de onda. La parte del espectro de ondas electromagnéticas conocida como luz visible, como se puede observar en la Figura 12, está conformado por el rango de longitudes de onda que va desde los 390nm hasta los 780 nm, en ambos extremos del rango mencionado se encuentra la luz ultravioleta y la luz infrarroja respectivamente.



Fuente: Introduction to Light Emitting Diodes Technology and Applications, de Hilbert Held. Modificado.

Figura 12: El espectro electromagnético.

Muchas fuentes de luz, además de emitir luz con una longitud de onda visible al ojo humano, emiten luz invisible. La intensidad de la luz incidente sobre una superficie se determina mediante dos leyes fundamentales, estas son:

a) **Ley del inverso de los cuadrados:** esta ley establece que la intensidad de la luz es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia del recorrido del haz de luz desde el punto de emisión hasta la superficie de iluminación y es aplicable sólo a fuentes de luz consideradas puntuales. Dicha ley se expresa matemáticamente mediante la ecuación

$$E = \frac{I}{D^2} \quad (2.1)$$

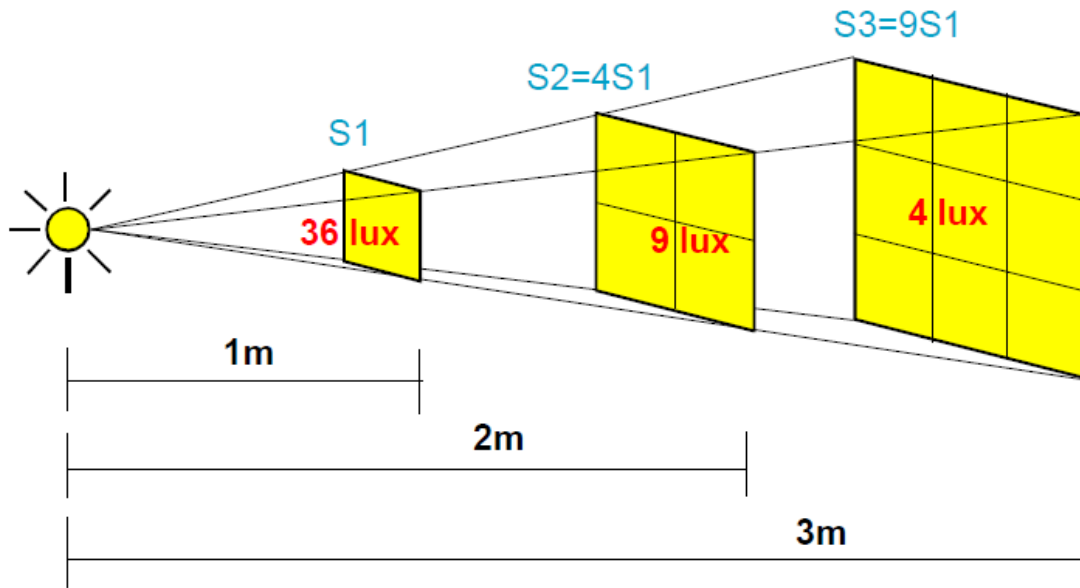
Donde:

E: Iluminación.

I: Intensidad luminosa en la dirección dada.

D: Distancia existente entre el punto de emisión y la superficie a iluminar.

La figura 12 explica mejor la ley del inverso de los cuadrados.



Fuente: Manual de luminotecnia. Carlos Laszlo, 2002.

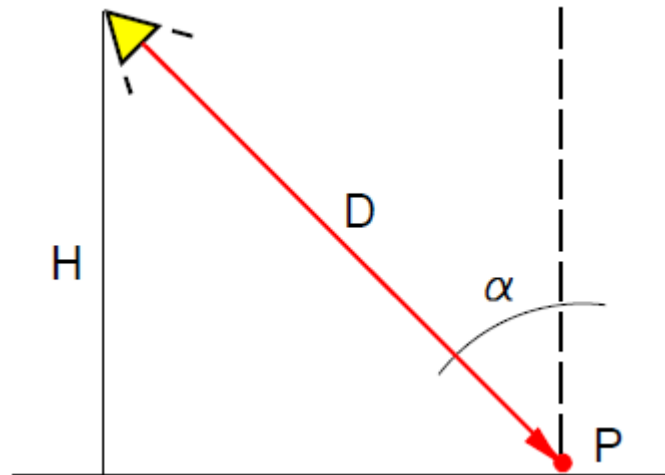
Figura 13: Representación de las intensidades de luz obtenidas a diferentes distancias.

b) Ley de Lambert: también conocida como la ley del coseno, establece que la iluminación es proporcional al ángulo de incidencia de la luz respecto a la fuente de emisión luz. La ecuación matemática que la describe es:

$$E = \frac{I}{D^2} \cdot \cos(\alpha) \quad (2.2)$$

α : Ángulo de incidencia de la luz tomado respecto a la línea perpendicular a la superficie a iluminar.

La Figura 14 presenta la utilización del teorema del coseno.



Fuente: Manual de luminotecnia. Carlos Laszlo, 2002.

Figura 14: Representación del vector del haz de luz de incidencia curva.

2.1.9. Clasificación de la iluminación ambiental según el área geográfica

La ANSI, a través de los laboratorios Light Sciences, Inc. (Lewin, 2009), ha establecido la clasificación para limitar la iluminancia máxima perceptible por un observador estándar ubicado a una distancia definida en función de la iluminación ambiental presente en el área geográfica en la que se encuentra un aviso luminoso. Las distintas clasificaciones se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Clasificación de los tipos de área geográfica según la iluminación ambiental (Caso particular de la distancia mínima de 50m y un ángulo de apertura de 150°).

Nivel	Descripción	Límite de iluminancia al ojo humano (Lx)
1	Muy baja iluminación ambiental eléctrica.	1,17
2	Baja iluminación ambiental eléctrica.	3,52
3	Media iluminación ambiental eléctrica.	9,38
4	Alta iluminación ambiental eléctrica.	17,59

2.1.10. La Temperatura Correlacionada de Color

La temperatura correlacionada de color se refiere a la tonalidad o cromaticidad de la luz emitida por una lámpara, esta se puede clasificar según la siguiente

Tabla 2: Clasificación de la cromaticidad del blanco en función de la temperatura correlacionada de color (Carreon, 2004).

Temperatura correlacionada de color [°K]	Aspecto cromático
>5000	Blanco azulado (frio)
$3.200 < T \leq 5000$	Blanco medio
$T < 5000$	Blanco rojizo (cálido)

2.1.11. Iluminación LED

Los diodos llamados **LED** (Light-Emitting Diode), son dispositivos emisores de luz cuyo funcionamiento eléctrico es similar al de un diodo común, dejando pasar la corriente en un solo sentido, desde el material p hacia el material n, llamados ánodo y cátodo respectivamente.

Una vez que la corriente eléctrica fluye a través de un LED se recombinan los portadores de carga en un proceso llamado recombinación radiante. Cada vez que se da la recombinación de un par electrón-hueco se libera un fotón, dando el efecto de electroluminiscencia. La luz emitida por un LED se encuentra intrínsecamente ligada al material base de su estructura semiconductor. En la Tabla 3 se presentan los colores emitidos por los LEDs dependiendo de la conformación de su estructura semiconductor.

Tabla 3: Gama de colores emitidos por un LED en función de los elementos semiconductores utilizados en su construcción.

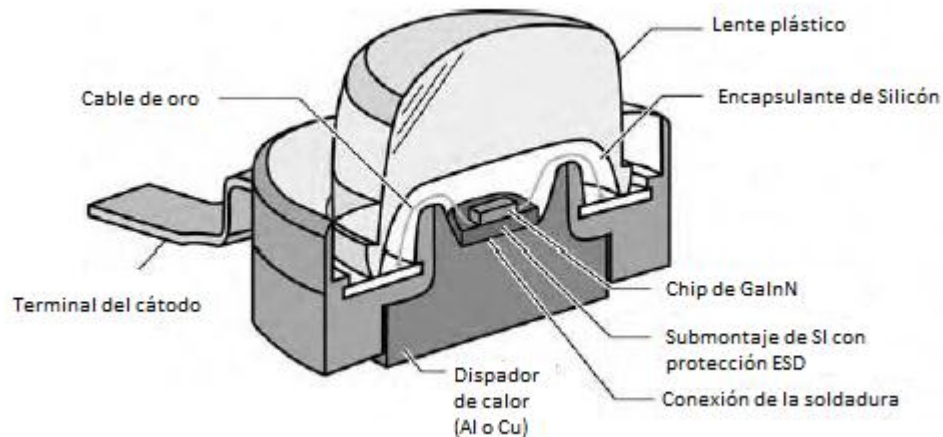
Material semiconductor	Color generado
Aluminio Arseniuro de Galio (AlGaAs)	Rojo e infrarojo
Aluminio Fosfato de Galio (AlGaP)	Verde
Aluminio Galio Fosfato de Indio (AlGaInP)	Naranja brillante, naranja, amarillo
Aluminio Nitrato de Galio (AlGaN)	Cercano al ultravioleta
Nitrato de Aluminio (AlN)	Cercano al ultravioleta
Diamante (C)	Ultravioleta
Galio Fosfato de Arsénico (GaAsP)	Naranja brillante, naranja, amarillo
Fosfato de Galio (GaP)	Rojo, amarillo, verde
Nitrato de galio (GaN) con barrera cuántica de AlGaN	Azul, blanco

Indio Nitrato de Galio (InGaN)	Verde azulado, azul, ultravioleta cercano
Safiro (Al ₂ O ₃) como sustrato	Azul
Silicio (Si) como sustrato	Azul
Carburo de Silicio (SiC)	Azul
Seleniuro de Zinc (ZnSe)	Azul

A diferencia de otros elementos usados para la iluminación, los LED emiten luz en un rango del espectro electromagnético limitado, como resultado la luz es más pura y son más eficientes.

La construcción de un LED de potencia se observa en la Figura 15. Entre otros aspectos se denota la conexión mecánica de la estructura eléctrica con el disipador de calor, indispensable para evitar que el dispositivo sufra daños irreparables por calentamiento.

Los LED de alta luminosidad manejan grandes potencias eléctricas, esta característica hace que sean ineficientes si se construye un único dispositivo para manejar toda la potencia eléctrica, razón por la cual normalmente se construyen utilizando varios módulos LED contenidos en el mismo empaquetado.



Fuente: Light-Emitting Diode, 2nd Edition. Fred Schubert, 2006. Modificado.

Figura 15: Estructura de un LED de potencia.

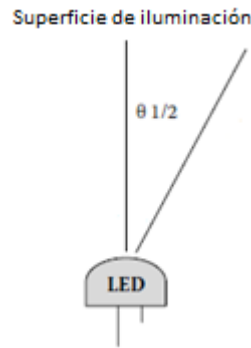
Los LED pueden emitir luz en diversos patrones, estos patrones dependen de la combinación entre el lente y el reflector, los reflectores pueden ser de formas variadas y se seleccionan en concordancia con el efecto lumínico que se desea observar; los LED normalmente se colocan en el foco del reflector para aprovechar la luz que no se dirige hacia la superficie a iluminar. En el caso de este trabajo de investigación se hará énfasis en el patrón de emisión de Lambert. En la Figura 16 se observan distintos tipos de óptica para LED.

Muchas veces el ángulo de emisión de un LED es muy amplio para la aplicación en la cual será usado. Este ángulo se denota como “ángulo medio” y se representa como $\theta/2$, esta es la mitad del ángulo total de emisión de luz del elemento en cuestión, en la Figura 17 se puede observar la forma de emisión de luz de un LED con óptica de patrón de Lambert.



Fuente: http://www.intra-lighting.com/lens_for_power_led.aspx.

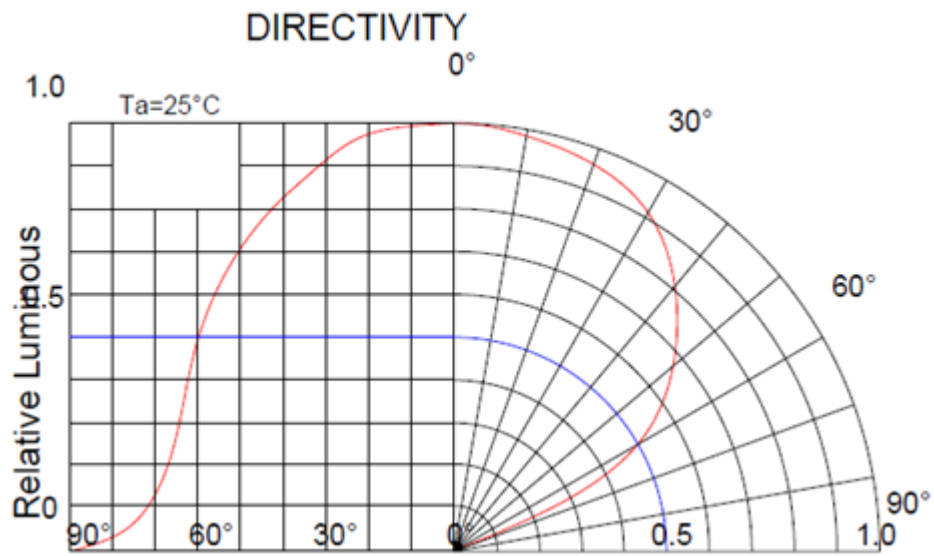
Figura 16: Algunas ópticas disponibles para luminarias LED.



Fuente: Introduction to Light Emitting Diode Technology and Application de Hilbert Held.
Modificado.

Figura 17: Ángulo de emisión de un LED.

El ángulo medio indica el punto en el que la luminosidad relativa es el 50% de la luminosidad relativa respecto a la luminosidad relativa emitida por el LED en su eje concéntrico, para una mejor comprensión se presenta la Figura 18. En la figura 18 se observa una curva en color rojo, la cual denota la luminosidad relativa en todo ángulo de emisión del dispositivo, ahí se observa que la mayor intensidad de luz se encuentra en el ángulo 0° , siendo este el ángulo correspondiente al eje de dirección del LED. Es importante destacar que se toma ese punto de luminosidad relativa debido a que se considera que la intensidad luminosa disminuye lo suficiente como para que a igual distancia de iluminación frontal, su contribución a la iluminación de la superficie se considere despreciable.



Fuente: Hoja de datos del LED HEBEI 3VAC9CW6.

Figura 18: Directividad de un LED de potencia con patrón de emisión de Lambert.

CAPÍTULO III: EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN CONVENCIONAL

3.1. CONFORMACIÓN DEL SISTEMA

Los sistemas de iluminación convencionales utilizados en los avisos publicitarios están conformados por una etapa de iluminación, según la aplicación, pueden ser luminarias fluorescentes, incandescentes o LED. Se diseñan para iluminar una superficie con un factor de reflectividad de al menos 80%, a una temperatura correlacionada de Color que esté por el orden de los 4000 °K.

Estos consisten de un control de encendido que se encarga de interrumpir el paso de energía eléctrica hacia las luminarias de la valla publicitaria y el elemento sensor de luz, el cual se encarga de determinar cuándo encender o apagar las luminarias. No necesitan de métodos complicados de alimentación ya que toman la energía eléctrica del S.E.N. y la entregan a las luminarias. Sin embargo, poseen temporizadores para controlar el tiempo y el horario de encendido de las luminarias.

Una parte muy importante de los sistemas de iluminación para avisos luminosos convencionales son las luminarias basadas en lámparas de halogenuros metálicos **HID** o lámparas fluorescentes, las cuales. Deben ser seleccionadas las que tengan un buen índice de reproducción cromática. En una luminaria HID el IRC se encuentra en rangos que van del 65% al 93%, en la Figura 19 se observa un modelo de luminaria basada en lámparas HID de potencia 400W y voltaje de trabajo 220V, utilizada en diferentes aplicaciones, entre ellas la iluminación de avisos publicitarios.



Fuente: www.almacenesmarriott.com.

Figura 19: Lámpara HID con protección contra intemperie.

La luminaria mostrada está protegida contra los factores climáticos ambientales. Como se puede observar, las luminarias HID más usadas tienen una superficie posterior reflectora realizada en aluminio la cual puede tener dos acabados, uno totalmente liso y el otro con una superficie rugosa. La finalidad de los acabados de las superficies reflectoras es emitir un haz de luz altamente direccional o más disperso respectivamente.

De ambos métodos de reflexión el más usado es el de superficie rugosa ya que su finalidad es emitir un haz de luz más amplio para cubrir la mayor área posible. Otro aspecto a destacar es la forma parabólica de la superficie reflectiva, con la que se busca dirigir el haz de luz hacia el frente de manera para mantener el haz de luz en un ángulo de difusión menor a 60° .

Las desventajas de las luminarias HID son que las mismas son sumamente delicadas al tacto debido a que la electricidad estática puede dañar los bulbos fácilmente, la otra desventaja es que un 80% de la potencia entrante es disipada en forma de calor.

3.2. SISTEMA DE ILUMINACIÓN CONVENCIONAL VS. SISTEMA DE ILUMINACIÓN ALTERNATIVO

La principal ventaja del sistema de iluminación convencional es que se hace innecesaria la instalación de equipos adicionales más allá del control de encendido y el interruptor de potencia necesario para encender las luminarias. Haciendo un análisis de las luminarias, las lámparas HID cuentan con un buen IRC, el tipo de luz emitida por estas tiene una buena TCC, así como una relativamente alta eficiencia energética si se les compara con otros métodos de iluminación con lámparas de naturaleza incandescente. Por otro lado, presentan a su vez una vida útil relativamente corta, lo cual incrementa los costos de mantenimiento del sistema.

Los sistemas de iluminación alternativos cuentan con bloques generadores de energía eléctrica, los cuales pueden ser sistemas de generación eólica o solar, bancos de baterías necesarios para el almacenaje de la energía obtenida del bloque de generación, elementos de control de carga del banco de baterías, detectores de niveles de penumbra y el bloque de iluminación, el cual puede estar compuesto por luminarias de tecnología fluorescente o LED, estos sistemas por lo general tienen costos de instalación que superan con creces la instalación de un sistema de iluminación convencional. Sin embargo, sus costos de mantenimiento son relativamente bajos si se le compara con los costos de mantenimiento de los sistemas de iluminación convencional. Otro factor a tomar en cuenta en la instalación de sistemas de iluminación alternativos es su mayor vida útil, debido a la baja cantidad de elementos móviles.

Un factor importante a tomar en cuenta al momento de tomar la decisión de elegir uno u otro sistema de iluminación es que como el sistema de iluminación alternativo cuenta con su propio sistema de generación de energía eléctrica, se hace

innecesaria la instalación de acometidas eléctricas desde el sistema de distribución principal hasta el área en la que se encuentre instalado el aviso luminoso.

CAPÍTULO IV: EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN A IMPLEMENTAR

4. COMPOSICIÓN DEL SISTEMA

El diseño de un sistema de iluminación utilizando energía alternativa debe ser realizado tomando en cuenta que debe ser autosuficiente y contar con medios de iluminación que permitan obtener una visión suficientemente clara de la publicidad a destacar.

Los sistemas de iluminación para vallas publicitarias deben contar con varios módulos. Similares a los sistemas fotovoltaicos usados para proveer de energía eléctrica a casas aisladas de los sistemas de distribución convencionales, con la diferencia de que la carga está conformada por las luminarias. A continuación se describen las distintas etapas de un sistema de iluminación para avisos luminosos:

- Etapa de generación: está conformada por los paneles solares.
- Etapa de control: es la etapa encargada de la regulación de la energía eléctrica transferida de los paneles solares hacia el banco de baterías, medir el nivel de carga del banco de baterías y controlar el paso de energía eléctrica hacia la carga constituida por las luminarias.
- Etapa de almacenamiento de energía: constituida por el banco de baterías, debe estar dimensionado para cumplir con los requerimientos energéticos del sistema.
- Etapa de iluminación: debe estar dimensionada para proveer el nivel lumínico necesario para mantener perfectamente visible la valla publicitaria.

4.1.1. Bloque de Generación

Con el fin de contar con un buen margen de diseño, se dimensiona el sistema de potencia para un consumo de corriente de 1A para un consumo total de 4A y 12V de alimentación, sumado a 0,5A de consumo de la etapa de control, también alimentada a 12V, lo cual da un consumo total de 4,5A a 12V, necesiéndose entonces un suministro de potencia total de 56W.

Este bloque está compuesto por 4 paneles solares NUMEN DSM 150/12, contruidos a base de silicio monocristalino y permitirá cumplir con los requerimientos energéticos del sistema. Dichos paneles se pueden observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

4.1.2. Bloque de Control del Sistema de Iluminación

El bloque de control es el encargado del correcto funcionamiento del sistema de iluminación. Está basado en el cargador de baterías diseñado por el Ingeniero Electricista Simón Arrieta³, además, cuenta con un sensor de nivel de iluminación para encender las luminarias cuando las condiciones lumínicas ambientales sean las adecuadas. También se cuenta con un puerto de comunicación, diseñado para futuras aplicaciones, las cuales incluirán control de funcionamiento a distancia, además de enviar información sobre el estado del sistema a un servidor remoto.

4.1.3. Etapa de Almacenamiento de Energía

Debe ser capaz de almacenar toda la energía necesaria para alimentar al módulo de control y las luminarias durante el período de baja intensidad lumínica. Es importante acotar que un buen sistema de almacenamiento de energía eléctrica mediante baterías de ciclo profundo debe estar diseñado para tener una profundidad de descarga máxima del 50% de la energía almacenada, todo esto con el fin de aprovechar en mayor medida la vida útil del banco de baterías.

4.1.4. Etapa de Iluminación

La luminaria debe cumplir con especificaciones, referidas al grado de protección contra los elementos ambientales, como los gases residuales y la lluvia.

Generalmente, se utilizan los estándares de protección ANSI/IEC 60529-2004, los cuales hablan de los niveles de protección necesarios en sistemas de acuerdo al ambiente de colocación de los mismos. En la Figura 18 se presenta la forma de denotar la especificación IP de un producto.

IP-XXX

Figura 18: Forma de denotar los estándares de protección IP.

Fuente: http://www.tec-mex.com.mx/material/IP_Y_NEMA.pdf.

La forma de interpretar los grados de protección IP es la siguiente: las letras IP vienen de la frase en idioma inglés “International Protection”, van separadas por

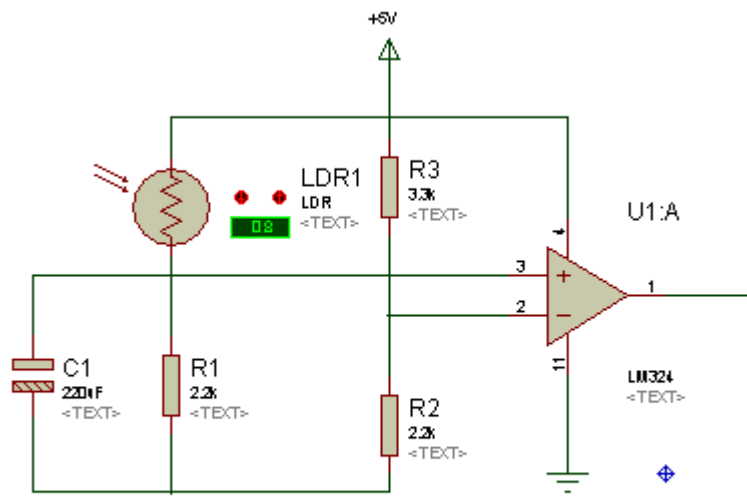
un gui3n del c3digo num3rico que indica el grado de protecci3n del dispositivo. El c3digo num3rico indica con la lectura del primer n3mero el grado de protecci3n contra los s3lidos, mientras el segundo n3mero indica el grado de protecci3n contra l3quidos. Por 3ltimo, se destaca que el c3digo de protecciones IP incluye un tercer n3mero, el cual indica el grado de protecci3n contra impactos. Generalmente este n3mero se omite en la clasificaci3n presentada por las luminarias usadas en iluminaci3n exterior.

Entonces, el grado de protecci3n de cualquier tipo de luminaria con la que se pretenda iluminar en exteriores, como la que se debe usar en el sistema de iluminaci3n para vallas publicitarias, debe ser al menos IP-65, mediante lo cual se garantiza que las luminarias estar3n protegidas contra lluvias fuertes y la contaminaci3n ambiental.

La etapa de iluminaci3n se desarroll3 con luminarias LED. Para ello se utilizan carcasas de las l3mparas de 150W HID modificadas, adem3s de 1 LED de potencia HEBEI, modelo HB-10VAL12HW6C. Las dimensiones se observan en la figura 24.

4.1.5. El sensor de iluminaci3n

El sensor de iluminaci3n fue implementado para determinar cuando el nivel de iluminaci3n ambiental alcanza un umbral de iluminaci3n de 50 lux. El mismo fue implementado con un comparador de voltaje, el cual en uno de sus terminales de comparaci3n se encuentra conectada una fotorresistencia. El comparador est3 calculado para conmutar a un nivel de iluminaci3n de 100 lux. En la Figura 20 se observa el diagrama esquem3tico correspondiente.



Fuente: Propia.

Figura 20: Diagrama esquemático del medidor de iluminación.

CAPÍTULO V: DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El sistema de iluminación implementado fue pensado como un sistema modular, de manera que de haber una falla en alguno de sus módulos, este pueda ser remplazado sin comprometer el funcionamiento de los módulos restantes. Se presenta el diseño en forma secuencial con el fin de mostrar en orden los pasos necesarios para llegar a un sistema funcional.

5.1. ILUMINACIÓN

Debido a que las luminarias utilizadas en sistemas de este tipo deben propagar la luz en la mayor área, manteniendo la mayor uniformidad de iluminación posible, se desarrolló la luminaria utilizando diodos emisores de luz, teniendo como ventajas el alto flujo luminoso por tamaño del elemento, robustez mecánica y tamaño compacto. El primer aspecto a tomar en cuenta para el desarrollo de las luminarias fue el contar con elementos de fácil disponibilidad en el mercado nacional, siendo entonces la mejor opción de compra en la cantidad requeridas los LEDs HEBEI.

El diseño eléctrico de las luminarias se realizó de manera que los LEDs usados para iluminación trabajen con una potencia del 80% de la nominal, con lo cual se resuelven problemas de disipación de calor en los mismos. Una vez analizadas las diversas opciones para el diseño de la luminaria se seleccionaron los siguientes elementos debido a que a partir de estos se diseña el sistema fotovoltaico.

- LEDs de color blanco fresco (frio) y potencia nominal 10W, del fabricante HEBEI, modelo 10VAL12HW6C.
- Controlador para fuentes conmutadas LM2577-ADJ, del fabricante TEXAS INSTRUMENTS.
- Carcasas para luminarias de 150W HID.

Además de las razones económicas y de disponibilidad de los elementos emisores de luz, fue necesario considerar otro factor para la selección. Debido a la sensibilidad del ojo humano en horarios nocturnos, el tipo de LED seleccionado emite luz blanca con un rango de TCC que varía entre los 4000K y 7000K, similar al tipo de iluminación estándar usado en vallas publicitarias. Se destaca también que los LEDs usados tienen un patrón de iluminación de Lambert con un ángulo θ 1/2 típico de 60°.

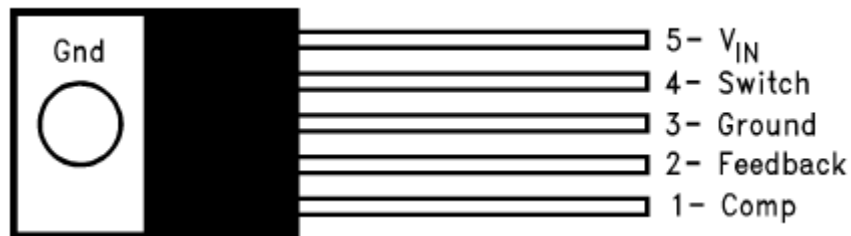
El primer paso consistió en preparar la carcasa de la luminaria HID para acoplar el LED con el fin de lograr el mayor flujo luminoso posible por elemento construido. Para esto se utilizaron dos disposiciones, una con un diodo y otra con dos diodos. Se descartó la opción de 2 LED debido al calentamiento excesivo de la lámpara y posterior recalentamiento de la luminaria, teniendo como consecuencia una degradación muy marcada en sus características de funcionamiento eléctrico y lumínico en un intervalo de funcionamiento de menos de 20 minutos. Se procedió al ensamblaje de la luminaria utilizando un LED, con resultados satisfactorios de funcionamiento.

5.1.1. Diseño Eléctrico

El diseño de la luminaria fue realizado de manera que pueda ser conectada a cualquier fuente de tensión DC regulada entre 10V y 12V y los LED pertenecientes a la misma mantengan un suministro constante de voltaje.

El regulador conmutado LM2577T-ADJ de National Semiconductor con empaquetado TO-220 se encuentra visible en la Figura 21, sus principales características son las siguientes:

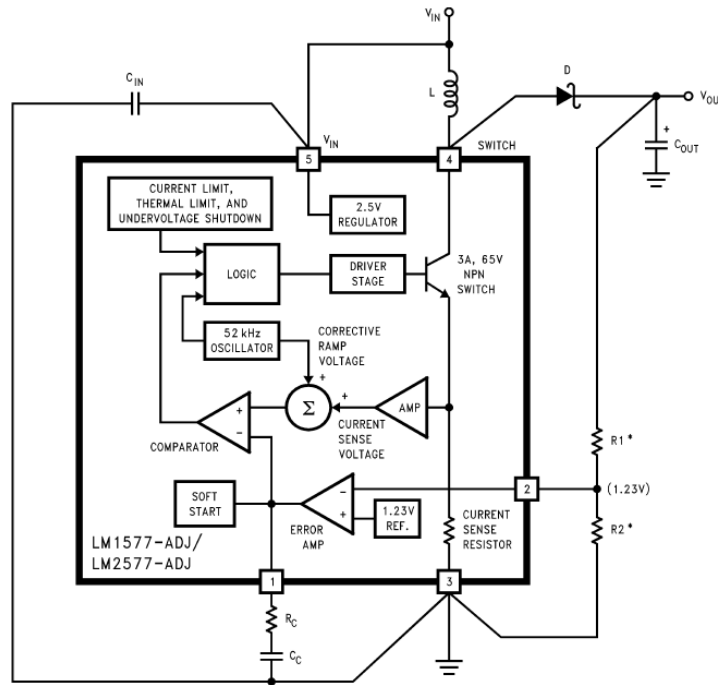
- Voltaje de alimentación ajustable entre 3,5V y 40V DC.
- Voltaje de salida máximo de 65V DC (versión ajustable).
- Corriente soportada por el transistor interruptor de hasta 3A.
- Solo se requieren 8 componentes externos para correcto funcionamiento.
- Oscilador interno de frecuencia nominal de trabajo 52KHz \pm 10%.
- Regulado internamente contra sobrecargas.
- Apagado automático por sobrecalentamiento.
- Eficiencia máxima del 80%.



Fuente: National Semiconductor.

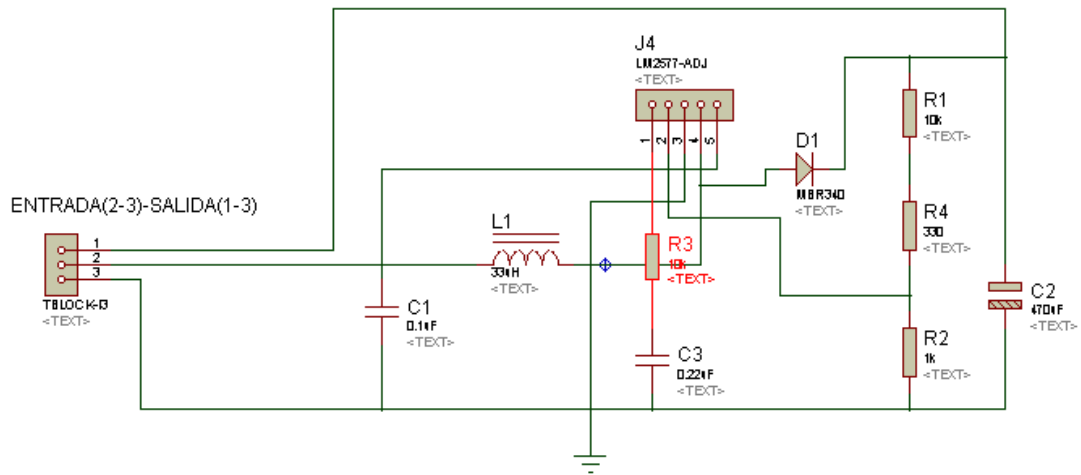
Figura 21: Controlador para fuente conmutada LM2577T-ADJ.

La Figura 22 muestra el diagrama de bloques interno del regulador LM2577T-ADJ, además de las conexiones necesarias para su correcto funcionamiento como regulador elevador. Se observa además que el regulador posee una rama de compensación comprendida por el condensador C_C y R_C . El controlador también posee sensor de corriente interno, arranque suave, y la lógica de control de funcionamiento.



Fuente: National Semiconductor.

Figura 22: Diagrama de bloques del regulador de voltaje interno de la lámpara.



Fuente: Propia.

Figura 23: Diagrama esquemático del regulador de voltaje interno de la lámpara.

Como se observa en la Figura 23, el sistema regulador de la luminaria desarrollada cuenta con el elemento controlador y los elementos necesarios para su funcionamiento. La protección funciona de manera que cuando el circuito de protección interna del controlador detecta sobrecarga o sobrecalentamiento, automáticamente disminuye la frecuencia de oscilación, de esa manera disminuye el ciclo de trabajo de la fuente y por lo tanto disminuirá el valor promedio de la corriente de salida, enfriándose y disminuyendo la probabilidad de destrucción por alguna falla eléctrica.

Para la realización de los cálculos de los elementos a usar en la construcción de los reguladores de las luminarias se definieron las siguientes variables, las cuales fueron extraídas de las hojas de datos de los elementos utilizados y de los voltajes estándar de la tecnología de batería utilizada:

- f_c : Frecuencia de trabajo del regulador.

- $V_{entmín}$: Voltaje de alimentación mínimo de la luminaria, establecido en 9,5V, determinado por el voltaje mínimo de la batería y la caída de voltaje en los interruptores de estado sólido.
- $V_{entmáx}$: Voltaje de alimentación máximo de la luminaria, determinado por el voltaje de la batería cuando se encuentra totalmente cargada, siendo este aproximadamente de 12,5V.
- V_{sal} : Voltaje de salida del regulador de voltaje de la luminaria, siendo determinado por el voltaje nominal de trabajo de los LEDs y establecido en 14V.
- V_{sat} : Voltaje de saturación del transistor de conmutación del regulador de voltaje de la luminaria, establecido en 0,6V.
- V_f : Voltaje de conducción del diodo shottky, establecido en 0,8V.
- R_1 : Resistencia de polarización de referencia, establecida en $1K\Omega$.
- I_{cont} : Corriente de trabajo del controlador.
- I_s : Corriente de salida máxima del regulador de voltaje de la luminaria, establecida en 1A.

Para el cálculo de los parámetros de funcionamiento del regulador de voltaje de la lámpara desarrollada se obtuvieron las ecuaciones que representan los parámetros de salida de un convertidor DC-DC elevador de voltaje, los cálculos se presentan a continuación. Los cálculos realizados a continuación fueron realizados usando los parámetros previamente definidos.

- Cuando el interruptor del controlador está activo:

$$I_L(t) = \frac{V_{ent} - V_{sat}}{L} \cdot ton \Rightarrow ton = \frac{I_L(t) \cdot L}{V_{ent} - V_{sat}} \quad (5.1)$$

- Cuando el interruptor del controlador está inactivo:

$$I_L(t) = \frac{V_{sal} + V_d - V_{ent}}{L} \cdot t_{off} \Rightarrow t_{off} \quad (5.2)$$

$$= \frac{I_L(t) \cdot L}{V_{sal} + V_d - V_{ent}}$$

- El controlador viene limitado en cuando a la potencia que puede entregar y esta se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$I_{sm\acute{a}x} \leq \frac{2,1A \cdot V_{entmin}}{V_{sal}} \quad (5.3)$$

- El voltaje de salida del regulador se establece mediante la siguiente ecuación, usando $R1 = 1K\Omega$ y $R2 = 10K\Omega + 330\Omega$:

$$V_{sal} = 1,23V \cdot \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \quad (5.4)$$

$$V_{sal} = 13,93V$$

con los parámetros seleccionados, la corriente máxima que puede entregar el dispositivo será igual a 1,58A.

- La variación de V_{sal} será:

$$\begin{aligned}
 V_{vsal} &= \pm \left| \frac{d}{dV_{ref}} \left(V_{ref} \cdot \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) \right) \cdot \frac{V_{vref}}{V_{ref}} \right| \\
 &\quad + \left| \frac{d}{dR2} \left(V_{ref} \cdot \left(1 + \frac{R2 + R3}{R1} \right) \right) \cdot \frac{VR2}{R2} \right| \\
 &\quad + \left| \frac{d}{dR3} \left(V_{ref} \cdot \left(1 + \frac{R2 + R3}{R1} \right) \right) \cdot \frac{VR3}{R3} \right| \\
 &\quad + \left| \frac{d}{dR3} \left(V_{ref} \cdot \left(1 + \frac{R2 + R3}{R1} \right) \right) \cdot \frac{VR3}{R3} \right| \\
 &= \pm 9,23mV
 \end{aligned} \tag{5.5}$$

- El ciclo de trabajo es, considerando que la variación de $I_L(t)$ es igual en el tiempo de carga y en el tiempo de descarga:

$$CT = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{V_{sal} + V_d - V_{ent}}{V_{ent} - V_s} \cdot 100\% \tag{5.6}$$

y como varía según cambia el voltaje de la batería, el cual variará entre 10,5V después de 20 horas de descarga y 13,2V cuando está totalmente cargada, el CT variará entre 40,76% y 22,25% respectivamente. La mayor variación del ciclo de trabajo se da para el voltaje mínimo de entrada en función de la tolerancia de los parámetros usados y viene dada por la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
error = \pm & \left(\left| \frac{d}{dV_{sal}} \left(\frac{V_{sal} + V_d - V_{ent}}{V_{ent} - V_{sat}} \right) \cdot \frac{V_{V_{sal}}}{V_{sal}} \right| \right. \\
& + \left| \frac{d}{dV_d} \left(\frac{V_{sal} + V_d - V_{ent}}{V_{ent} - V_{sat}} \right) \cdot \frac{V_{V_d}}{V_d} \right| \\
& + \left| \frac{d}{dV_{ent}} \left(\frac{V_{sal} + V_d - V_{ent}}{V_{ent} - V_{sat}} \right) \cdot \frac{V_{V_{ent}}}{V_{ent}} \right| \\
& \left. + \left| \frac{d}{dV_{sat}} \left(\frac{V_{sal} + V_d - V_{ent}}{V_{ent} - V_{sat}} \right) \cdot \frac{V_{V_{sat}}}{V_{sat}} \right| \right) \\
& \cdot 100\% = \pm 2,58\%
\end{aligned} \tag{5.7}$$

como el período de carga y descarga de la bobina es de 19,23μs, entonces los tiempos de encendido máximo y apagado mínimo del interruptor serán:

$$45,98\% = \frac{ton}{ton + toff} \cdot 100\% = \frac{ton}{\frac{1}{52KHz}} \cdot 100\% \tag{5.8}$$

$$\Rightarrow ton = 7,84\mu s \text{ y } toff = 11,39\mu s$$

las variaciones por las tolerancias de los parámetros usados serán:

$$error(ton) = \pm \left| \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{f_c} \cdot ton \right) \cdot \frac{V_{f_c}}{f_c} \right| = \pm 11,15 \cdot 10^{-21} s \tag{5.9}$$

$$\begin{aligned}
error(toff) = \pm & \left| \frac{d}{df_c} \left(\frac{1}{f_c} - ton \right) \cdot \frac{V_{f_c}}{f_c} \right| \\
& + \left| \frac{d}{dton} \left(\frac{1}{f_c} - ton \right) \cdot \frac{V_{ton}}{ton} \right| \\
& = \pm 1,42 \cdot 10^{-15} s
\end{aligned} \tag{5.10}$$

a partir de estos parámetros se puede encontrar el valor de la bobina a usar:

$$L_{mín} = \frac{V_{entmín} - V_{sat}}{IL} \cdot ton = 69,44\mu H \quad (5.11)$$

$$\begin{aligned} errorL_{mín} &= \pm \left(\left| \frac{d}{dV_{entmín}} \left(\frac{V_{entmín} - V_{sat}}{IL} \cdot ton \right) \right. \right. \\ &\quad \cdot \left. \left. \frac{V_{v_{entmín}}}{V_{entmín}} \right| \right. \\ &\quad + \left| \frac{d}{dV_{sat}} \left(\frac{V_{entmín} - V_{sat}}{IL} \cdot ton \right) \cdot \frac{V_{vsat}}{V_{sat}} \right| \\ &\quad + \left| \frac{d}{dIL} \left(\frac{V_{entmín} - V_{sat}}{IL} \cdot ton \right) \cdot \frac{V_{IL}}{IL} \right| \\ &\quad + \left. \left| \frac{d}{dton} \left(\frac{V_{entmín} - V_{sat}}{IL} \cdot ton \right) \cdot \frac{V_{ton}}{ton} \right| \right) \\ &= \pm 2,99\mu H \end{aligned} \quad (5.12)$$

el valor de la bobina calculado debe ser transformado a un valor normalizado, sin embargo, por razones de disponibilidad de los proveedores nacionales se seleccionó por razones de disponibilidad en el mercado nacional la bobina BOURNS 2307-H de $33\mu H \pm 15\%$ y $11,7A$, con la cual se podría obtener una corriente máxima $IL_{máx}$ de $2,35A$, sin embargo, el controlador debido a su limitación interna de potencia no permitirá que la corriente llegue a tal máximo en caso de que la carga lo solicite, ahora se procede a calcular la corriente al finalizar el tiempo de descarga:

La corriente máxima permitida por el controlador viene dada por la ecuación

$$IL_{máx} \leq \frac{2,1A \cdot V_{entmín}}{V_{sal}} = 1,58A \quad (5.13)$$

$$I_{final} = IL_{máx} - \frac{V_{sal} + V_d - V_{entmín}}{L_n} \cdot toff = 0,91A \quad (5.14)$$

Siendo esta la corriente máxima que permitirá el regulador de la luminaria antes de comenzar protegerse por sobrecarga. La corriente manejada por el circuito regulador se supone máxima a 1A. Para el cálculo del disipador de potencia a utilizar con el controlador se utiliza la relación aproximada provista por el fabricante, siendo esta:

$$PD = 0,25\Omega \cdot \left(\frac{I_s}{1 - CT_{m\acute{a}x}} \right)^2 \cdot CT_{m\acute{a}x} + \frac{I_s \cdot CT_{m\acute{a}x} \cdot V_{entm\acute{i}n}}{50 \cdot (1 - CT_{m\acute{a}x})} = 0,88W \quad (5.15)$$

y la temperatura máxima que alcanza la unión del dispositivo controlador sería entonces, suponiendo que el peor caso de funcionamiento se presenta cuando la temperatura ambiente igual a 50°C

$$Ti - Ta = PD \cdot R_{\theta UA} = 107^\circ C \quad (5.16)$$

Relación de la cual se determina que el controlador del regulador se puede colocar sin disipador debido a que la temperatura alcanzada no supondrá daño considerable al dispositivo a mediano plazo. Los parámetros descritos en la relación son:

- I_s : Corriente de alimentación de la lógica interna del controlador.
- I_{carga} : Corriente de la carga conectada al sistema.
- PD: Potencia disipada por el dispositivo.
- V_{int} : Voltaje de trabajo de la lógica interna del regulador.

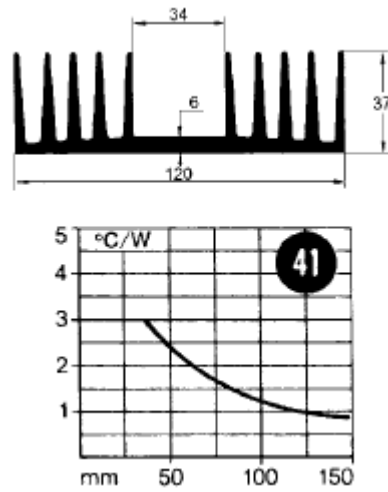
- V_{sal} : Voltaje de salida de la fuente.
- V_{sat} : Voltaje de saturación del transistor interno del controlador.
- T_i : Temperatura interna máxima alcanzada por el dispositivo.
- T_a : Temperatura ambiente máxima.
- $R_{\theta LA}$: Resistencia térmica entre el interior del controlador y el ambiente.

5.1.1.1. Disipación de calor en el LED

La utilización de los LED HEBEI 10VAL12HW6C presenta un problema de generación de calor dentro de la luminaria debido a sus características de funcionamiento y al espacio reducido en el cual se encuentra confinado. Debido a la imposibilidad de colocar un disipador que se adapte adecuadamente a la estructura interna de la luminaria sin interferir con la emisión del haz luminoso, se tuvo la necesidad de realizar un corte de la carcasa en su parte posterior con el fin de colocar un disipador al cual fijar directamente el LED. El cálculo del disipador se presenta a continuación para un incremento de temperatura máximo de 25°C.

$$\frac{50^{\circ}-25^{\circ}}{8,4W} = 2,94 \frac{^{\circ}C}{W} \approx 3^{\circ}C/W \quad (5.17)$$

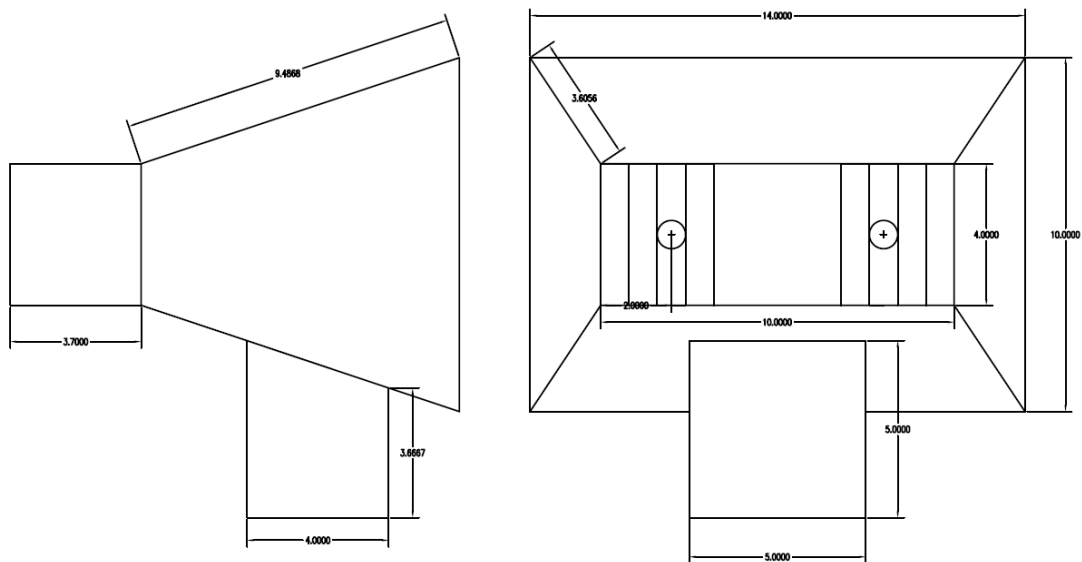
En la Figura 24 se muestra el disipador seleccionado para la colocación en las luminarias.



Fuente: Diseño de equipo electrónico 2da Edición, J.M. Milá de la Roca.

Figura 24: Disipador de calor para la luminaria LED.

En la Figura 25 se puede observar la construcción de la luminaria desarrollada.



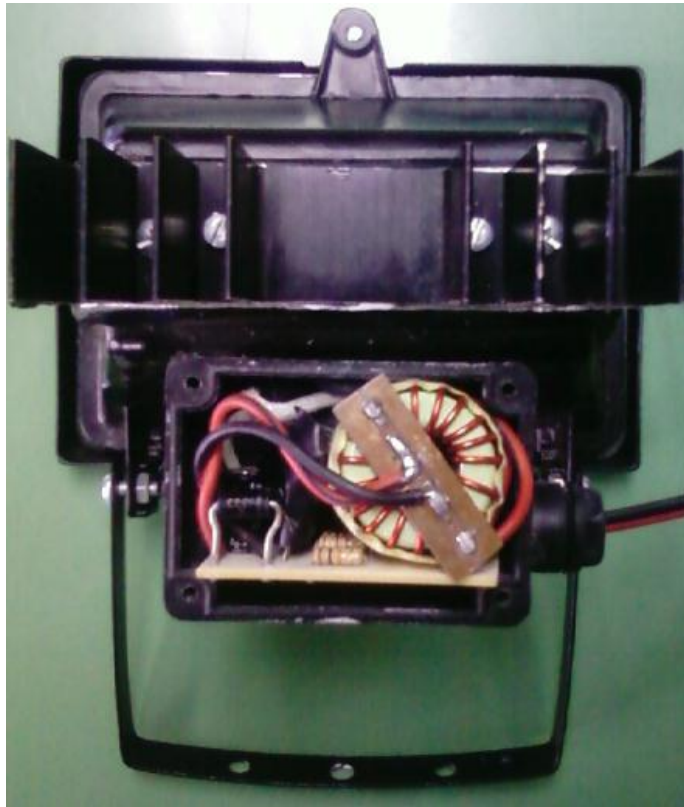
Fuente: Propia.

Figura 25: Plano simplificado de construcción de la luminaria desarrollada. Medidas en cm.



Fuente: Propia.

Figura 26: Vista frontal de la luminaria desarrollada.



Fuente: Propia.

Figura 27: Vista posterior de la lámpara desarrollada.

Otro aspecto a destacar es la potencia total disipada por la luminaria desde la conexión al sistema regulador principal, destacándose que para la conexión de cada lámpara se usaron 5 metros de cable número 12 AWG protegido con aislamiento para lluvia y soporte de temperatura hasta 105 °C, el cual posee una resistencia de 26,15 Ω /Km, dando esto una potencia disipada en el cableado de conexión externo de:

$$P_c = I_{lum}^2 \cdot R_{cable} \quad (5.18)$$

P_c : Potencia disipada por el cableado.

I_{lamp} : Corriente requerida por la lámpara.

R_{cable} : Resistencia del cable.

y $R_{cable} = 0,005\text{Km} \cdot 26,15 \Omega/\text{Km} = 0,13\Omega$, entonces la potencia disipada por el cableado de conexión será:

$$P_C = 0,57^2 \cdot 0,13\Omega = 65,54\text{mW}$$

La potencia total promedio requerida por la circuitería de la lámpara viene dada por la potencia disipada por los LEDs más la potencia total requerida por el regulador, ahora, la potencia requerida por los LEDs es:

$$P_{LEDs} = 1 \cdot 13,93\text{V} \cdot 710\text{mA} = 7,94\text{W} \quad (5.19)$$

La potencia total promedio disipada por el circuito regulador de voltaje de la lámpara viene dado por la siguiente relación:

$$P_{reg} = V_{ent} \cdot I_s + \frac{V_{sal}}{V_{ent}} \cdot I_{carga} \cdot V_{sat} + \frac{V_{sal}^2}{R_2 + R_1 / R_{FB}} \quad (5.20)$$

Donde $R_{FB} = 9,7\text{k}\Omega$ y es la resistencia de entrada del pin de realimentación del regulador.

$$\begin{aligned} P_{reg} &= 12\text{V} \cdot 14\text{mA} + \frac{14,5\text{V}}{12\text{V}} \cdot 1,4\text{A} \cdot 0,8\text{A} + \frac{14,5\text{V}^2}{10,85\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega // 9,7\text{k}\Omega} \\ &= 1,53\text{W} \end{aligned}$$

en tanto que la potencia requerida por el regulador para funcionamiento interno fue calculada anteriormente, entonces la potencia total requerida por la lámpara viene dada por la siguiente ecuación:

$$P_{lum} = P_C + P_{reg} + P_{LEDs} \quad (5.21)$$

$$P_{lum} = 74,1mW + 1,53W + 7,94W = 9,54W$$

siendo esta la potencia total consumida por cada luminaria, así que la eficiencia de cada luminaria será de:

$$\eta = \frac{7,94W}{9,54W} = 83,22\% \quad (5.22)$$

5.1.2. Diseño de Iluminación

El diseño de una luminaria HID regular cuenta con un elemento emisor de luz de forma tubular el cual emite en un ángulo de 360 grados a través de toda la sección tubular, necesitando un reflector capaz de aprovechar el rango de emisión, para esto se utiliza un reflector interno construido en forma de parábola y se ubica el elemento emisor en el punto focal del reflector como se muestra en la . Para los elementos emisores de luz de tecnología LED se usan reflectores curvos o lentes concentradores si se hace necesario cerrar el ángulo de emisión. Sin embargo, en el caso de esta investigación se desea iluminar un área grande con pocas luminarias, razón por la cual no se usaron lentes concentradores.



Fuente: Manual de luminotecnica para interiores de Carlos Lazlo.

Figura 28: Haces de luz redirigidos por un reflector parabólico

5.2. BLOQUE DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Una vez realizado el diseño de la luminaria a utilizar y haber establecido en tres la cantidad de luminarias a utilizar se procede a calcular la carga total en Wh del sistema. Se consideró un factor de ajuste por temperatura de 1,15 por disminución de la capacidad de almacenaje del bloque. El **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra los cálculos asociados al diseño del bloque de almacenaje.

5.2.1. Análisis de carga

El análisis de carga se hizo de acuerdo a la norma para dimensionamiento de baterías usadas en sistemas fotovoltaicos “IEEE 1013-2000: Recommended Practice for Sizing Lead-Acid Batteries for Photovoltaic (PV) Systems”.

Se le otorgó al sistema una autonomía de tres (3) días con una carga de tres (3) luminarias. El análisis de carga y posterior selección del banco de baterías se observa en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

En este punto se debe tomar en cuenta el factor económico, para lo cual se seleccionó una batería SLI de uso vehicular comercial de 900Ah debido a que su costo es de alrededor de un quinto del costo de una batería de ciclo profundo comercial con las características requeridas para el funcionamiento del sistema, además, era la batería disponible al momento de realizar las pruebas. Como ventaja adicional, se tiene que a dicha batería se le da una profundidad de descarga máxima de 2,5% y de esa manera se evita disminuir en demasía la vida útil de la batería por descarga excesiva.

5.3. BLOQUE DE GENERACIÓN

Las dimensiones del bloque de generación son calculadas en base a la norma IEEE 1562-2007 “Guide for Array and Battery Sizing in Stand-Alone Photovoltaic Systems”. El panel solar marca Evergreen, modelo ES-A 205W fue seleccionado por su disponibilidad en el país, la hoja de datos con las características de funcionamiento del módulo se encuentra en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

La potencia total necesaria para el cálculo de la cantidad de paneles solares se puede estimar como sigue:

5.3.1. Número de paneles en serie

Para el cálculo de la cantidad de elementos en serie el primer punto a tomar en cuenta la disminución de tensión en sus terminales debido al incremento de temperatura, entonces:

$$V_{mp_{nva}} = V_{mp} + (TC_V \cdot (T_{nva} - 25^\circ\text{C})) = 18,2V - 0,4\% \cdot (50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) = 16,38V \quad (5.23)$$

$$N_S = \frac{V_{sis}}{V_{mód}} = \frac{12V}{16,38V} = 0,73 \approx 1 \quad (5.24)$$

Donde:

N_S : Número de paneles en serie.

V_{sis} : Tensión de trabajo del sistema.

$V_{mód}$: Tensión nominal del módulo solar.

5.3.2. Número de paneles en paralelo

De igual manera, para calcular la cantidad de módulos en paralelo de debe calcular la corriente corregida por temperatura, entonces:

$$I_{mp_{nva}} = I_{mp} + (TC_I \cdot (T_{nva} - 25^\circ\text{C})) = 11,93\text{A} - 0,03\% \cdot (50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) = 11,84\text{A} \quad (5.25)$$

$$N_p = \frac{L_{DA} \cdot A:L}{(1-SL) \cdot I_{mp} \cdot SH} = \frac{22,7\text{Ah} \cdot 1,4}{(1-0,2) \cdot 11,84\text{A} \cdot 5,5\text{h}} = 0,61 \approx 1 \quad (5.26)$$

Donde:

L_{DA} : Carga diaria promedio.

A:L: Es la relación Arreglo de paneles a carga.

SL: Pérdidas en el sistema.

I_{mp} : Corriente entregada por el panel a potencia máxima.

SH: Horas solares promedio diarias.

5.4. TARJETA DE CONTROL DE POTENCIA

La tarjeta de control de potencia, basada en el cargador de baterías diseñado por el Ingeniero Electricista Simón Arrieta, posee como interruptores de potencia los transistores MOSFET IRFZ44N, conectados de manera que puedan manejar la potencia proveniente del panel solar.

La tarjeta de potencia tiene una variación respecto al diseño original, que fue realizado para cargar completamente el banco de baterías después de una descarga profunda. La variación realizada consistió en disminuir la potencia que es capaz de manejar la tarjeta mediante la disminución de interruptores debido a que la carga utilizada provocará una profundidad de descarga no mayor al 2,5% en el banco de baterías, no siendo posible para este prototipo el aumento potencia para realizar profundidades mayores de descarga, debido a que el sistema de iluminación diseñado no necesita más energía para funcionar durante el período de tiempo en el cual el bloque de iluminación se encontrará encendido.

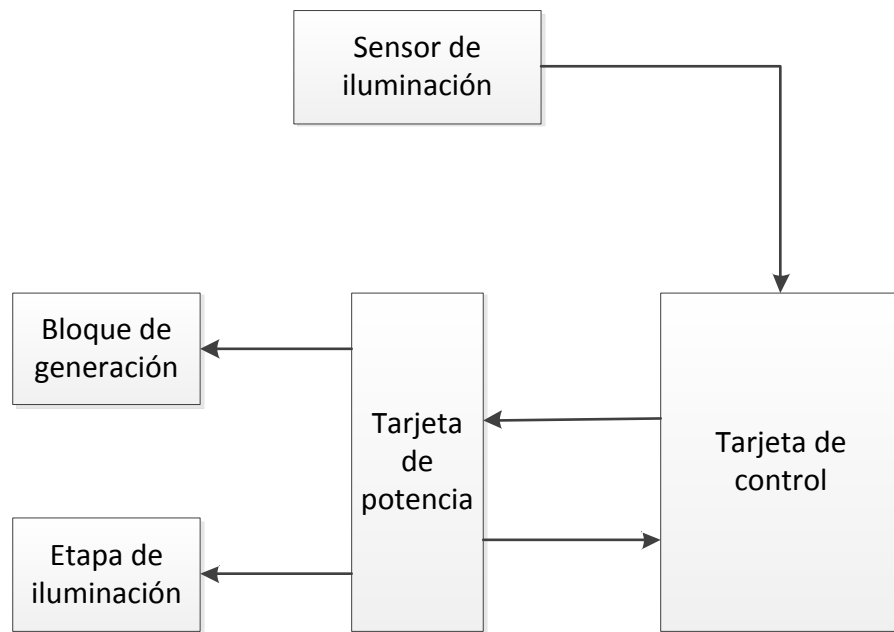
5.5. TARJETA DE CONTROL DEL SISTEMA

De la misma forma, la tarjeta de control del cargador de baterías es basada en el cargador diseñado por el Ingeniero Eléctrico Simón Arrieta, la misma se conserva con algunos cambios menores la etapa de procesamiento analógico. Sin embargo, fue rediseñada para usar el PIC16F88.

El medidor de corriente consumida por la carga realiza una función adicional en esta aplicación, que consiste en detectar una sobrecarga del sistema. La función de detección del estado de la etapa de iluminación se realiza mediante la medición de la corriente total consumida por la etapa de carga. Entonces, tomando en cuenta que la corriente varía en función del funcionamiento de la luminaria, se podrá detectar si alguna de las luminarias se apaga mediante la disminución de la corriente consumida.

A diferencia del cargador de batería original, esta implementación no posee medidor de temperatura para el banco de baterías, éste dispositivo obedece a que la mayor prioridad en la aplicación desarrollada es mantener el nivel de carga máximo en el banco de baterías para la posterior alimentación de la etapa de iluminación.

El funcionamiento del sistema, el cual se muestra en la Figura 29, es como sigue: una vez que el control determina que hay un nivel lumínico suficientemente alto para cargar la batería, cierra el circuito de carga y comienza el proceso de carga hasta que la batería se encuentra a máxima capacidad. Luego de eso, el sistema entra en modo de carga de flotación. Una vez que mediante una fotocélula detecta que el nivel de iluminación ambiental sea bajo, comienza a iluminar, el sistema de iluminación se enciende durante 6 horas, considerando que se comenzará a iluminar en promedio a las 6:30 p.m.

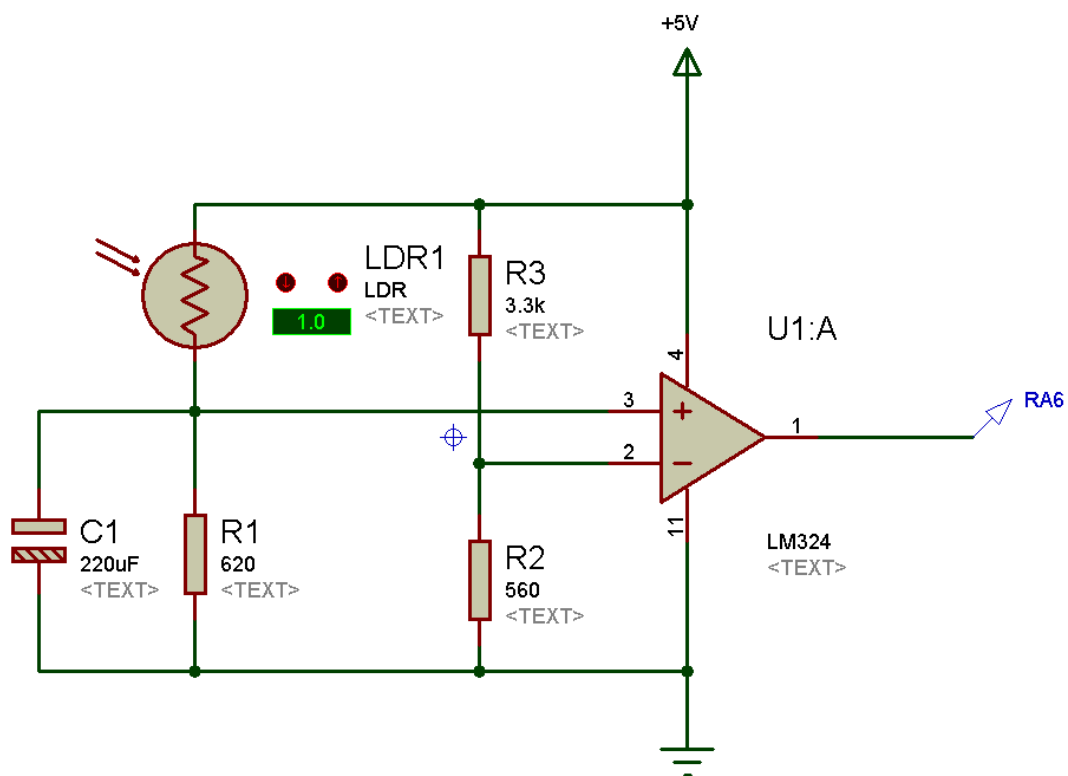


Fuente: Propia.

Figura 29: Diagrama de bloques del sistema implementado.

5.5.1. Control de iluminación

El control de iluminación fue implementado con un comparador de voltaje, el cual tiene conectado en uno de sus terminales una fotorresistencia como elemento sensor de luz. Se utilizó una fotorresistencia como elemento sensor de luz en lugar a un fotodiodo debido a que no se necesita que el sistema sea detecte los cambios de iluminación con demasiada rapidez. En la Figura 30 se observa el diagrama esquemático del circuito sensor de iluminación.



Fuente: Propia.

Figura 30: Circuito sensor de iluminación ambiental.

El circuito tiene como elemento sensor de luz la fotorresistencia NLS19-M51, la cual tiene respuesta lumínica similar a la del ojo humano. El umbral de conmutación se encuentra en los 60 lux.

5.6. TARJETA DE POTENCIA

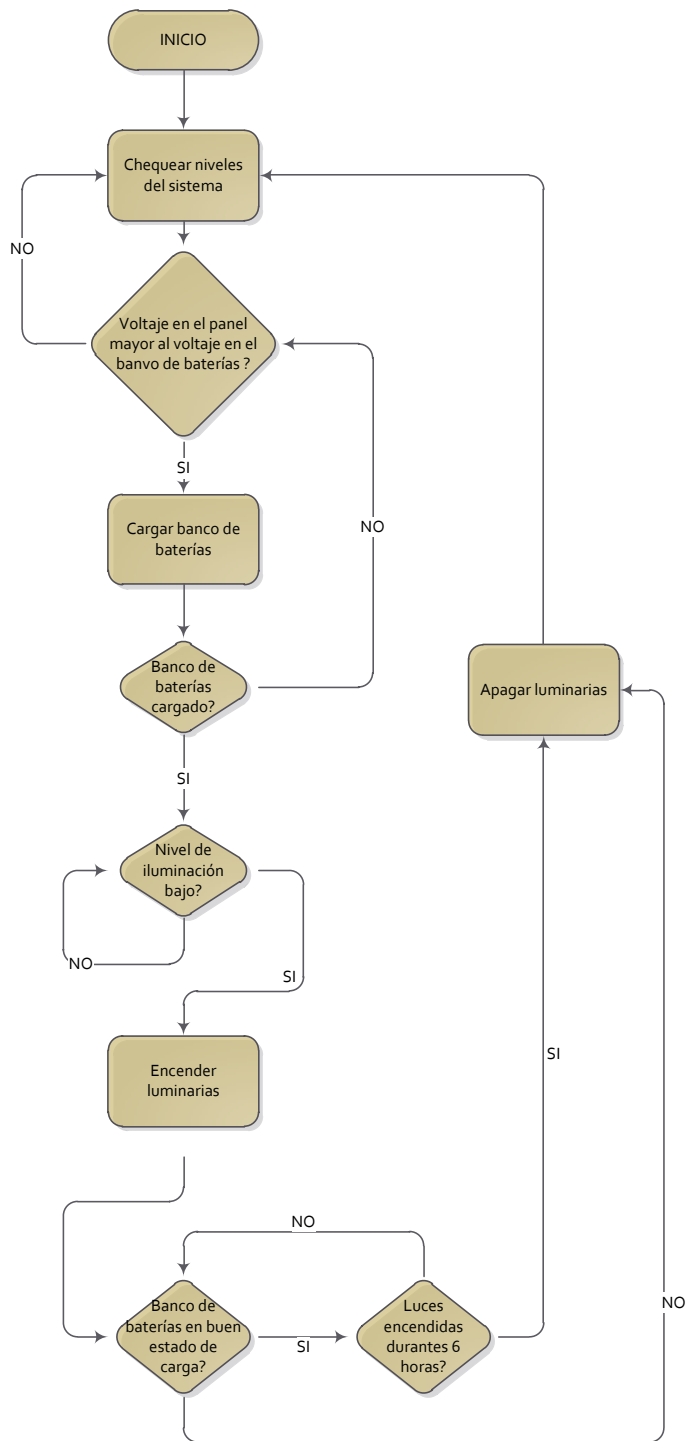
Modificada del diseño original para manejar 17A en la etapa de carga de baterías, trabaja de forma tal que se regula la corriente de entrada a la batería utilizando modulación por ancho de pulso a una frecuencia de 1kHz. Además, posee un indicador sonoro con el cual se anuncia la conexión incorrecta de la batería a cargar y protección contra sobretensiones cercanas a los 30V.

5.7. MÉTODO DE PROGRAMACIÓN

El programa fue diseñado de manera tal que el sistema cumpla con el diagrama de flujos mostrado en la figura 37, donde se describen los pasos a seguir por el para cumplir con todas las funciones requeridas. A continuación una descripción de la función que ejercen los distintos bloques.

- Bloque 1: Inicio del sistema.
- Bloque 2: Una vez que inicia el sistema, se verifica el voltaje en el bloque de generación, se chequea que no haya corriente circulando desde el bloque de generación hacia la carga o hacia el banco de baterías.
- Bloque 3: Al haberse comprobado que todos los parámetros del sistema se encuentran en las condiciones deseadas, se procede nuevamente a medir si el voltaje en el bloque generador es mayor al voltaje en el banco de baterías. Si la condición se cumple se pasa al bloque 4, de lo contrario se pasa al bloque 2.

- Bloque 4: Comprobado el nivel de voltaje del bloque de generación se comienza a cargar el banco de baterías.
- Bloque 5: Se chequea si el banco de baterías está cargado, de lo contrario se chequea nuevamente el voltaje del bloque generador para continuar con el proceso de carga.
- Bloque 6: Con el banco de baterías totalmente cargado se mide el nivel de iluminación ambiental y cuando sea lo suficientemente baja se encenderán las luminarias.
- Bloque 7: Mientras se encuentran encendidas las luminarias se mide el estado de carga de las baterías, dejando las luminarias encendidas si se encuentran en buen estado y apagándolas en caso contrario.
- Bloque 8: Se mide el tiempo que han estado encendidas las luminarias, apagándolas después de 6 horas de funcionamiento continuo en caso de que las baterías se encuentren en buen estado de carga.
- Bloque 8: Se apagan las luminarias una vez que se ha cumplido todo el proceso para chequear nuevamente los parámetros del sistema y esperar las condiciones necesarias para cargar el banco de baterías nuevamente.



Fuente: Propia.

Figura 31: Diagrama de flujos del funcionamiento del programa.

Uno de los aspectos más importantes del funcionamiento del programa de control del sistema de iluminación es el manejo de energía del microcontrolador, y como no es necesario medir el estado del sistema continuamente, entonces se establecieron intervalos de medición cada segundo y medio. Entre los intervalos de medición el microcontrolador se encuentra en estado de hibernación.

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE COSTOS

Debido a la gran cantidad de modelos de avisos luminosos disponibles en el mercado nacional, el cálculo de los costos asociados a la implementación del Sistema de Iluminación para Avisos Luminosos se realizó de forma que pueda ser comparada con las dimensiones del aviso implementado para este trabajo de grado. El mismo solo considera el costo de las partes eléctricas usadas en los mismos.

6.1. Costos de los elementos constitutivos

Se considera para el análisis de costos los precios de los elementos constitutivos en Bs. F y adquiridos en el país a través de distribuidores autorizados en Venezuela. Precios referenciados al mes de mayo de 2012. No se consideran precios de instalación del sistema.

Tabla 4: Precios de los elementos constitutivos de un sistema de iluminación con luminarias HID.

Equipo	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Luminaria HID 35W	3	400,00	1.200,00
Caja de interruptores contra intemperie	1	1000,00	1500,00
Cableado	10 ml	6,00	60,00
Temporizador de encendido	1	250,00	250,
Sensor de iluminación	1	300,00	300,00
Precio total			3110,00

Tabla 5: Costo de los elementos constitutivos de un sistema de iluminación con luminarias LED y utilización de energía.

Equipo	Cantidad	Precio unitario [Bs. F]	Precio total [Bs. F]
Luminaria LED 10W	3	565,00	565,00
Caja de control	1	1.000,00	1.000,00
Cableado	10 ml	6,00	60,00
Sensor de iluminación	1	120,00	120,00
Paneles solares 205Wp Evergreen	1	5.800,00	5.800,00
Batería 65Ah Duncan R65	1	3.200,00	3.200,00
Precio total			10.345,00

Todos los precios mencionados en la Tabla 4 y Tabla 5 están referenciados a precios de equipos construidos en Venezuela o con venta dentro del país.

6.2. Costos por consumo eléctrico

Las vallas publicitarias de gran formato utilizan sistemas de iluminación cuyo voltaje de trabajo es 220V AC

Las tarifas por consumo eléctrico en Venezuela hasta antes de la restricción del uso en actividades no esenciales se encuentran regidas por la gaceta oficial N° 37.415 (Petróleo) de fecha 3 de abril de 2002, en la misma se establecen los precios según el tipo de consumidor.

El consumo del sistema de iluminación implementado con elementos convencionales se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6: Consumo mensual de un sistema de iluminación convencional.

Dispositivo	Cantidad	Consumo individual mensual [KWh]	Consumo conjunto mensual [KWh]
Luminaria HID de 150W	3	27,90	83,70
Etapa de control	1	0,90	0,90
Consumo total			84,60

En el caso de vallas publicitarias con sistema de iluminación convencional, si se toma como referencia una valla con dimensiones iguales a la puesta bajo prueba en esta investigación, las mismas durante los primeros dos (2) meses de funcionamiento entran en el modo de consumo “Tarifa 03: Servicio general 1”, en el cual el cargo por Demanda es de 5,8135 Bs. por kVA y el cargo por energía consumida es de 0,0601 Bs. por kWh (Petróleo). En una segunda etapa, luego de haber pasado los dos primeros dos (2) meses entran en el modo de consumo “Tarifa 04: Servicio General 2”, en el cual las tarifas vienen siendo 7,7472 Bs. por kVA y 0,0778 Bs. por kWh (Petróleo). El sistema de iluminación implementado, al ser independiente de los sistemas de alimentación convencionales no presenta consumo por facturación eléctrica. Por otro lado, los cálculos energéticos de las mismas fueron realizados en el Capítulo **CAPÍTULO V: DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.**

La Tabla 7 presenta la comparación entre el consumo total del sistema de iluminación convencional anual y su precio anual y el consumo del sistema implementado.

Tabla 7: Tarifas por consumo eléctrico del sistema convencional.

Sistema de iluminación	Consumo anual [KWh]	Precio por tarifa anual [Bs.]
Convencional	1009,8	182,4776
Implementado	0	0

Para los cálculos realizados anteriormente no se tomaron en cuenta los impuestos municipales, en tanto que si se tomó en cuenta el I.V.A. de los elementos individuales constitutivos de los sistemas. En los cálculos previamente realizados se observa que el aviso publicitario iluminado mediante el uso de paneles solares como generadores de energía eléctrica es de alto costo, todo esto debido al alto costo de los paneles solares usados para la alimentación de los mismos.

CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS

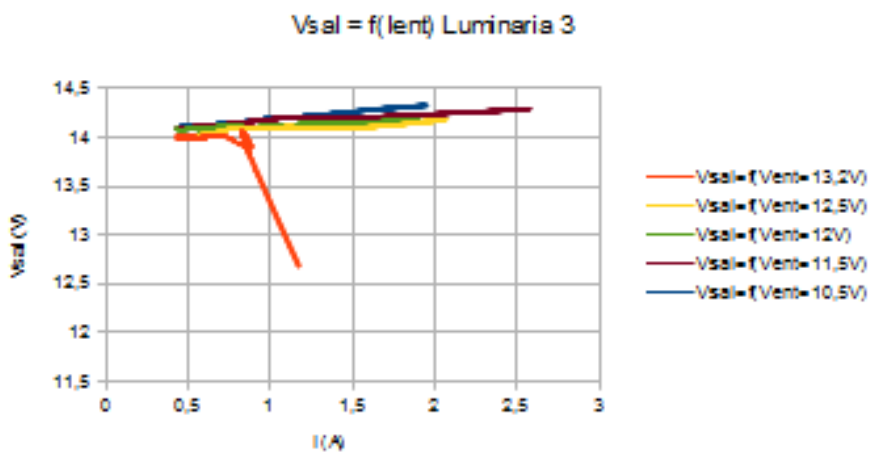
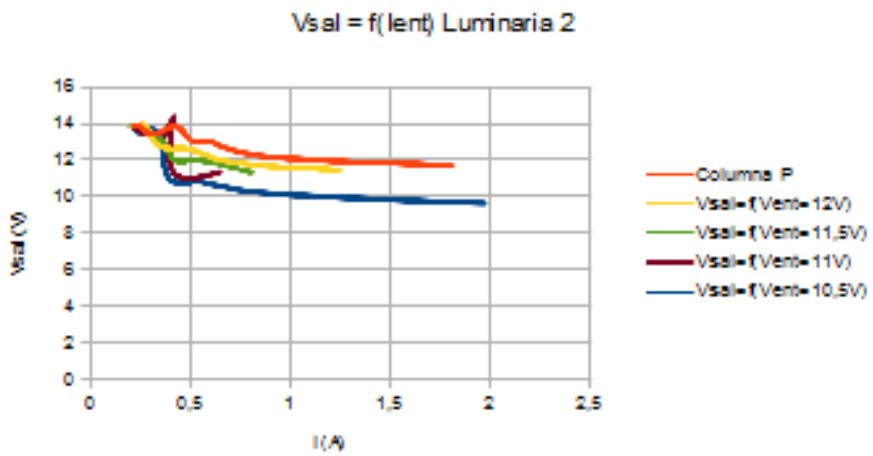
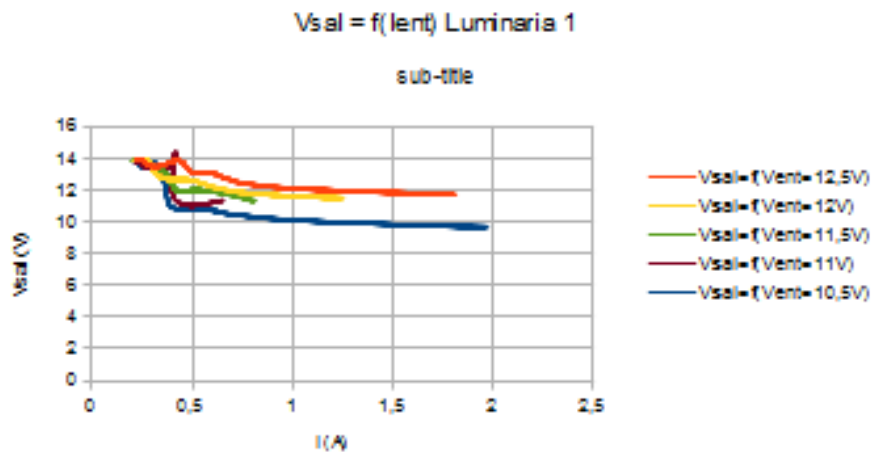
7.1. Luminarias

Para la medición de las luminarias se realizaron las mediciones basadas en la norma IES LM-79-08, los resultados se presentan a continuación.

7.1.1. Comportamiento Eléctrico

7.1.1.1. Característica de salida de los reguladores de las luminarias

La salida de voltaje para diferentes voltajes de entrada, es decir, cuando el comportamiento eléctrico de los reguladores utilizados para controlar la energía eléctrica entregada a las lámparas se presenta en la Figura 32.



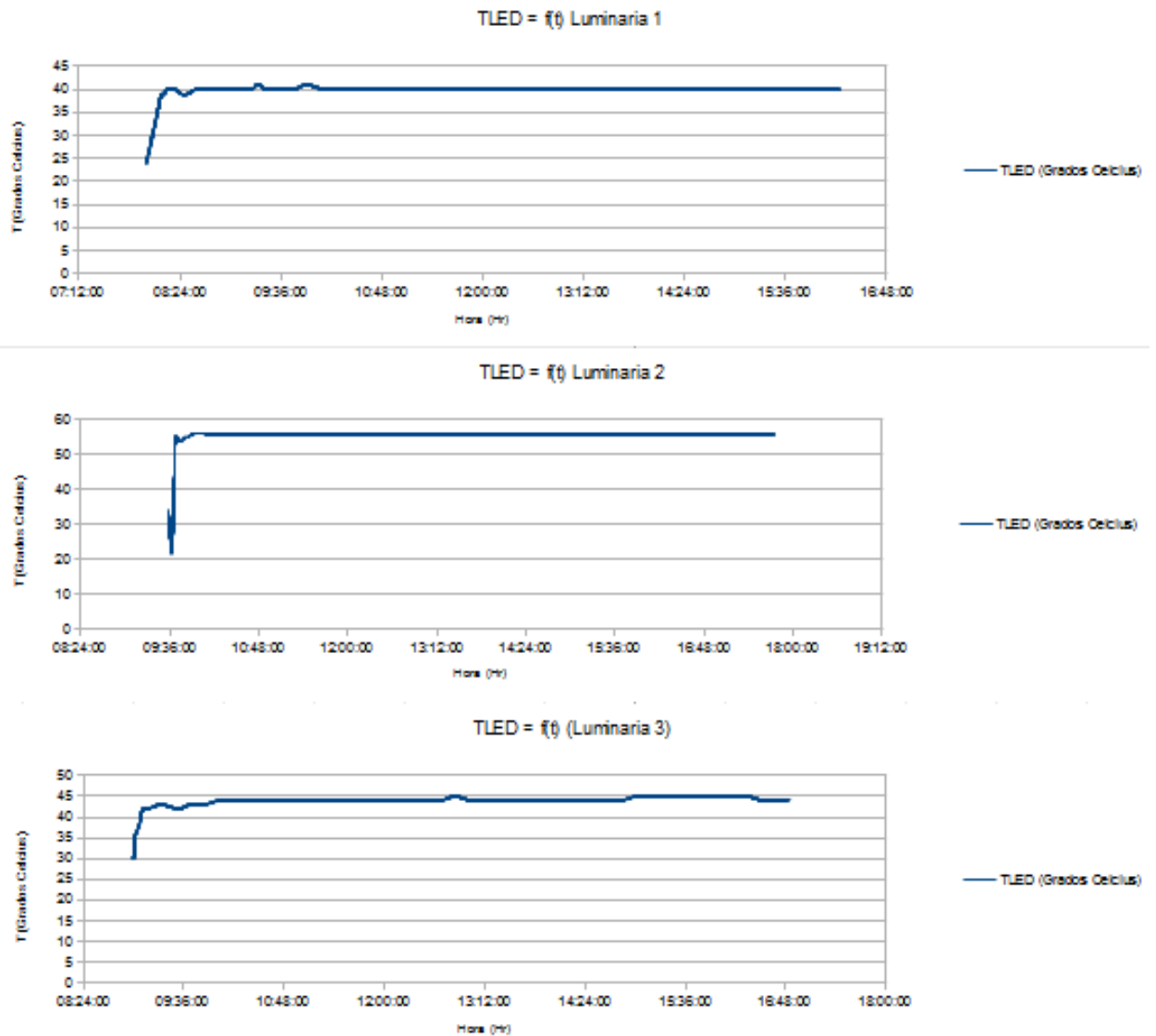
Fuente: Propia.

Figura 32: Curvas de carga de los reguladores utilizados.

En las curvas de la Figura 32 se observa que los reguladores mantienen su comportamiento eléctrico en el rango permitido por los cálculos, además, se observan cambios bruscos en el comportamiento (disminución en sus características de salida o apagado del regulador) en algunos puntos específicos, debiéndose esto a momentos en los que el mismo se vio forzado intencionalmente a protegerse por una sobrecarga o sobrecalentamiento.

7.1.2. Comportamiento Térmico

El comportamiento térmico de las luminarias se presenta en la Figura 33. Considerando que el sistema está pensado para un funcionamiento continuo de 6 horas durante su período de iluminación, se registró el comportamiento del mismo en un período continuo de 8 horas, 25% más del tiempo de operación diario. Cabe destacar que las mediciones se realizaron a temperatura ambiental variable.



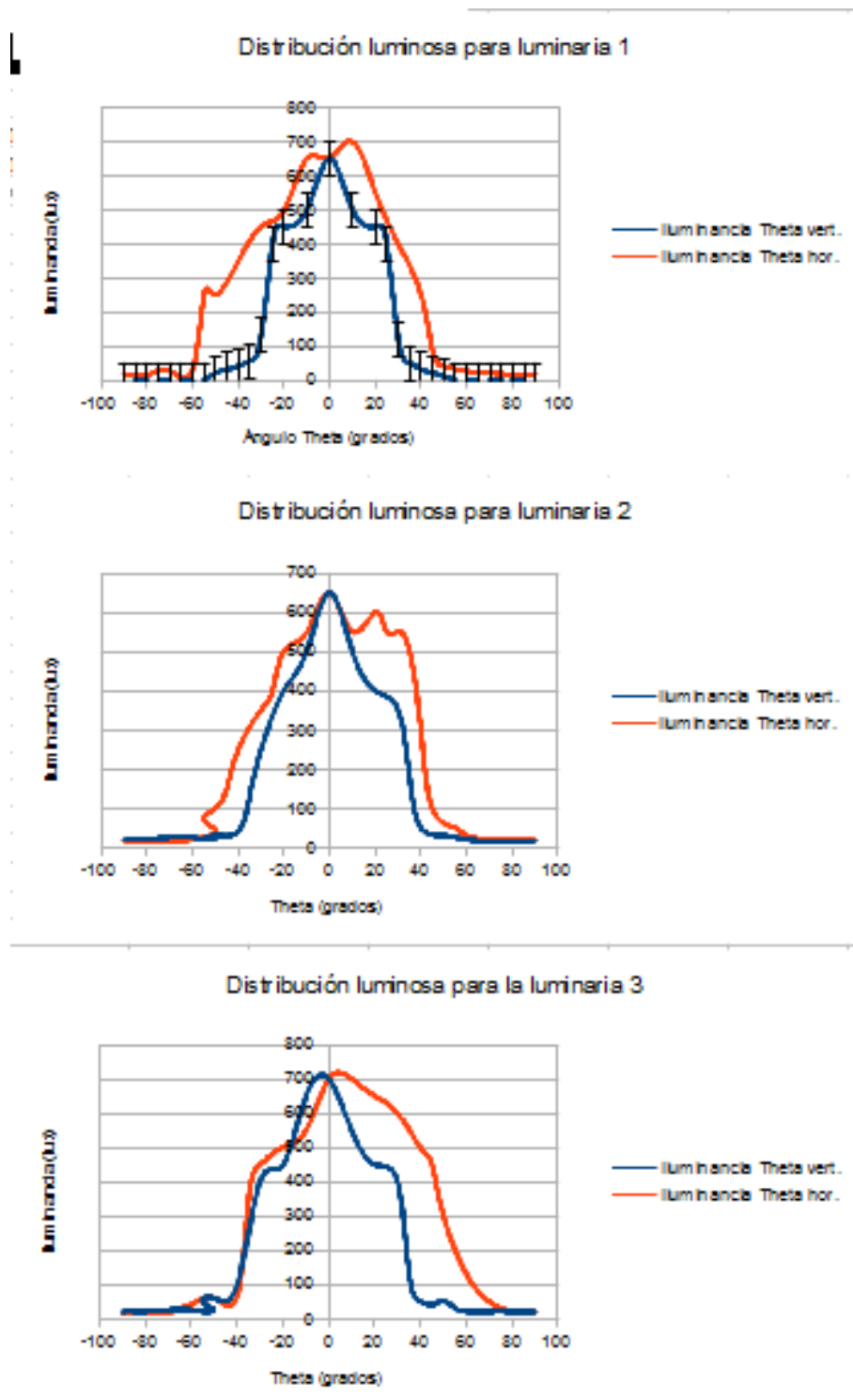
Fuente: Propia

Figura 33: Comportamiento en el tiempo de las luminarias desarrolladas.

7.1.3. Iluminación

Las luminarias desarrolladas se presentan en la Figura 34. La iluminación ambiental medida se encontró en 30 lux y el error de medición de los patrones de irradiancia fue de ± 5 lux para mediciones menores o iguales a 300 lux y ± 50 lux para

mediciones superiores a 300 lux. El luxómetro con filtro usado fue el provisto por el Laboratorio de Investigación y Desarrollo **LIDE** de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, de identificación “95-1-A609”.



Fuente: Propia.

Figura 34: Patrón de irradiancia logrado.

Al analizar los patrones de irradiancia logrados se observa que ninguna luminaria emite el mismo patrón, desde el punto de vista de la iluminancia y dispersión del haz de luz. Lo anterior es debido al punto de operación de las lámparas utilizadas y a la temperatura alcanzada por las mismas, lo cual fue tratado en el punto 5.1.1. La forma del patrón de irradiancia angular se debe casi en parte a la construcción del reflector interno, el cual no es plano ni puede ser considerado una superficie especular, como se supuso en el Capítulo V. Siendo así, se observa que se logró una uniformidad aceptable en el patrón de iluminación vertical, sin embargo, existen irregularidades destacables en los patrones de irradiancia horizontales.

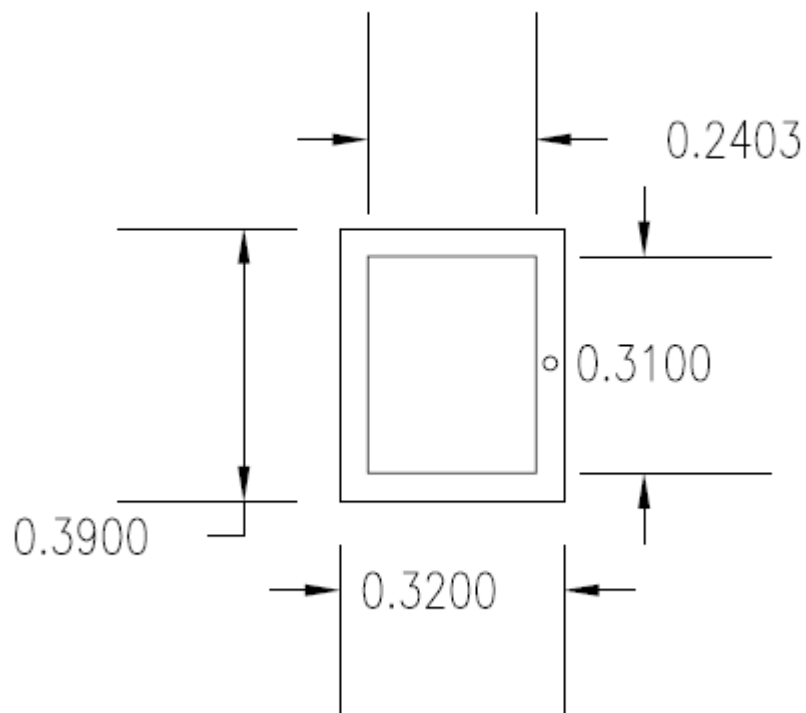
Posteriormente se procedió a la determinación de la colocación de las tres luminarias en la mejor disposición para obtener un patrón de iluminación uniforme (Ivan Moreno, 2006). Como no es posible obtener un patrón con uniformidad plana horizontal, se estableció que la mejor disposición se logra si las luminarias se encuentran equidistantes entre si y relación de iluminación máxima conjunta a iluminación mínima conjunta es de 4:1 (Rea, 2000). Por último se destaca en la gráfica (a) superior de la Figura 34 se muestran las barras de error para dar una noción de la precisión de la medida, en tanto que en el resto de las gráficas se obvia este parámetro.

7.2. EL CARGADOR DE BATERÍAS Y CONTROL DE ILUMINACIÓN

El módulo de carga y control de luminarias implementado tuvo un comportamiento satisfactorio, reponiendo a diario la carga de la batería utilizada. Cabe destacar que el sistema no presentó desperfectos durante la etapa de pruebas, además, la temperatura máxima alcanzada por el mismo fue de 37°C cuando se hacía circular en el sistema la corriente máxima permitida.

Debido a que la carga del sistema es de bajo consumo, la batería de 900Ah utilizada no entró en el proceso de carga a corriente constante. El proceso de carga-descarga se probó completamente con una batería de plomo-ácido CASIL, modelo CA12120 de capacidad nominal 12Ah, el resultado obtenido fue que el sistema cargaba la batería en un tiempo promedio de 4 horas y media bajo condiciones adecuadas de iluminación ambiental.

Las dimensiones del módulo cargador de baterías y control de iluminación se presentan en el diagrama de la Figura 35.



Fuente: Propia.

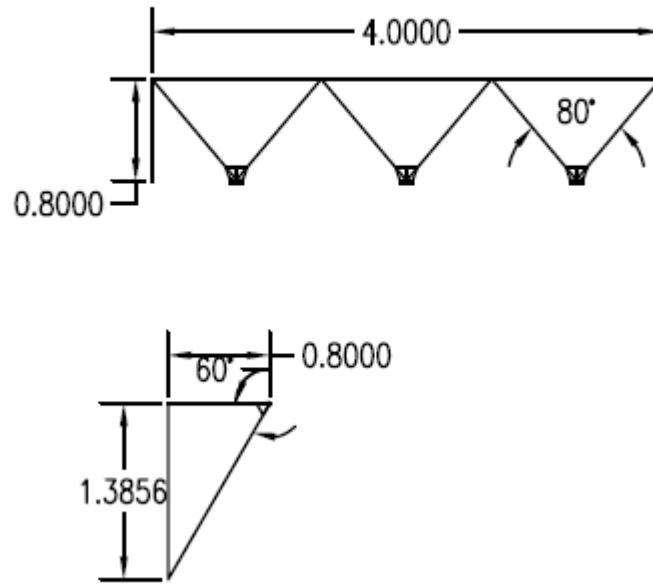
Figura 35: Medidas de la caja contenedora.

El control de iluminación funciona como es de esperarse haciendo una doble comparación de iluminación ambiental para encender las luminarias, esto es, coteja el nivel de iluminación ambiental mediante el sensor de luz con la energía medida por el panel solar, siendo realizada esta comparación para evitar falsas activaciones de las luminarias en caso de clima nublado en horarios diurnos. Por otro lado, la activación de las luminarias se realiza cuando la iluminación ambiental disminuye a 50 lux, intensidad lumínica medida y promediada alrededor de las 6:30 p.m. durante el mes de junio de 2012, y se mantienen encendidas durante un período de tiempo de seis (6) horas continuas. El sistema cuenta con medición de corriente en la etapa de carga, mediante la cual se determina fallas a tierra o si el grupo de luminarias está en buen estado de funcionamiento.

7.3. AVISO PUBLICITARIO

7.2.1. Patrón Conjunto

De los diagramas polares se extrae que las luminarias emiten un patrón de alta iluminancia en un ángulo $-30^{\circ} \leq v \leq 30^{\circ}$ y $-40^{\circ} \leq h \leq 40^{\circ}$, siendo ángulo vertical y horizontal respectivamente, con una caída brusca en la iluminancia fuera de ese rango, razón por la cual se escogió la disposición mostrada en la Figura 36 para las luminarias en el aviso publicitario implementado.



Fuente: Propia.

Figura 36: Disposición de las luminarias en el marco del aviso publicitario (medidas en metros).

El utilizar esta disposición, se observó que parte de la iluminación cae fuera del área útil de la valla publicitaria implementada. La superficie a utilizar fue de 4m de ancho por 1,3856m de alto.

La relación de iluminancia observada en el patrón obtenido concuerda con las recomendaciones dadas por la IESNA (Rea, 2000) para la iluminación de vallas publicitarias. Respecto a los valores de iluminancia máximos permitidos para vallas publicitarias (Ian Lewin Ph.D., 2009) observado en la Tabla 1, la distancia mínima para observación directa de la valla publicitaria implementada con las luminarias desarrolladas es de 12,61m si la superficie a iluminar tiene un factor de reflectividad

mínimo de 80%, en tanto que la distancia máxima de observación viene dada por la legibilidad del anuncio.

7.2.2. Comportamiento eléctrico

El comportamiento eléctrico observado fue satisfactorio en cuanto a la energía eléctrica entregada a las lámparas para mantener la intensidad de la luz incidente sobre el aviso publicitario, la cual se mantuvo constante durante el tiempo de encendido regular de las luminarias. Un punto importante a destacar es la falla que presentan las luminarias al trabajar en conjunto con la misma fuente de energía eléctrica y el voltaje disminuye a un valor cercano a los 11,36V DC. El regulador de la luminaria 1 comienza a detectar más rápidamente la caída de voltaje, lo cual hace que su lógica interna comience a hacer ajustes para proveer la corriente y voltaje necesarios a la carga de iluminación, esto tiene como resultado que la fuente de energía eléctrica baja su voltaje de manera drástica momentáneamente; a su vez, los reguladores de las luminarias 2 y 3 detectan dicha caída de voltaje y comienzan a ajustarse, evitando el daño propio por sobrecarga en la entrada. Un aspecto importante a destacar sobre esta falla es que la misma es recurrente, es decir, las luminarias comienzan a un proceso de intermitencia.

Según la observación de diversas tablas de voltaje en función del estado de carga de baterías de plomo-ácido, el estado de carga de la batería utilizada se encuentra cercano al 55% cuando comienza el proceso de intermitencia antes mencionado.

CONCLUSIONES

Al desarrollar el sistema se determinó que la factibilidad de construcción del mismo es alta si se le observa desde el punto de vista de la utilización de sistemas de energía convencionales, en tanto que si se le observa desde el punto de vista del costo de implementación, su factibilidad baja debido al alto costo inicial de implementación del sistema de iluminación. Por otro lado, los costos de mantenimiento serían similares debido al costo de enviar personal calificado al sitio de montaje del sistema periódicamente; sin embargo, esto disminuye el costo de reemplazo de las luminarias debido a la vida útil cercana a las 50000 horas de funcionamiento continuo. Otros factores como la vida útil de los paneles solares y el sistema controlador de carga de las baterías también influyen en el costo final de implementación.

Un factor importante a considerar es la eficiencia del sistema, al no drenar energía eléctrica de los sistemas de convencionales, pues no puede ser evaluada en función del costo que ocasionaría el tener que cancelar una cuota por utilización de energía eléctrica, es entonces que se debe observar la relación costo-beneficio de la implementación del sistema en función de la eficiencia eléctrica de los elementos que lo conforman.

La selección del cargador de batería se hizo teniendo en cuenta los costos asociados a su adquisición y los costos asociados a su mantenimiento, esto se debió a que el sistema está pensado para ser implementado con dispositivos de bajo costo y alta disponibilidad en el país. Debido a esto, se optó por utilizar un cargador de ciclo híbrido basado en modulación por ancho de pulsos en lugar de usar cargadores basados en el algoritmo de seguimiento del punto de máxima potencia de los paneles solares, siendo el factor determinante para la selección del mismo la baja posibilidad

de utilización de una inductancia capaz de manejar las grandes corrientes necesarias para la carga de las baterías.

RECOMENDACIONES

Entre las recomendaciones para la implementación del sistema se encuentran:

En el área del cargador de baterías se recomienda usar cargadores que trabajen con el algoritmo de seguimiento del punto de máxima potencia, los cuales hacen más eficiente el proceso de carga del banco de baterías, y por lo tanto podría disminuir el costo de implementación del sistema.

En cuanto al patrón de iluminancia formada por las luminarias, se podría aprovechar más el flujo luminoso emitido por las lámparas si se diseña tanto el reflector interno como la carcasa de la luminaria para redirigir todo el flujo luminoso emitido por la lámpara en un ángulo efectivo de 40° , y para el caso particular del sistema implementado, ya que el actual al no tener una superficie reflectiva especular ni el diseño más óptimo para la luminaria, hace que se pierda gran parte del flujo luminoso por redirección de los haces de luz emitidos hacia zonas donde no contribuyen a la iluminación de la superficie propia al sistema. Además, se haría más eficiente el sistema desde el punto de vista de la utilización de energía eléctrica.

Se recomienda sustituir el regulador de las luminarias por un controlador especializado para iluminación LED basado en control de corriente debido a que se tendría un manejo de la iluminación del sistema más preciso.

En el área de implementación de la inteligencia de control de carga se recomienda utilizar dispositivos controladores de carga especializados para el manejo

de baterías asociadas a paneles solares para así solo dejar al microcontrolador central la tarea de supervisar el sistema en caso de fallas y agregar una interfaz gráfica y de programación para cuando se tenga la necesidad de cambiar los elementos de generadores y de almacenamiento de energía del sistema.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Ángulo sólido: Ángulo mediante el cual se obtiene una superficie sólida de área 1m^2 en una esfera de radio igual a 1m.

Backlight: Sistema en el que la iluminación proviene de la zona posterior.

Energía específica: es la cantidad de energía por unidad de masa, normalmente se expresa en J/Kg.

Frontlight: Sistema en el que la iluminación proviene del frente.

Light-Emitting-diode: Diodo emisor de luz.

Luminancia: Medida de la intensidad lumínica proyectada sobre una superficie sólida de 1 ángulo sólido.

Lumen: Flujo luminoso total emitido por una fuente luminosa. Se mide en en candelas por steroradian.

Iluminancia: Medida de la intensidad lumínica proyectada sobre una superficie plana.

Índice de reproducción cromática (IRC): índice por el cual se mide la capacidad de reproducir la gama de colores visibles por el ojo humano.

SOL: Unidad utilizada para denotar una potencia de $1\text{KW}/\text{m}^2$.

Visión escotópica: Se puede describir como un estado de funcionamiento del ojo humano en el que la luminancia es inferior $0,001 \text{ cd/m}^2$. En este estado solo los bastones son lo suficientemente sensibles para captar luz.

Visión fotópica: Se puede describir como un estado de funcionamiento del ojo humano en el que la luminancia es inferior 3 cd/m^2 . En este estado los conos dominan la respuesta del ojo a los estímulos luminosos.

TRABAJOS CITADOS

- [1] Carreon, J. C. (2004).
[http://books.google.co.ve/books?id=WMtB26fb5eUC&pg=PA32&lpg=PA32&dq=temperatura+correlacionada+de+color&source=bl&ots=UkXRohLQE6&sig=YDPisuNbRsQcSydEzHpDpOHmRew&hl=es&sa=X&ei=8kf0T_KsFJOE8ATv2LGFBw&ved=0CFwQ6AEwBg#v=onepage&q=temperatura%20correlacionada%](http://books.google.co.ve/books?id=WMtB26fb5eUC&pg=PA32&lpg=PA32&dq=temperatura+correlacionada+de+color&source=bl&ots=UkXRohLQE6&sig=YDPisuNbRsQcSydEzHpDpOHmRew&hl=es&sa=X&ei=8kf0T_KsFJOE8ATv2LGFBw&ved=0CFwQ6AEwBg#v=onepage&q=temperatura%20correlacionada%20). Recuperado el 15 de junio de 2012, de [http://books.google.co.ve/books?id=WMtB26fb5eUC&pg=PA32&lpg=PA32&dq=temperatura+correlacionada+de+color&source=bl&ots=UkXRohLQE6&sig=YDPisuNbRsQcSydEzHpDpOHmRew&hl=es&sa=X&ei=8kf0T_KsFJOE8ATv2LGFBw&ved=0CFwQ6AEwBg#v=onepage&q=temperatura%20correlacionada%](http://books.google.co.ve/books?id=WMtB26fb5eUC&pg=PA32&lpg=PA32&dq=temperatura+correlacionada+de+color&source=bl&ots=UkXRohLQE6&sig=YDPisuNbRsQcSydEzHpDpOHmRew&hl=es&sa=X&ei=8kf0T_KsFJOE8ATv2LGFBw&ved=0CFwQ6AEwBg#v=onepage&q=temperatura%20correlacionada%20)
- [2] Gasquet, I. H. (2004). *Conversión de la Luz Solar en Energía Eléctrica*. Cuernavaca: Solartronic, S.A. de C.V., Departamento de formación Científica y Técnica.
- [3] <http://www.smartpower.com.ve/edc/jsp/sector/tarifasInicial.jsp>. (s.f.). Recuperado el 30 de 05 de 2012, de <http://www.smartpower.com.ve/edc/jsp/sector/tarifasInicial.jsp>
- [4] Ian Lewin Ph.D., F. L. (2009). *Digital Billboard Recommendations and Comparisons to Conventional Billboards*. Scottsdale, Arizona, U.S.: Lgihing Science, Inc. Press.
- [5] Ivan Moreno, M. A.-A. (Abril de 2006). Designing light-emitting diode arrays for uniform near-field irradiance. *Applied Optics*, 45(10), 2265-2272.
- [6] lenk, R. L.-C. (2011). *Practical Lighting Design with LEDs*. Piscataway, NJ 08854: Wiley & Sons, Inc.

- [7] Lewin, I. (14 de Abril de 2009). *www.poulconcil.org*. Recuperado el 5 de Junio de 2011, de *www.pulconcil.org*.
- [8] Petróleo, M. P. (s.f.). *www.menpet.gob.ve*. Recuperado el 30 de 05 de 2012, de <http://www.smartpower.com.ve/imagesEdc/Gaceta37415.pdf>
- [9] Rea, M. (2000). The IESNA Lighting Handbook. En *The IESNA Lighting Handbook, Reference and application* (págs. 649-651). New York: The Illuminating Engineering Society of North America.
- [10] Semiconductor, N. (Abril de 2005). *LM1577/2577 Simple Switcher® Step-Up Voltage Regulator*. Recuperado el 25 de Junio de 2011, de National Semiconductor: <http://www.national.com/ds/LM/LM1577.pdf>
- [11] Semiconductor, N. (s.f.). *LM1577/2577 Simple Switcher® Step-Up Voltage Regulator*.
- [12] Voyce, P. R. (2003). Human Factors in Lighting. En P. R. Voyce, *Human Factors in Lighting* (págs. 44-66). Londres, Inglaterra: Taylor & Francis, Inc.

BIBLIOGRAFÍA

Carreon, J. C. (2004).

[http://books.google.co.ve/books?id=WMtB26fb5eUC&pg=PA32&lpg=PA32&dq=temperatura+correlacionada+de+color&source=bl&ots=UkXRohLQE6&sig=YDPisuNbRsQcSydEzHpDpOHmRew&hl=es&sa=X&ei=8kf0T_KsFJOE8ATv2LGFBw&ved=0CFwQ6AEwBg#v=onepage&q=temperatura%20correlacionada%](http://books.google.co.ve/books?id=WMtB26fb5eUC&pg=PA32&lpg=PA32&dq=temperatura+correlacionada+de+color&source=bl&ots=UkXRohLQE6&sig=YDPisuNbRsQcSydEzHpDpOHmRew&hl=es&sa=X&ei=8kf0T_KsFJOE8ATv2LGFBw&ved=0CFwQ6AEwBg#v=onepage&q=temperatura%20correlacionada%20). Recuperado el 15 de junio de 2012, de [http://books.google.co.ve/books?id=WMtB26fb5eUC&pg=PA32&lpg=PA32&dq=temperatura+correlacionada+de+color&source=bl&ots=UkXRohLQE6&sig=YDPisuNbRsQcSydEzHpDpOHmRew&hl=es&sa=X&ei=8kf0T_KsFJOE8ATv2LGFBw&ved=0CFwQ6AEwBg#v=onepage&q=temperatura%20correlacionada%](http://books.google.co.ve/books?id=WMtB26fb5eUC&pg=PA32&lpg=PA32&dq=temperatura+correlacionada+de+color&source=bl&ots=UkXRohLQE6&sig=YDPisuNbRsQcSydEzHpDpOHmRew&hl=es&sa=X&ei=8kf0T_KsFJOE8ATv2LGFBw&ved=0CFwQ6AEwBg#v=onepage&q=temperatura%20correlacionada%20)

Gasquet, I. H. (2004). *Conversión de la Luz Solar en Energía Eléctrica*. Cuernavaca: Solartronic, S.A. de C.V., Departamento de formación Científica y Técnica.

<http://www.smartpower.com.ve/edc/jsp/sector/tarifasInicial.jsp>. (s.f.). Recuperado el 30 de 05 de 2012, de <http://www.smartpower.com.ve/edc/jsp/sector/tarifasInicial.jsp>

Ian Lewin Ph.D., F. L. (2009). *Digital Billboard Recommendations and Comparisons to Conventional Billboards*. Scottsdale, Arizona, U.S.: Lgihting Science, Inc. Press.

Ivan Moreno, M. A.-A. (Abril de 2006). Designing light-emitting diode arrays for uniform near-field irradiance. *Applied Optics*, 45(10), 2265-2272.

lenk, R. L.-C. (2011). *Practical Lighting Design with LEDs*. Piscataway, NJ 08854: Wiley & Sons, Inc.

Lewin, I. (14 de Abril de 2009). www.poulconcil.org. Recuperado el 5 de Junio de 2011, de www.pulconcil.org.

- Petróleo, M. P. (s.f.). *www.menpet.gob.ve*. Recuperado el 30 de 05 de 2012, de <http://www.smartpower.com.ve/imagesEdc/Gaceta37415.pdf>
- Rea, M. (2000). The IESNA Lighting Handbook. En *The IESNA Lighting Handbook, Reference and application* (págs. 649-651). New York: The Illuminating Engineering Society of North America.
- Semiconductor, N. (Abril de 2005). *LM1577/2577 Simple Switcher® Step-Up Voltage Regulator*. Recuperado el 25 de Junio de 2011, de National Semiconductor: <http://www.national.com/ds/LM/LM1577.pdf>
- Semiconductor, N. (s.f.). L.
- Semiconductor, N. (s.f.). *LM1577/2577 Simple Switcher® Step-Up Voltage Regulator*.
- Voyce, P. R. (2003). Human Factors in Lighting. En P. R. Voyce, *Human Factors in Lighting* (págs. 44-66). Londres, Inglaterra: Taylor & Francis, Inc.

ANEXOS

Dimensionamiento de baterías para sistemas fotovoltaicos-IEEE Std 1013-2007														
Voltaje nominal del sistema:		12		Profundidad de descarga máxima permitida:		50%		Eficiencia del sistema:		0,67				
Días de reserva de batería:		1		Vbat mín:		10,8		Vbat máx:		14,1				
Cte. Máxima entregada por los paneles:										8				
Elemento	Ventana de voltaje	Corriente momentánea	Corriente de trabajo	Numero de ocurrencias	Duración	CT [hr]	Carga diaria							
	Vmin	Vmax	Icoin [A]	Inocoin [A]	Inocoin [A]	Veces/día	horas/occur	hr/día	Ah/día					
Luminaria 1	11	13,4			1		1	6	6	6				
Luminaria 2	11	13,4			1		1	6	6	6				
Luminaria 3	11	13,4			1		1	6	6	6				
Tarjeta de control	7,5	13,4			0,2		1	24	24	4,8				
Carga total diaria										22,8				
2) Sumario de carga de datos														
a) Corriente momentánea máxima:														
b) Corriente parasitaria máxima:														
c) Carga diaria máxima:											22,80			
d) Valor más grande de corriente momentánea:														
e) Valor más grande de Inocoin:														
f) Máxima corriente momentánea drenada de la batería														
g) Greatest value of Inocoin para corrientes de trabajo:														
h) Máxima corriente drenada de la batería:											3,20			
i) Máxima corriente pico drenada de la batería											3,20			
j) Valor mínimo de Vmax											13,40			
k) Valor máximo de Vmin:											11,00			
3) Capacidad de la batería														
a) Capacidad no ajustada de la batería:											22,80			
b) Profundidad de descarga máxima permitida:											0,50			
c) Capacidad ajustada para máx profundidad de descarga:											45,60			
d) Máxima profundidad de descarga diaria:											0,50			
e) Capacidad ajustada para máx profundidad de descarga:											45,60			
f) Porcentaje de capacidad al final de la vida útil:											0,50			
g) Capacidad ajustada para el final de la vida útil:											45,60			
h) Cap ajustada para PDD o final de vida útil:											45,60	45,6	45,6	45,6
i) Temperatura operativa mínima:											15,00			
j) Factor de corrección por temperatura:											1,00	OJO		
k) Capacidad ajustada por temperatura:											45,60			
l) Factor por margen de diseño (>=1):											1,25	11	10,8	
m) Capacidad ajustada por margen de diseño:											57,00	13,4	14,1	
4) Rata de horas funcionales:											17,81			
5) Ajuste de la ventana de voltaje:														
a) V mínimo de desconexión del controlador de carga:											10,80			
b) Vmin ajustado:											11,00			
c) Vmáx del controlador de carga:											14,10			
d) Vmáx ajustado:											13,40			
6) Número de celdas conectadas en serie:														
a) Voltaje máximo de carga por celda:											2,23			
b) Máximo número de celdas en serie:											6,00			
c) Voltaje recomendado por celda para FDD:											1,80			
d) Voltaje calculado por celda para FDD:											1,83			
e) Decremento en el número de celdas:														
f) Voltaje calculado de carga de la celda:														
g) Número seleccionado de celdas:											6,00			
7) Selección de célula y determinación final de capacidad:														
a) Capacidad de baterías individuales:											65,00	0,87692308	Duncan R65	
b) Número de baterías en paralelo:											0,88			
c) Capacidad fina de la batería:											57,00			
8) Chequeo/Consideraciones														
a) Máxima corriente de carga											13,00			
i) Máxima corriente de carga disponible:											8,00			
ii) Corriente máxima disponible durante recarga:											8,00			
b) Sobrecarga excesiva:														
i) Corriente de carga máxima al alcanzar 40,6°:											1,00			
ii) Corriente máxima al alcanzar Vnom:											0,00			
c) Descarga excesiva:														
i) Relación Arreglo de paneles/carga:											1,50			
d) Máxima corriente de descarga:											3,20	Relación capacidad/cte. Máx:	20,3125	
e) Congelamiento del electrolito:											5,00			
f) Autodescarga de la batería														
i) Autodescarga de la batería (Ah/día):											0,00542			
ii) Capacidad de la batería por c/día de reserva:											57,00	8f,1/8f,ii>0.05?:	9,5029E-05	Si <=0,05 entonces está bien dimensionada
g) Reserva de electrolito:											0,00			
9) Sumario														
Fabricante y modelo de la batería:											Duncan R65			
Cantidad de baterías:											1,00			
Capacidad de las baterías:											65,00			
Rata de horas funcionales:											17,81			
Voltaje de carga máxima de las baterías:											14,10			
Voltaje de final de descarga de las baterías:											10,80			

Anexo 1: Dimensionamiento de la batería a utilizar en el sistema de

iluminación.

ELECTRICAL characteristics

Standard Test Conditions (STC)¹

	ES-A-200 -fa3 ²	ES-A-205 -fa3 ²	ES-A-210 -fa3 ²	
P_{mp}	200	205	210	W
$P_{tolerance}$	-0/+4.99 (-0/+2.5)	-0/+4.99 (-0/+2.5)	-0/+4.99 (-0/+2.5)	W
$P_{mp,max}$	204.99	209.99	214.99	W
$P_{mp,min}$	200.00	205.00	210.00	W
P_{dc}	180.6	185.2	189.8	W
η_{cell}	12.7	13.1	13.4	%
V_{mp}	18.1	18.2	18.3	V
I_{mp}	11.05	11.27	11.48	A
V_{oc}	22.6	22.7	22.8	V
I_{sc}	11.80	11.93	12.11	A

Nominal Operating Cell Temperature Conditions (NOCT)⁴

	45.4	45.4	45.4	°C
T_{NOCT}	45.4	45.4	45.4	°C
P_{max}	146.4	150.1	153.8	W
V_{mp}	16.5	16.6	16.7	V
I_{mp}	8.87	9.04	9.21	A
V_{oc}	20.8	21.0	21.1	V
I_{sc}	9.44	9.57	9.76	A

Low Irradiance

The typical relative reduction of panel efficiency at an irradiance of 200 W/m² both at 25°C cell temperature and spectrum AM 1.5 is 0%.

Temperature Coefficients

γP_{mp}	-0.43	%/°C
βV_{mp}	-0.40	%/°C
αI_{mp}	-0.03	%/°C
βV_{oc}	-0.31	%/°C
αI_{sc}	+0.05	%/°C

System Design

Series Fuse Rating	20 A
Maximum DC System Voltage (UL)	600 V
Maximum Combined Wind and Snow Load ⁵	60 lbs/ft ²

1 1000 W/m², 25°C cell temperature, AM 1.5 spectrum; 2 Maximum power point or rated power; 3 AT IEC/UL/USA Test Conditions: 1000 W/m², 25°C ambient temperature, 1 m/s wind speed; 4 IEC/UL/USA Test Conditions: 1000 W/m², 25°C ambient temperature, 1 m/s wind speed, AM 1.5 spectrum; 5 When the panel is mounted using Mounting Hardware 1 (panel mounting) with rail; 6 13 in (1.4 ft) from each short side of the panel as described in the Mounting Guide for this product; * Mounted at low voltage; 5-met due to front and back side of frame.

ELECTRICAL EQUIPMENT
CHECK WITH YOUR INSTALLER

MECHANICAL specifications

* DRAINAGE HOLES MOUNTING HOLES GROUNDING HOLES

ALL DIMENSIONS IN INCHES; PANEL WEIGHT 41 LBS (18.6 KG)

The above drawing is a graphical representation of the product; for engineering quality drawings please contact Evergreen Solar. MC® is a registered trademark of Multi-Contact AG. Product constructed with 114 multi-crystalline silicon String Ribbon™ solar cells, anti-reflective tempered solar glass, EVA encapsulant, polymer back-skin and a black anodized double-walled aluminum frame.

Product packaged 28 per pallet and tested to International Safe Transit Association (ISTA) Standard 2B. All specifications in this product information sheet conform to EN 50390. See the Evergreen Solar Safety, Installation and Operation Manual, Mounting Guide and Inverter Selection Guide for further information on approved installation and use of this product.

Due to continuous innovation, research and product improvement, the specifications in the product information sheet are subject to change without notice. No rights can be derived from this product information sheet and Evergreen Solar assumes no liability whatsoever connected to or resulting from the use of any information contained herein.

PARTNER

ES-A_200_205_210_fa3_US_010609; effective June 1st 2009

Evergreen Solar Inc.

www.evergreensolar.com

WORLDWIDE HEADQUARTERS

Evergreen Solar Inc.
138 Bartlett Street, Marlboro, MA 01752, USA
T +1.508.357.2221 F +1.508.229.0747
info@evergreensolar.com

CUSTOMER SERVICE Americas and Asia

Evergreen Solar Inc.
138 Bartlett Street, Marlboro, MA 01752, USA
T +1.508.357.2221 F +1.508.229.0747
sales@evergreensolar.com

Anexo 2: Características técnicas de los paneles solares seleccionados.



Baterías Estacionarias Selladas

Duncan ofrece baterías selladas, reguladas por válvula (V.R.L.A), tecnología AGM las cuales garantizan un buen desempeño libre de mantenimiento en aplicaciones tales como, UPS, centrales telefónicas y celdas de telefonía móvil. Estas baterías también son utilizadas en equipos e instalaciones médicas, instalaciones petroleras, etc.

Características:

- Reguladas por válvula (V.R.L.A), tecnología AGM
- Presentaciones de 12 voltios con capacidades (C20) desde 65 Ah hasta 200 Ah y celdas de 2 voltios con capacidades (C8) desde 345 Ah hasta 2180 Ah
- Cajas de ABS y/o polipropileno de alto impacto
- Separadores de fibra de vidrio
- Válvulas para garantizar un buen desempeño sin necesidad de que se les agregue agua

Especificaciones de la línea Duncan AGM:

Modelo	Voltaje (v)	Cap. Nominal AH (20 horas) 1,75V - 25°C	Dimensiones en milímetros			Peso (kg)
			Largo L	Ancho A	Alto H	
R-65	12	65	255	170	210	21
R-90	12	90	306	169	233	27
R-106	12	106	348	175	270	36
R-150	12	150	485	172	242	44,5
R-200	12	200	522	238	238	61

Anexo 3: Características técnicas de las baterías de ciclo profundo seleccionadas.

LM1577/LM2577 SIMPLE SWITCHER® Step-Up Voltage Regulator

General Description

The LM1577/LM2577 are monolithic integrated circuits that provide all of the power and control functions for step-up (boost), flyback, and forward converter switching regulators. The device is available in three different output voltage versions: 12V, 15V, and adjustable.

Requiring a minimum number of external components, these regulators are cost effective, and simple to use. Listed in this data sheet are a family of standard inductors and flyback transformers designed to work with these switching regulators.

Included on the chip is a 3.0A NPN switch and its associated protection circuitry, consisting of current and thermal limiting, and undervoltage lockout. Other features include a 52 kHz fixed-frequency oscillator that requires no external components, a soft start mode to reduce in-rush current during start-up, and current mode control for improved rejection of input voltage and output load transients.

Features

- Requires few external components
- NPN output switches 3.0A, can stand off 65V
- Wide input voltage range: 3.5V to 40V
- Current-mode operation for improved transient response, line regulation, and current limit
- 52 kHz internal oscillator
- Soft-start function reduces in-rush current during start-up
- Output switch protected by current limit, under-voltage lockout, and thermal shutdown

Typical Applications

- Simple boost regulator
- Flyback and forward regulators
- Multiple-output regulator

Connection Diagrams

**Straight Leads
5-Lead TO-220 (T)**



Top View

Order Number LM2577T-12, LM2577T-15,
or LM2577T-ADJ

See NS Package Number T05A

**Bent, Staggered Leads
5-Lead TO-220 (T)**



Top View

Order Number LM2577T-12 Flow LB03, LM2577T-15
Flow LB03, or LM2577T-ADJ Flow LB03

See NS Package Number T05D