



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

TESINA

CARACTERIZACION DE UN SISTEMA DE LUMINARIA DE LEDs ALIMENTADA POR
CELDA SOLARES y BATERIAS PARA USO EN ALUMBRADO PÚBLICO

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

PRESENTA:
FELIPE DE JESUS MEDINA ANGEL

DIRECTOR DE TESINA: M. I. ROBERTO TOVAR MEDINA



CIUDAD UNIVERSITARIA 29 DE NOVIEMBRE DE 2013

| CAPITULO | PAGINA |
|--|--------|
| I. Objetivo | 4 |
| II. Introducción | 6 |
| 1. Fundamentos | 9 |
| 1.1. Energía solar | 9 |
| 1.1.1. Insolación | 12 |
| 1.1.2. Irradiación | 12 |
| 1.1.3. Irradiación en México | 13 |
| 1.2. Fundamentos lumínicos | 14 |
| 1.2.1. Flujo luminoso | 15 |
| 1.2.2. Intensidad luminosa | 16 |
| 1.2.3. Iluminancia (Iluminación) | 16 |
| 1.2.4. Luminancia (Brillo) | 18 |
| 1.2.5. Rendimiento o eficiencia luminosa | 19 |
| 1.2.6. Cantidad de luz | 19 |
| 1.3. Fundamentos Eléctricos | 19 |
| 1.3.1. Energía eléctrica | 20 |
| 1.3.2. Tensión Eléctrica | 21 |
| 1.3.3. Resistencia Eléctrica | 21 |
| 1.3.4. Corriente Eléctrica | 22 |
| 1.3.5. Potencia Eléctrica | 23 |
| 1.3.6. Ley de Ohm | 25 |
| 2. Generación de energía eléctrica con celdas fotovoltaicas (solares) | 26 |
| 2.1. ¿Cómo funciona un panel solar fotovoltaico? | 26 |
| 2.1.1 Proceso básico de fabricación: | 29 |
| 2.1.2 Bases del funcionamiento de las celdas fotovoltaicas | 30 |
| 2.1.3 Tipos de paneles Fotovoltaicos | 31 |
| 3. Almacenamiento y control de la energía eléctrica generada por CFV | 36 |
| 3.1 Forma en la que se almacena la energía proporcionada por el sol | 37 |
| 3.2 Sistema electrónico de control para almacenamiento de energía eléctrica y su uso en luminarias | 38 |
| 4. Eficiencia luminosa mediante diversas alternativas de lámparas | 39 |
| 4.1 Características de los diferentes tipos de lámparas | 39 |
| 4.1.1. Lámparas incandescentes | 39 |

| | | |
|--------|--|----|
| 4.1.2. | Lámparas de descarga | 39 |
| 4.1.3. | Lámparas fluorescentes | 44 |
| 4.1.4. | Lámparas de vapor de mercurio | 46 |
| 4.1.5. | Lámparas de luz mixta | 47 |
| 4.1.6. | Lámparas de Halogenuros metálicos | 49 |
| 4.1.7. | Lámparas de vapor de sodio a alta presión | 50 |
| 4.1.8. | Lámparas ahorradores (CFL) | 53 |
| 4.1.9. | Lámparas de LEDs | 55 |
| 5. | Análisis del sistema caracterizado | 58 |
| 5.1. | Descripción del sistema empleado | 58 |
| 5.1.1. | Celdas solares | 58 |
| 5.1.2. | Baterías | 59 |
| 5.1.3. | Control de carga y descarga | 59 |
| 5.1.4. | Luminarias | 60 |
| 5.1.5. | Otros materiales para la implementación | 61 |
| 5.2. | Preparativos | 61 |
| 5.3. | Desarrollo de la caracterización | 65 |
| 6. | Impacto ambiental del sistema utilizado antes, durante y después | 74 |
| 6.1. | ¿Qué es el impacto ambiental? | 74 |
| 6.2. | Antes | 74 |
| 6.3. | Durante | 74 |
| 6.4. | Después | 75 |
| a) | Celdas solares | 75 |
| b) | Baterías | 76 |
| c) | Luminarias | 76 |
| d) | Otros materiales para la implementación | 76 |
| 7. | Conclusiones | 77 |
| 8. | Bibliografía | 79 |
| 9. | Anexo | 81 |

I. Objetivo

Uno de los grandes objetivos en la actualidad es la búsqueda de alternativas para atender la necesidad de iluminación pública mediante el uso de tecnologías que reduzcan el consumo de energía eléctrica.

Se propone el uso de la energía solar para generar electricidad en zonas urbanas, en este caso en Ciudad Universitaria, con el fin de obtener un ahorro energético, así como beneficios ambientales, sociales y económicos. El objetivo primordial de éste trabajo fue el de caracterizar un sistema de luminaria alimentada con celdas solares para evaluar la factibilidad de su uso en un proyecto ecológico de sustitución de luminarias convencionales por otras de menor consumo, como las luminarias de LED.

Una de las razones de caracterizar este sistema fue el de verificar si dicho sistema comercial cumple con las especificaciones que el fabricante proporciona.

Especificaciones Tales como el consumo, la durabilidad y la autonomía del sistema.

Todo esto con la finalidad de apoyar el plan maestro de la UNAM, cuyo objetivo es ahorrar 68 millones de dólares en consumo de energía en un lapso de 20 años, esto dado a conocer en el seminario de "Iluminación eficiente para la UNAM"

Tenemos que aclarar que este proyecto no es del todo novedoso, al menos no por el uso de celdas fotovoltaicas puesto que ya hay proyectos similares en México.

En la Ciudad de México podemos encontrar una aplicación de un sistema fotovoltaico en el Parque Ecológico de Loreto y Peña Pobre, donde se construyó la Casa Solar Autosuficiente, por la Fundación El Manantial I.A.P. gracias al apoyo de diversas instituciones, como la Lotería Nacional, el Gobierno del Distrito Federal, la Universidad Metropolitana, Condomex, el Instituto de Ingeniería de la UNAM, Universum, IBM y Solarmex. Es una construcción de 70 [m²], no habitada, la cual solo se utiliza para mostrar a los visitantes el uso doméstico de la energía solar para la generación de energía eléctrica y calentamiento de agua, el funcionamiento y uso de técnicas bioclimáticas, como evitar el desperdicio y contaminación del agua, reciclaje de aguas negras y la separación de desechos orgánicos e inorgánicos. Con el uso de celdas fotovoltaicas la casa logra generar su propia electricidad en un 70 %.

Otro ejemplo del uso de sistemas fotovoltaicos, es el realizado por el Gobierno del Estado de Baja California con el apoyo del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IEE) en viviendas de interés social. El gobierno del estado busca dar una solución al problema de los altos pagos por consumo de energía eléctrica en las viviendas de Mexicali. El programa tiene contemplado instalar el sistema para 220 viviendas de interés social del Fraccionamiento Valle de las

Misiones, considerando 1 [Kw] de capacidad instalada por vivienda, el resto de la energía necesaria para el funcionamiento de los aparatos eléctricos será complementada por la energía proveniente de las instalaciones de Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Cuando la energía generada sea mayor que la requerida por la vivienda, el excedente de energía pasa al sistema de la CFE y se registra (se descuenta) por el medidor bidireccional. Desafortunadamente el modelo no resultó viable para viviendas de interés social como las de Valle de las Misiones, que tienen un costo aproximado de \$178,000 pesos, debido a que el sistema tuvo un costo cercano a los \$80,000 pesos. Por lo que se consideró que es más conveniente para vivienda media y residencial.¹

¹ Gobierno del Estado de Baja California. "Sistemas Fotovoltaicos conectados a la Red Eléctrica". <http://genc.iie.org.mx>

II. Introducción

En la actualidad una de las grandes preocupaciones del hombre es el medio ambiente, en especial el calentamiento global por lo cual se han estado buscando formas de abatir este gran efecto, en todos los ámbitos y campos se están haciendo estudios, entre otras tantas acciones el aminorar el uso de combustibles fósiles, ya que estos con su uso excesivo han generado gases los cuales provocan el efecto invernadero y estos a su vez el calentamiento global. Una de las causas de dicho efecto es el aumento acelerado de la población por lo cual existe una mayor demanda energética (entre otras cosas), principalmente en países en vías de desarrollo. Esta energía es generada principalmente por combustibles fósiles, que son recursos no renovables, esto representa un problema a futuro, ya que llegará el momento en que se agoten y la demanda de energía no podrá ser cubierta; esto nos puede llevar a provocar una crisis energética, una alternativa para la generación de energía es impulsar el uso de las energías renovables o también llamadas alternas.

Ahora, por el lado del uso de combustibles fósiles estos emiten grandes cantidades de bióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera. Éste gas, junto con el vapor de agua (H_2O), el metano (CH_4), los óxidos de nitrógeno (NO_x), el ozono (O_3) y los clorofluorocarbonos (CFC), son responsables del efecto invernadero. El efecto invernadero es un fenómeno natural en el cual los gases mencionados anteriormente retienen parte de la radiación infrarroja de onda larga que es emitida por la Tierra hacia el espacio, debido a que durante el día, la Tierra recibe radiación proveniente del Sol, una fracción es reflejada, pero la mayor parte se absorbe en la superficie y una menor parte en la atmósfera. Gracias a la capa de gases de la troposfera, no se pierde por completo el calor recibido del sol y se mantiene un equilibrio térmico en el planeta².

Pero como consecuencia de los altos niveles de CO_2 generados por las actividades humanas, el efecto invernadero se ha alterado contribuyendo al calentamiento global, es una teoría que predice un aumento en la temperatura media de la atmósfera terrestre y los océanos, también es llamado cambio climático antropogénico, ya que se le atribuye al hombre, principalmente a partir de la Revolución Industrial. Los cambios en el clima que se han producido durante la vida del planeta se debieron a variaciones solares y a la actividad volcánica, dichos cambios se produjeron durante largos períodos de tiempo, sin embargo se han realizado modelos que predicen que si no se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, las temperaturas continuarán subiendo, en un lapso de tiempo menor, lo que puede provocar ondas de calor, un aumento en el nivel del mar y las lluvias, entre otros fenómenos.³

² Cambio climático en México. Instituto Nacional de Ecología. http://cambio_climatico.ine.gob.mx

³ Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group I : The physical Basis of Climate Change

Hasta el día de hoy todas las formas que se conocen y utilizan para la generación de energía eléctrica contaminan, en la siguiente tabla se muestra las cantidades de contaminantes que generan cada una de estas.

| FUENTE DE ENERGÍA | CO ₂ | NO ₂ | SO ₂ | PARTÍCULAS | CO | HIDRO- | RESIDUOS | TOTAL |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------|--------|----------|-----------|----------|
| | | | | | | CARBUROS | NUCLEARES | |
| Carbón | 1,058.20 | 2,986 | 2.971 | 1.626 | 0.267 | 0.102 | - | 1,066.10 |
| Gas Natural (ciclo combinado) | 824 | 0.251 | 0.336 | 1.176 | TR | TR | - | 825.8 |
| Nuclear | 8.6 | 0.034 | 0.029 | 0.003 | 0.018 | 0.001 | 3.641 | 12.3 |
| Fotovoltaica | 5.9 | 0.008 | 0.023 | 0.017 | 0.003 | 0.002 | - | 5.9 |
| Biomasa | 0 | 0.614 | 0.154 | 0.512 | 11.361 | 0.768 | - | 13.4 |
| Geotérmica | 56.8 | TR | TR | TR | TR | TR | - | 56.8 |
| Eólica | 7.4 | TR | TR | TR | TR | TR | - | 7.4 |
| Solar (Térmica) | 3.6 | TR | TR | TR | TR | TR | - | 3.6 |
| Hidráulica | 6.6 | TR | TR | TR | TR | TR | - | 6.6 |

Tabla No. 1 Comparación del Impacto Ambiental de las diferentes formas de Producir Electricidad (en Toneladas por GWh producida)^{4*}

Con lo cual se muestra que de las diferentes formas de obtener energía, las dos que dependen del sol (térmica y fotovoltaica) son las que menos contaminan.

Hay que destacar que en México se han hecho grandes esfuerzos por aminorar las emisiones de gases de efecto invernadero, esto dado a conocer en el Balance Nacional de Energía (BNE).

Entre los aspectos relevantes del BNE se registra que las emisiones del sector energético se redujeron 3.9 %, disminución más pronunciada que la del consumo nacional de energía.

También se destaca que se logró disminuir la intensidad energética, respecto a 2008, en las industrias azucarera (2.1 %), minera (3.9 %), petroquímica de Pemex (6.5 %), cementera (1.0 %), cervecera (7.9 %) y de aguas envasadas (11.9 %).

Entre los datos más destacados que presenta el BNE es que el envío de gas a la atmósfera disminuyó 20.7 %, lo que se tradujo en un aumento de 4.6 puntos porcentuales en el aprovechamiento del gas natural, que pasó de 80.7 % en 2008 a 85.3 % en 2009.

⁴ Fuentes: US Department of Energy, Council for Renewable Energy Education y AEDENAT.

TR= trazas.

NOTA: Los valores de emisiones consideran también las emitidas durante el periodo de construcción de los equipos.

Por otra parte, la producción de energía solar aumentó a una tasa promedio anual de 15.7 % durante el periodo 2000-2009⁵.

Ahora, por otro lado, una de las tantas formas en las que se está trabajando para el ahorro de energía eléctrica, es en iluminación por lo cual se hace un estudio de una luminaria a base de diodos emisores de luz normalmente llamados LEDs y aunado a esto para reducir aún más el uso de combustibles así como intentar de ser lo menos dependientes de la red eléctrica, esta luminaria es alimentada por medio de celdas solares aprovechando la energía proporcionada por el sol, pero la caracterización se basa realmente a la luminaria de LEDs.

Son muchos los beneficios de la luz LED de alta potencia, en la actualidad pueden tener una duración de hasta 100,000 horas en los LEDs de mas reciente creación, no obstante la mayoría todavía se encuentran en promedio en las 50,000 horas, esto es posible porque no tienen filamentos, este hecho hace que no se fundan como lo hacen los focos tradicionales. Estos dispositivos de estado sólido son muy resistentes a los golpes.

Día a día, estos diodos emisores de luz (LEDs) ganan terreno a la iluminación tradicional que todos conocemos, sobre todo por las ventajas que nos presentan son muchas y entre una de esas es su rendimiento lumínico, que es muy notable.

Hay que hacer notar que en la actualidad para iluminación se están utilizando en su mayoría, para casas habitación, focos incandescentes los cuales la mayor parte de la energía eléctrica se transforma en energía calorífica y solo una mínima parte de esta se aprovecha en energía lumínica, y en iluminación exterior se utilizan de vapor de sodio que son más eficientes que los anteriores pero aun así el gasto de energía es considerable, es debido a esto que se trata de evaluar que tan viable es el cambio de luminarias de estos tipos por unas a base de LEDs.

⁵Fuente: Secretaría de Energía publicó el Balance Nacional de Energía (BNE)

1. Fundamentos

En lo que respecta a estos nuevos LEDs no emiten luz ultravioleta, ni infrarroja, además de que no calientan la superficie a la que iluminan, pero para nosotros la mejor ventaja es su reducido consumo y su alta eficiencia. Un foco incandescente emplea sólo, de un 10% a un 15% de cada watt para iluminar, mientras que el resto es calor pero en los LEDs, es totalmente lo contrario, un 90% de iluminación y un 10% de calor.

Además otra cualidad es que no tiene pérdidas por reflexión, los sistemas como los dicroicos necesitan de reflectores para concentrar la luz al lugar donde queremos iluminar, por lo que se pierde aproximadamente un 60% de su efectividad, mientras que el LED no necesita de estos sistemas y la luz puede ser dirigida a la zona que queramos con una eficiencia del 90%.

Esta nueva iluminación empieza a aplicarse en varios lugares, por poner un ejemplo, la empresa Asertecsing ha instalado recientemente en el aeropuerto de Gran Canarias los LEDs, dándole una nueva mejora al aeropuerto en cuanto a iluminación se refiere, gracias a esta iluminación, desaparecen los deslumbramientos y la luz es dirigida a la zona de paso, a diferencia de las lámparas tradicionales. Seguramente es el primer aeropuerto del mundo que lo utiliza como iluminación y no como señalización.

Como curiosidad sobre esta nueva forma de iluminación, acaba de salir al mercado una nueva serie de estos LEDs especiales con una capacidad de 140 lúmenes por watt, realmente una gran iluminación para un tamaño tan pequeño.

1.1. Energía solar

El sol es una fuente de energía natural y renovable, es una estrella cuya superficie se encuentra a una temperatura media de 5,500 [K], la energía solar se produce por fusión nuclear, en este proceso los núcleos de los átomos de hidrógeno se transforman en helio, liberando grandes cantidades de energía. A través de la convección y la radiación, la energía del núcleo alcanza la superficie solar y se desprende en forma de luz y calor.

La energía que procede del sol es fuente directa o indirecta de casi toda la energía que usamos. Los combustibles fósiles existen gracias a la fotosíntesis que convirtió la radiación solar en las plantas y animales de las que se formaron el carbón, gas y petróleo. El ciclo del agua que nos permite obtener energía hidroeléctrica es movido por la energía solar que evapora el agua, forma nubes y las lleva tierra adentro donde caerá en forma de lluvia o nieve. El viento también se forma cuando unas zonas de la atmósfera son calentadas por el sol en mayor medida que otras.

El aprovechamiento directo de la energía del sol se hace de diferentes formas:

A) Calentamiento directo de locales por el sol

En invernaderos, viviendas y otros locales, se aprovecha el sol para calentar el ambiente. Algunos diseños arquitectónicos buscan aprovechar al máximo este efecto y controlarlo para poder disminuir el uso de calefacción o de aire acondicionado.

B) Acumulación del calor solar

Se hace con paneles o estructuras especiales colocadas en lugares expuestos al sol, como los tejados de las viviendas, en los que se calienta algún fluido que almacena el calor en depósitos. Se usa, sobre todo, para calentar agua y puede suponer un importante ahorro energético si tenemos en cuenta que en un país desarrollado más del 5% de la energía consumida se usa para calentar agua.

C) Generación de electricidad

Se puede generar electricidad a partir de la energía solar por varios procedimientos. En el sistema termal, la energía solar se usa para cambiar de estado al agua en vapor en dispositivos especiales. En algunos casos se usan espejos cóncavos que concentran el calor sobre tubos que contienen aceite, el aceite alcanza temperaturas de varios cientos de grados y con él se calienta agua hasta la ebullición, con el vapor se genera electricidad en turbinas.

Con algunos dispositivos de estos se consiguen rendimientos de conversión en energía eléctrica del orden del 20% de la energía calorífica que llega a los colectores

La luz del sol se puede convertir directamente en electricidad usando el efecto fotoeléctrico. Las celdas fotovoltaicas no tienen rendimientos muy altos. La eficiencia media en la actualidad es de un 10 a un 15 %, aunque algunos prototipos experimentales logran eficiencias de hasta el 30 %. Por esta razón se necesitan grandes extensiones si se quiere producir energía en grandes cantidades.

Uno de los problemas de la electricidad generada con el sol es que sólo se puede producir durante el día, es difícil y cara para almacenar. Para intentar solucionar este problema se están investigando diferentes tecnologías. Una de ellas usa la electricidad para disociar el agua por electrólisis, en oxígeno e hidrógeno. Después el hidrógeno se usa como combustible para regenerar agua, produciendo energía por la noche.

La producción de electricidad por estos sistemas es más cara, en condiciones normales, que por

los sistemas convencionales. Sólo en algunas situaciones especiales compensa su uso, aunque las tecnologías van avanzando rápidamente y en el futuro pueden jugar un importante papel en la producción de electricidad. En muchos países en desarrollo se están usando con gran aprovechamiento en las casas o granjas a los que no llega el suministro ordinario de electricidad porque están muy lejos de las centrales eléctricas.

El elemento clave en la conversión directa de la energía solar a eléctrica, son los paneles fotovoltaicos, experimentan en la actualidad una demanda sin precedentes. Los problemas derivados del cambio climático y la progresiva concientización han provocado un cambio de mentalidad hacia este producto.

Elementos principales de un sistema fotovoltaico

El panel fotovoltaico o solar es el elemento encargado de captar la energía del sol y de transformarla en energía eléctrica para que pueda ser usada. Asociado a los paneles existen otros componentes que se utilizan en las instalaciones como elementos de seguridad o que amplían las posibilidades del uso de la instalación. Los componentes esenciales de una instalación fotovoltaica son:

Regulador: Es el elemento que regula la inyección de corriente desde los paneles a la batería. El regulador interrumpe el paso de energía cuando la batería se halla totalmente cargada evitando así los negativos efectos derivados de una sobrecarga. En todo momento el regulador controla el estado de carga de la batería para permitir el paso de energía eléctrica proveniente de los paneles cuando esta empieza a bajar.

Batería: Almacena la energía de los paneles para los momentos en que no hay sol, o para los momentos en que las características de la energía proporcionada por los paneles no es suficiente o adecuada para satisfacer la demanda (falta de potencia al atardecer, amanecer o días nublados). La naturaleza de la radiación solar es variable a lo largo del día y del año, la batería es el elemento que solventa este problema ofreciendo una disponibilidad de energía de manera uniforme durante todo el año.

Inversores: El elemento que transforma las características de la corriente de continua a alterna. La mayoría de los aparatos eléctricos funcionan con corriente alterna y tanto los paneles como las baterías suministran energía eléctrica en forma de corriente continua. Es por ello que se hace necesario este elemento que modifique la naturaleza de la corriente y la haga apta para su consumo por muchos aparatos.

1.1.1. Insolación

La insolación es la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la Tierra en un día concreto (insolación diaria) o en un año (insolación anual).

Puede calcularse asumiendo que no hay atmósfera o que se mide en la parte alta de la atmósfera y se denomina insolación diaria o anual no atenuada o que se mide en la superficie de la Tierra para lo cual hay que tener presente la atmósfera y que en este caso se denomina atenuada siendo su cálculo mucho más complejo.

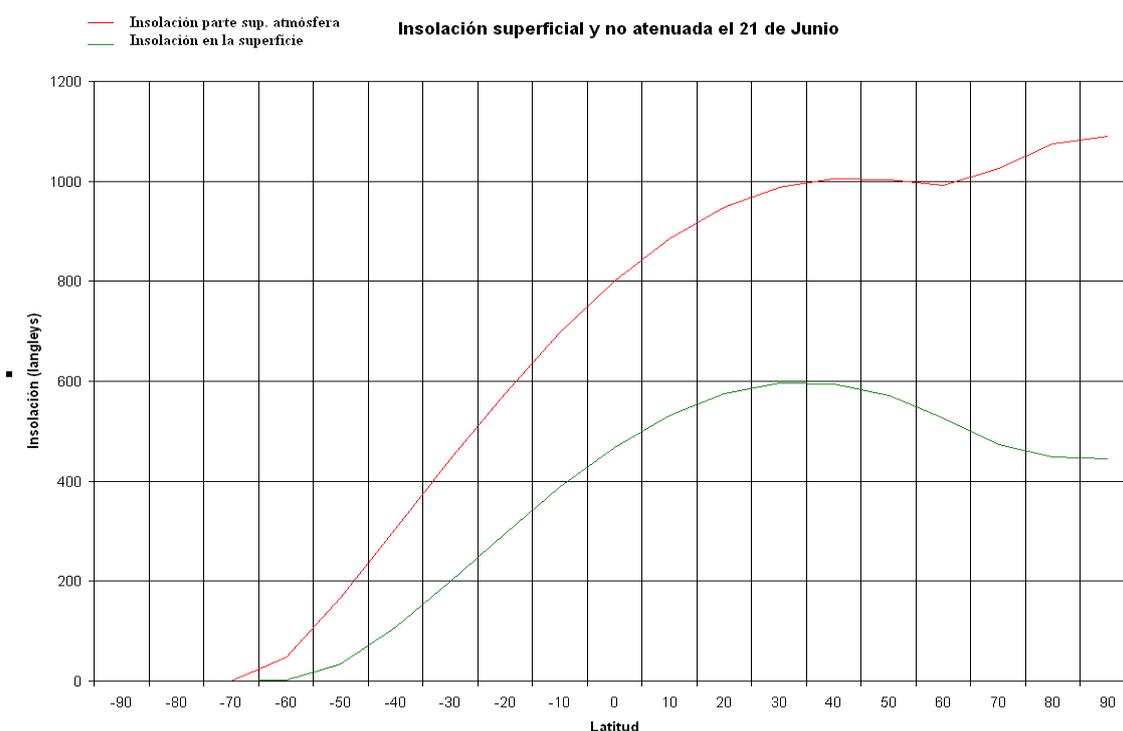


Ilustración No. 1 insolación atenuada y no atenuada

1.1.2. Irradiación

La irradiación es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. En unidades del sistema internacional se mide en $[\frac{W}{m^2}]$. La irradiación (*irradiance*) es el flujo radiante que incide sobre una superficie por unidad de área. Se mide en WATTS por metro cuadrado $[\frac{W}{m^2}]$. La irradiación se especifica por cada punto de una superficie y, en muchos casos, varía de un punto a otro.

También se la utiliza para definir la constante solar, cantidad de energía solar que llega a la atmósfera superior de la Tierra por unidad de superficie y tiempo. Su valor es de $1367 [\frac{W}{m^2}]$ según la escala del World Radiation Reference Centre (WRRC), de $1373 [\frac{W}{m^2}]$ según la

Organización Mundial de Meteorología (WMO de sus siglas en inglés) o de $1353 \left[\frac{W}{m^2} \right]$ según la NASA.

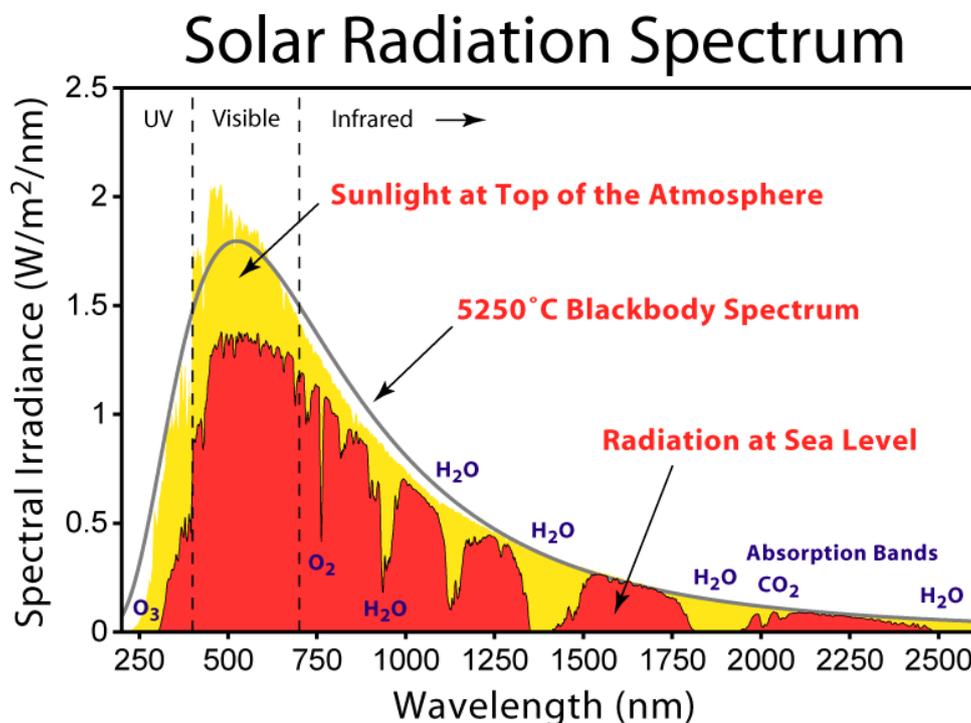


Ilustración No. 2 Espectro de la radiación solar

1.1.3. Irradiación en México

El conocimiento general que se tiene de la energía solar en nuestro país indica que más de la mitad del territorio nacional presenta en promedio, una densidad energética de $5 \left[\frac{kW}{h} \right]$ por metro cuadrado al día. En la República Mexicana la tecnología fotovoltaica se utiliza principalmente para aplicaciones de baja potencia en sitios alejados de la red eléctrica, aunque existen ejemplos de su uso en viviendas en zonas urbanas. Considerando eficiencias del 10% para los dispositivos en el mercado, se puede decir que con 200 $[km^2]$ de área de colección de radiación solar se podría dar electricidad a todos los hogares de México⁶.

Los datos de la siguiente tabla corresponden a los registros que se han obtenido en las diferentes estaciones meteorológicas instaladas en el Distrito Federal y el Estado de México. Como puede observarse, la irradiación media anual en nuestro país, es del orden de los $5 \left[\frac{kW}{m^2} \text{ día} \right]$, un valor que se encuentra entre los más altos registrados en el planeta y comparado con los países que aprovechan más la energía solar como Alemania que tiene una irradiación

⁶ Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) <http://www.conae.gob.mx>

entre 1 [$\frac{kW}{m^2} d\acute{a}$] y 2 [$\frac{kW}{m^2} d\acute{a}$] o Japón con valores entre 2 [$\frac{kW}{m^2} d\acute{a}$] y 3 [$\frac{kW}{m^2} d\acute{a}$],⁷ por lo cual podemos decir que es factible el aprovechamiento de la energía solar en nuestro país.

| MES DEL AÑO | ESTADO CIUDAD | D.F. TACUBAYA | MÉXICO TOLUCA | MÉXICO CHAPINGO | MÍNIMO | MÁXIMO | PROMEDIO |
|-------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|--------|--------|----------|
| | Ene. | 4.4 | 4.4 | 4.5 | 3.1 | 5.4 | 4.1 |
| | Feb. | 5.2 | 4.9 | 5.1 | 3.3 | 6.3 | 4.7 |
| | Mar. | 5.8 | 5.3 | 5.6 | 3.1 | 6.6 | 5.3 |
| | Abr. | 5.8 | 5.4 | 5.8 | 3.8 | 7.5 | 5.7 |
| | May. | 5.7 | 5.2 | 5.9 | 4.1 | 8.3 | 5.9 |
| | Jun. | 5.1 | 5.2 | 5.4 | 4.4 | 8.6 | 5.6 |
| | Jul. | 4.9 | 4.9 | 5.2 | 4.5 | 7 | 5.6 |
| | Ago. | 4.9 | 4.9 | 5.2 | 4.5 | 6.6 | 5.5 |
| | Sep. | 4.7 | 4.6 | 5 | 4.1 | 6.7 | 5.1 |
| | Oct. | 4.4 | 4.4 | 4.7 | 3.5 | 6 | 4.7 |
| | Nov. | 4.2 | 4.2 | 4.6 | 3.1 | 5.7 | 4.3 |
| | Dic. | 3.8 | 3.9 | 3.9 | 2.8 | 5.6 | 3.8 |
| | Min | 3.8 | 3.9 | 3.9 | 2.8 | 5.4 | 3.8 |
| | Max | 5.8 | 5.4 | 5.9 | 4.5 | 8.6 | 5.9 |
| Promedio | 4.9 | 4.8 | 5.1 | 3.7 | 6.7 | 5 | |

Tabla No. 2 Irradiación Global Media en la República Mexicana. Datos en [$\frac{kW}{m^2} d\acute{a}$],⁸

1.2 Conceptos lumínicos

Como ya sabemos, la luz es una forma de radiación electromagnética comprendida entre los 350 [nm] y los 780 [nm] de longitud de onda a la que es sensible el ojo humano. Pero esta sensibilidad no es igual en todo el intervalo y tiene su máximo para 555 [nm], que está en el intervalo del color amarillo-verdoso, descendiendo hacia los extremos (violeta y rojo). Con la fotometría se podrán realizar los cálculos de iluminación. Por lo tanto empezaremos a explicar estos conceptos.

La luz, al igual que las ondas de radio, los rayos X o los gamma son una forma de energía. Si la energía se mide en joule [J] en el Sistema Internacional, lo que podríamos pensar es, ¿por qué no utilizar esas unidades?, La razón es que no toda la luz emitida por una fuente llega al ojo y nos produce una sensación luminosa, ni toda la energía que se consume, como por ejemplo,

⁷ SÚRI M.,[et al.], 2007.Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. Solar Energy, 81, 1295–1305, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.

⁸ Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE)

una lámpara, no toda esa energía se convierte en luz. Todo esto se ha de evaluar de alguna manera y para ello se definirán nuevas magnitudes que no se habían nombrado como son el flujo luminoso, la intensidad luminosa, la iluminancia, la luminancia, el rendimiento o eficiencia luminosa y la cantidad de luz.

1.2.1. Flujo luminoso

Para empezar a formarnos una idea consideremos dos lámparas, una de 25 [W] y otra de 60 [W]. Lo primero que nos preguntaríamos es, ¿cuál ilumina más? o dicho de otra forma ¿cuál lámpara brilla más? Es lógico pensar que la de 60[W] dará una luz más intensa que la de 25[W].

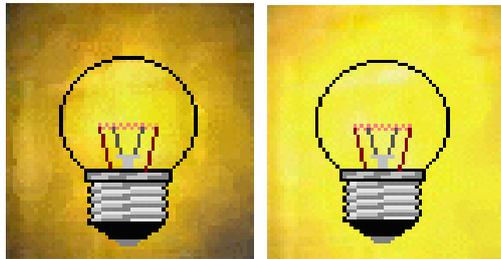


Ilustración No. 3 Diferencia entre lámparas de 25 y 60 [W] respectivamente

Cuando hablamos de 25 [W] o 60 [W] nos referimos sólo a la potencia consumida por cada lámpara de la cual solo una parte se convierte en luz visible, esto es el llamado flujo luminoso. Podría medirse en watts [W], pero parece más sencillo definir una nueva unidad, el "lumen", que tome como referencia la radiación visible. Con algunas pruebas de laboratorio se demuestra que a una radiación con longitud de onda de 555 [nm] de 1 [W] de potencia, emitida por un cuerpo negro⁹ le corresponden 683 lumen [lm].

Se define el flujo luminoso como la potencia, [W], emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible. Su símbolo es Φ y su unidad es el lumen [lm]. A la relación entre watts y lúmenes se le llama equivalente luminoso de la energía y equivale a:

$$1 \text{ watt-luz a } 555 \text{ [nm]} = 683 \text{ [lm]}$$

| | |
|----------------|--------------------|
| Flujo luminoso | Símbolo: Φ |
| | Unidad: lumen (lm) |

⁹ Cuerpo negro, Es aquel que absorbe toda la energía en forma de radiación que incide sobre él en cualquier dirección y longitud de onda pero también emite la máxima radiación posible a cualquier temperatura es un absorbedor y un emisor perfecto.

1.2.2. Intensidad luminosa

El flujo luminoso nos da una idea de la cantidad de luz que emite una fuente de luz, como por ejemplo una lámpara, en todas las direcciones del espacio. Sin embargo, si pensamos en un proyector es fácil darse cuenta que sólo ilumina en una dirección, por eso necesitamos conocer cómo se distribuye el flujo lumínico en cada dirección del espacio y para eso definimos la intensidad luminosa.



Ilustración No. 4 Diferencia entre flujo e intensidad luminosa.

Se conoce como intensidad luminosa al flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido en una dirección concreta. Su símbolo es I y su unidad la candela, [cd].

| | | |
|--|----------------------|--|
| Intensidad luminosa $I = \frac{\Phi}{\omega}$ | Símbolo: I | |
| | Unidad: candela [cd] | |

1.2.3. Iluminancia (Iluminación)

Quizás alguna vez hayas iluminado con una linterna objetos situados a diferentes distancias. Si se ponía la mano delante de la linterna observábamos que estaba fuertemente iluminada por un círculo pequeño y si se iluminaba a una pared lejana el círculo era grande y la iluminación más débil. Esta sencilla experiencia nos hace entender muy fácil el concepto de iluminancia.



Ilustración No. 5 Concepto de iluminancia.

Se define la iluminancia como el flujo luminoso recibido por una superficie. Su símbolo es E y su unidad es el lux [lx] que es un $[\frac{lm}{m^2}]$.

| | | |
|-------------------------------------|------------------|---------------------------|
| Iluminancia $E = \frac{\Phi}{S}$ | Símbolo: E | $lux = \frac{lumen}{m^2}$ |
| | Unidad: lux (lx) | |

Existe también otra unidad, el foot-candle [fc], utilizada en países de habla inglesa cuya relación con el lux es:

$$1 [fc] \approx 10 [lx]$$

$$1 [lx] \approx 0.1 [fc]$$

En el ejemplo de la linterna se puede ver que la iluminancia depende de la distancia de la fuente de iluminación al objeto iluminado. Es algo similar a lo que ocurre cuando oímos alejarse un automóvil; al principio se oye fuerte y claro, pero después al irse alejando va disminuyendo hasta perderse el sonido. Lo que ocurre con la iluminancia se conoce por la ley inversa de los cuadrados que relaciona la intensidad luminosa (I) y la distancia a la fuente. Esta ley solo es válida si la dirección del rayo de luz incidente es perpendicular a la superficie.

La ley inversa de los cuadrados es: $E = \frac{I}{r^2}$

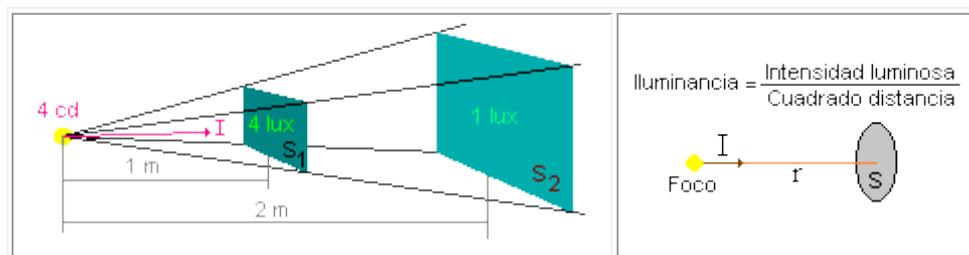


Ilustración No. 6 Concepto grafico de la Ley inversa de los cuadrados

¿Qué ocurre si el rayo no es perpendicular?, En este caso hay que descomponer la iluminancia recibida en una componente horizontal y en otra vertical a la superficie.

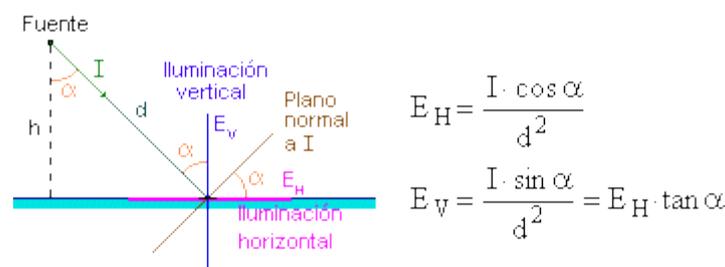


Ilustración No. 7 Componentes Horizontal y Vertical

A la componente horizontal de la iluminancia (E_H) se le conoce como la ley del coseno¹⁰.

Es fácil ver que si $\alpha = 0$ nos queda la ley inversa de los cuadrados. Si expresamos E_H y E_V en función de la distancia del foco a la superficie (h) nos queda:

$$E_H = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{h^2}$$

$$E_V = \frac{I \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha}{h^2}$$

En general, si un punto está iluminado por más de una lámpara su iluminancia total es la suma de las iluminancias recibidas:

$$E_H = \sum_{i=1}^n \frac{I_i \cdot \cos^3 \alpha_i}{h_i^2}$$

$$E_V = \sum_{i=1}^n \frac{I_i \cdot \cos^2 \alpha_i \cdot \sin \alpha_i}{h_i^2}$$

1.2.4. Luminancia (Brillo)

Hasta ahora hemos hablado de magnitudes que informan sobre propiedades de las fuentes de luz (flujo luminoso o intensidad luminosa) o sobre la luz que llega a una superficie (iluminancia). Pero no hemos dicho nada de la luz que llega al ojo que a fin de cuentas es la que vemos y que realmente nos interesa para nuestro estudio. De esto trata la luminancia. Tanto en el caso que veamos un foco encendido como en el que veamos luz reflejada procedente de un cuerpo la definición es la misma.

Se llama luminancia a la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. Su símbolo es L y su unidad es la $[\frac{cd}{m^2}]$. También es posible encontrar otras unidades como el stilb ($1 [sb] = 1 [\frac{cd}{m^2}]$) o el nit ($1 [nt] = 1 [\frac{cd}{m^2}]$).

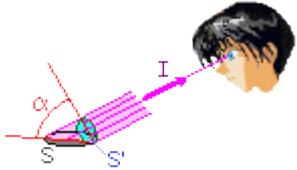
| | | |
|--|--|--|
| <p style="text-align: center;">Luminancia</p> $L = \frac{I}{S_{\text{aparente}}} = \frac{I}{S \cdot \cos \alpha}$ | <p style="text-align: center;">Símbolo: L</p> |  |
| <p style="text-align: center;">Unidad: $[\frac{cd}{m^2}]$</p> | | |

Ilustración No. 8 Concepto de Luminancia

Es importante resaltar que sólo vemos luminancias, no iluminancias.

¹⁰ En un triángulo el cuadrado de cada lado es igual a la suma de los cuadrados de los otros dos menos el doble producto del producto de ambos por el coseno del ángulo que forman.
 $a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos A$

1.2.5. Rendimiento luminoso o eficiencia luminosa

Ya mencionamos al hablar del flujo luminoso que no toda la energía eléctrica consumida por una lámpara (incandescente, fluorescente, etc.) se transforma en luz visible. Parte se pierde en calor y parte en forma de radiación no visible (infrarrojo o ultravioleta).

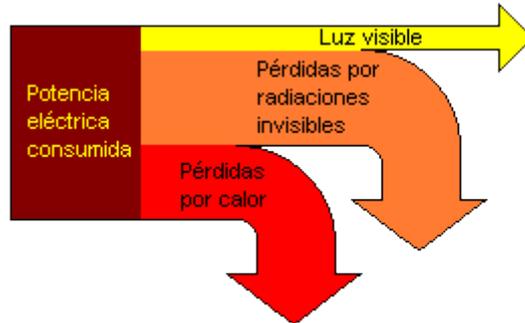


Ilustración No. 9 Pérdidas de una fuente luminosa

Para hacernos una idea de la porción de energía útil definimos el rendimiento luminoso como el cociente entre el flujo luminoso producido y la potencia eléctrica consumida, que viene con las características de las lámparas (25 [W], 60 [W]...). Mientras mayor sea, mejor será la lámpara y menos gastará. La unidad es el lumen por watt [$\frac{lm}{w}$].

| | | |
|-------------------------|----------------------------|---|
| Rendimiento luminoso | Símbolo: η | Rendimiento = $\frac{\text{Flujo luminoso}}{\text{Potencia consumida}}$ |
| $\eta = \frac{\Phi}{W}$ | Unidad: [$\frac{lm}{w}$] | |

1.2.6. Cantidad de luz

Esta magnitud sólo tiene importancia para conocer el flujo luminoso que es capaz de dar un flash fotográfico o para comparar diferentes lámparas según la luz que emiten durante un cierto periodo de tiempo. Su símbolo es Q y su unidad es el lumen por segundo [lm·s].

| | |
|--------------------|--------------|
| Cantidad de luz | Símbolo: Q |
| $Q = \Phi \cdot t$ | Unidad: lm·s |

1.3 Fundamentos Eléctricos

1.3.1. Carga eléctrica

De acuerdo al concepto actual de la materia y visto desde el punto de vista de la Física, la carga eléctrica es una propiedad que nace de la estructura misma de la materia, de su estructura atómica; Esta idea consiste en que la materia está compuesta por átomos y este a su

vez está conformado por partículas elementales electrones, protones y neutrones, los cuales están conformados por la misma cantidad de cargas eléctricas positivas (protones) y cargas negativas (electrones), además de partículas eléctricamente neutras (neutrones).

En términos simples podríamos decir que:

“Un objeto que tiene un exceso de electrones está cargado negativamente, y un objeto que tiene una deficiencia de electrones está cargado positivamente.”

Coulomb¹¹ encontró experimentalmente que la fuerza de atracción o repulsión, entre cargas de signos opuestos o iguales, respectivamente, son directamente proporcionales al producto de la intensidad de sus cargas e inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia que las separa, a este enunciado es a lo que se le llama ley de Coulomb.

Para lograr que un cuerpo quede cargado eléctricamente requerimos que haya en él un exceso de uno de los dos tipos de carga positiva (+) o negativa (-), lo cual podremos lograr haciendo uso de tres diferentes procesos:

- Frotamiento
- inducción y
- contacto

1.3.2. Energía eléctrica

Se denomina energía eléctrica a la forma de energía resultante de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permitirá establecer una corriente eléctrica entre ambos puntos si se los coloca en contacto por medio de un conductor eléctrico para obtener algún tipo de trabajo.

La energía eléctrica es una energía capaz de transformarse en muchísimas otras formas de energía, por mencionar algunas: energía luminosa, energía térmica y energía mecánica. El proceso de transformación funciona de la siguiente manera, la energía eléctrica se transformará en corriente eléctrica por medio de un conductor metálico por efecto de la diferencia de potencial (Tensión) que un generador esté en ese momento aplicando en sus extremos. Por lo tanto cada vez que accionamos un interruptor de cualquier aparato lo que sucede es el cierre de un circuito eléctrico, generándose el pertinente movimiento de electrones a través del cable conductor, las cargas que se irán desplazando forman parte de los átomos.

¹¹ Charles Coulomb, (Angulema, Francia, 1736-París, 1806) Físico francés. Su celebridad se basa sobre todo en que enunció la ley física que lleva su nombre (ley de Coulomb)

El principal uso que se le da a esta energía es para su uso en la tecnología la cual la constituye como uno de sus pilares fundamentales, teniendo para el ser humano, salvo en aplicaciones muy complejas y singulares, una utilidad directa. La razón de su uso, podría decirse un tanto indiscriminado, tanto en procesos como en aparatos de la más diversas características y usos se debe principalmente a su relativa sencillez para su generación, fácil transporte y su fácil conversión en otras formas de energía.

La generación de energía eléctrica es una de las actividades humanas más requeridas en la actualidad independientemente de la forma en que se emplee.

1.3.3. Tensión eléctrica

Es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. Y depende exclusivamente del potencial eléctrico que haya en dos puntos diferentes A y B, por ejemplo.

En otras palabras, el voltaje, tensión o diferencia de potencial es el impulso que necesita una carga eléctrica para que pueda fluir por el conductor de un circuito eléctrico cerrado. Este movimiento de las cargas eléctricas por el circuito se establece a partir del polo negativo de la fuente de FEM hasta el polo positivo de la propia fuente.

La Unidad de medida de la diferencia de potencial eléctrico o tensión eléctrica es el volt y su símbolo es [V].

1.3.4. Resistencia eléctrica

Cualquier material natural ofrece oposición al paso de la corriente eléctrica a través de ella. Este efecto se llama resistividad, y se enuncia de la siguiente manera "Se denomina resistencia eléctrica [R] de una sustancia o materia a la oposición que encuentra la corriente eléctrica para circular a través de dicha sustancia". En otras palabras "es la propiedad que tienen los cuerpos de oponerse, en cierto grado, al paso de la corriente eléctrica". Hay que hacer mención y para no confundir entre la propiedad de los cuerpos y dispositivos utilizados en electrónica, las resistencias son componentes eléctricos pasivos los cuales son fabricados en diferentes materiales y capacidades Hay que puntualizar, para que no haya malos entendidos, que a veces a las resistencias se le denominan resistores, en la que la tensión que se les aplica es proporcional a la intensidad de corriente que circula por ellos.

Generalmente la resistencia de un material aumenta cuando aumenta la temperatura. También la resistencia de un conductor es proporcional a la longitud de éste e inversamente proporcional a su sección, la medición de la resistencia se hace en ohmios y su símbolo es [Ω].

Los materiales, desde la perspectiva del fenómeno eléctrico, pueden clasificarse como:

- Conductores.
- Semiconductores.
- Aislantes.

En los conductores existen electrones cuya fuerza eléctrica que los une a la estructura atómica son más débiles que en el caso de los semiconductores o aislantes, en los que tales fuerzas son considerablemente mayores. No se trata de una clasificación en la que algunos materiales conducen y otros no, sino de una clasificación en base al trabajo necesario para separar un electrón de su estructura atómica y lograr que fluya a través del material o dicho de otra forma la clasificación se da considerando la facilidad o dificultad, con que tales materiales permiten que la carga eléctrica fluya a través de ellos, los materiales conductores presentan una resistividad casi nula, los aislantes no permiten el flujo de corriente y los semiconductores presentan cierta resistencia.

La unidad de medida de la resistencia eléctrica es el Ohm y se representa por la letra griega omega [Ω] y se expresa con la letra "R".

1.3.5. Corriente eléctrica

La corriente eléctrica es una corriente de electrones que atraviesa un material o dicho de otra forma "La corriente o intensidad eléctrica es el flujo de carga por unidad de tiempo que recorre en un material" esto se debe al movimiento de los electrones en el interior del material. En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en [$\frac{C}{s}$] (coulomb sobre segundo), unidad que se denomina Amper [A] y se simboliza con la letra I.

Algunos materiales como los "conductores" tienen electrones libres que pasan con facilidad de un átomo a otro. Estos electrones libres, si se mueven en una misma dirección conforme saltan de un átomo a otro átomo, se vuelven en su conjunto, una corriente eléctrica. Para lograr que este movimiento de electrones se dé en un sentido o dirección, es necesaria una fuente de energía externa.

Cuando se coloca un material eléctricamente neutro entre dos cuerpos cargados con diferente potencial (tienen diferente carga), los electrones se moverán desde el cuerpo con potencial más negativo hacia el cuerpo con potencial más positivo.



Ilustración No. 10 Movimiento de los electrones

Los electrones viajan del potencial negativo al potencial positivo. Sin embargo se toma por convención que el sentido de la corriente eléctrica va desde el potencial positivo al potencial negativo.

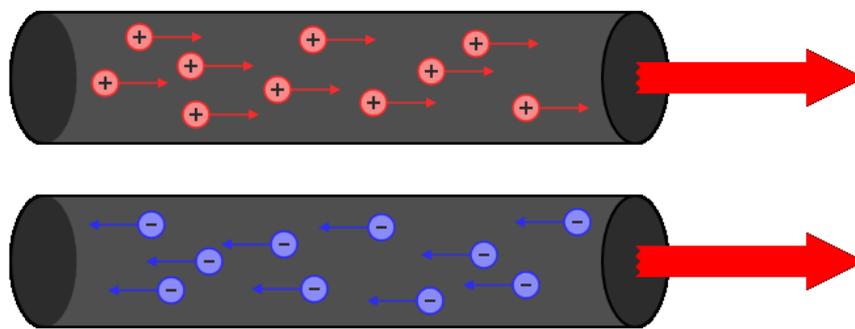


Ilustración No. 11 La corriente eléctrica, por convención fluye en dirección contraria al desplazamiento de los electrones.

Esto se puede visualizar como el espacio (hueco) que deja el electrón al moverse de un potencial negativo a un positivo, Este hueco es positivo (ausencia de un electrón) y circula en sentido opuesto al electrón.

1.3.6. Potencia eléctrica

Es la relación de paso de un flujo de energía por unidad de tiempo, es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el Watt [W].

La formula de la potencia eléctrica es:

$$P = V \times I$$

Donde:

- P= potencia eléctrica en watts, W.
- V=tensión eléctrica (voltaje) en Volts, V.
- I=corriente eléctrica en Amper, A.

Esto es con respecto a la corriente eléctrica directa o comúnmente llamada continua, pero para que no haya malos entendidos explicaremos que pasa con la corriente alterna, solo en la potencia eléctrica de corriente alterna de acuerdo a la carga que le pongamos podremos tener:

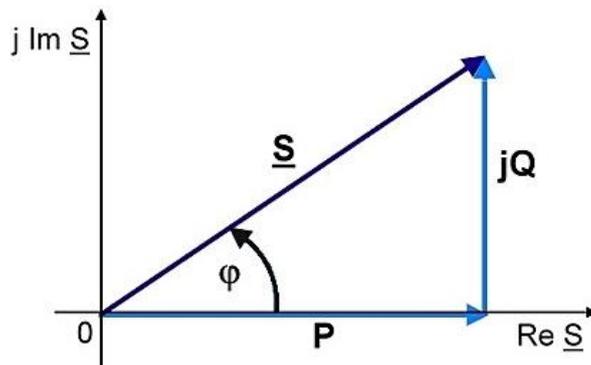


Ilustración No. 12 Triangulo de potencias

La potencia compleja de un circuito eléctrico de corriente alterna, cuya magnitud se conoce como potencia aparente y se identifica con la letra S , es la suma (vectorial) de la potencia que se disipa en un circuito y la que se convierte en trabajo del mismo, la potencia que se transforma en trabajo, conocida como potencia promedio, activa o real, se designa con la letra P y se mide en Watts [W], la potencia utilizada para la formación de los campos eléctrico y magnético de sus componentes, que fluctuará entre estos componentes y la fuente de energía, conocida como potencia reactiva, que se identifica con la letra Q y se mide en voltamper reactivos [VAR]. La relación entre estas potencias es:

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

Potencia aparente, esta potencia aparente (S) no es realmente la "útil", salvo cuando el factor de potencia es la unidad ($\cos \varphi=1$), y señala que la red de alimentación de un circuito no sólo ha de satisfacer la energía consumida por los elementos resistivos, sino que también ha de contarse con la que van a "almacenar" las bobinas y condensadores. Se mide en voltampers [VA], aunque para aludir a grandes cantidades de potencia aparente lo más frecuente es utilizar como unidad de medida el kilovoltamper (kVA).

Potencia activa, Se designa con la letra P y se mide en watt [W], es la potencia que representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo. Los diferentes dispositivos eléctricos existentes convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, etc. Esta potencia es, por lo tanto, la realmente consumida por los circuitos y, en consecuencia, cuando se habla de demanda eléctrica, es esta potencia la que se utiliza para determinar dicha demanda.

Potencia reactiva, esta potencia no tiene tampoco el carácter realmente de ser consumida y sólo aparecerá cuando existan bobinas o capacitores en los circuitos. La potencia reactiva tiene un valor medio nulo, por lo que no produce trabajo necesario, se mide en voltampers reactivos [VAR] y se designa con la letra Q .

1.3.7. Ley de ohm

La forma en que se relacionan la corriente, tensión (voltaje) y la resistencia es la ley de Ohm. La Ley de Ohm¹² establece que la intensidad que circula por un conductor, circuito o resistencia, es inversamente proporcional a la resistencia (R) y directamente proporcional a la tensión (V).

La ecuación matemática que describe esta relación es:

$$I = \frac{V}{R}$$

Donde:

- I= la corriente que pasa a través del cable o circuito en Amper [A],
- V=la diferencia de potencial de las terminales del cable en Volts [V], y
- R=la resistencia en ohm [Ω].

La ley de Ohm dice que la R en esta relación es constante independientemente de la corriente. Una forma más completa de expresar la Ley de Ohm es incluyendo la fórmula de potencia eléctrica.

Si se utiliza la conocida fórmula de potencia (con unidades de watts):

$P = V \times I$, potencia = voltaje x corriente, y sus variantes:

$V = \frac{P}{I}$ e $I = \frac{P}{V}$, se obtienen ecuaciones adicionales.

Las nuevas ecuaciones permiten obtener los valores de potencia, voltaje, corriente y resistencia con sólo dos de las cuatro variables.

Ahora haciendo uso de la ley de Ohm y la ecuación de la Potencia eléctrica podremos encontrar de varias formas los valores restantes. Despejando para P (potencia en watts) se obtiene:

$$P = V^2 \times R \quad P = I^2 \times R \quad P = V \times I$$

Despejando para I (corriente en Ampers) se obtiene:

$$I = \frac{V}{R} \quad I = \frac{P}{V} \quad I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

¹² Esta ley tiene el nombre del físico alemán George Ohm, que en un tratado publicado en 1827, halló valores de tensión y corriente que pasaba a través de unos circuitos eléctricos simples que contenían una gran cantidad de cables. Él presentó una ecuación un poco más compleja que la mencionada anteriormente para explicar sus resultados experimentales. La ecuación de arriba es la forma moderna de la ley de Ohm.

Despejando para R (resistencia en ohms) se obtiene:

$$R = \frac{V}{I} \quad R = \frac{V^2}{P} \quad R = \frac{P}{I^2}$$

Despejando para V (Voltaje en Volts) se obtiene:

$$V = \sqrt{P \times R} \quad V = \frac{P}{I} \quad V = I \times R$$

En el siguiente diagrama se muestra un resumen completo de las fórmulas, arreglado de manera que sea fácil su memorización.

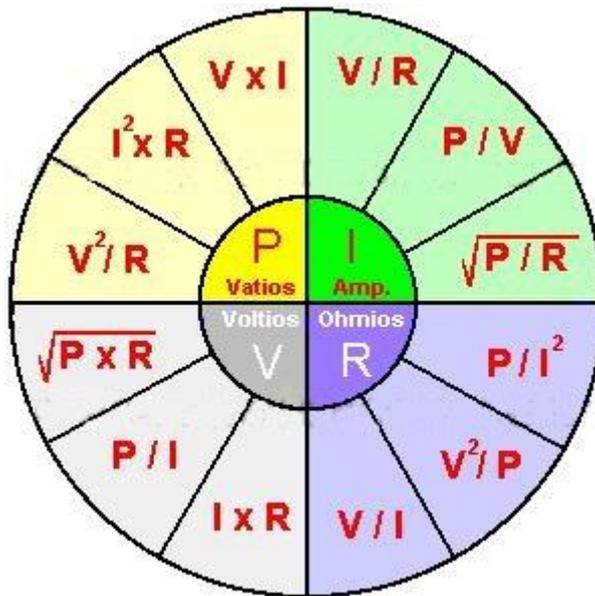


Ilustración No. 13 diferentes relaciones, Ley de Ohm y Potencia

2. Generación de energía eléctrica con celdas fotovoltaicas (solares)

2.1. Cómo funciona un panel solar fotovoltaico

Para la fabricación de paneles solares fotovoltaicos¹³ se emplea tecnología muy avanzada y compleja. Sin bien está al alcance de muchos fabricantes la producción de colectores solares térmicos con un grado de eficacia aceptable, no ocurre lo mismo con los paneles solares fotovoltaicos, donde muy pocas compañías en el mundo cuentan con la capacidad y los recursos técnicos necesarios para producirlos.

El funcionamiento de los paneles se basa en el efecto fotoeléctrico¹⁴. Este efecto se produce cuando sobre materiales semiconductores convenientemente tratados incide la radiación solar produciéndose electricidad.

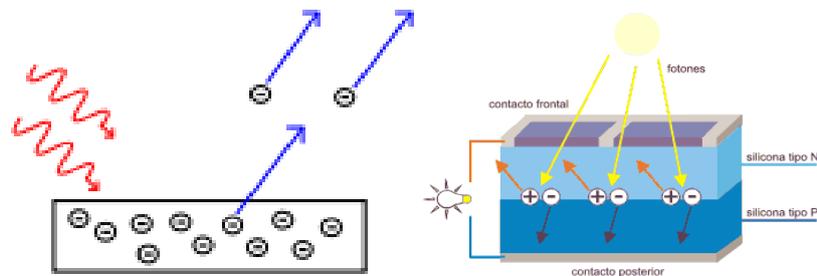


Ilustración No. 14 Efecto fotoeléctrico

La corriente eléctrica generada será proporcional a la irradiación incidente, ya que al aumentar la irradiación aumenta el número de fotones, y dependerá también de otros parámetros temperatura de la celda, temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento, etc., siendo, por lo cual, el funcionamiento de las celdas es muy variable.

Las celdas fotovoltaicas están hechas de materiales especiales llamados semiconductores. Básicamente, cuando la luz incide en la placa, una cierta porción es absorbida en el material semiconductor. Esto significa que la energía de la luz absorbida es transferida al semiconductor. Estas placas fotovoltaicas también tienen uno o más campos eléctricos que hacen moverse a los electrones liberados por la luz, para que fluyan en una cierta dirección. Este flujo de electrones es una corriente, por lo cual podemos usar esta corriente para que se use de manera externa, en nuestro caso, para poder almacenarla en nuestro banco de baterías.

La curva de funcionamiento I-V de la celda fotovoltaica es la que marca sus características eléctricas, en ella se ven relacionados los siguientes parámetros:

¹³ Del griego phos que significa luz y voltaico en honor de Alejandro Volta; es transformación parcial de la energía luminosa en energía eléctrica

¹⁴ la emisión de electrones por un material cuando se hace incidir sobre él una radiación electromagnética (luz visible o ultravioleta, en general)

- Intensidad de corriente de cortocircuito (I_{cc}), que se generaría si se cortocircuitaran los bornes de la celda.
- Tensión de circuito abierto (V_{oc}), que es la propia tensión en los bornes de la celda.
- Punto de máxima de potencia de la curva, es aquél en el que la celda produce la máxima potencia, siendo su magnitud igual al producto de la intensidad y tensión máximas. La potencia máxima que puede alcanzar la celda en condiciones estándar se le denomina potencia pico, y su unidad de medida es el Watt pico (Wp).

El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico la cual corresponde con la potencia máxima que el panel puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas de irradiación de $1000 \left[\frac{W}{m^2} \right]$ a $25[^\circ C]$ en la celda y velocidad del viento de $1 \left[\frac{m}{s} \right]$. En estas condiciones, los valores de la celda suelen ser los siguientes:

- $I_{cc} \sim 3 - 3,5 \text{ [A]}$
- $V_{oc} \sim 0,6 - 0,7 \text{ [V]}$

En la siguiente imagen se muestra la curva de funcionamiento corriente-tensión típica de una celda fotovoltaica:

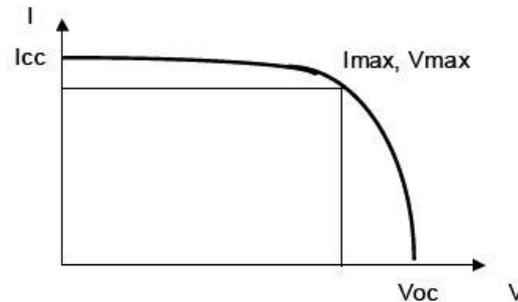


Ilustración 15 Curva de funcionamiento I-V de una celda fotovoltaica.

La luz visible solo es una parte del espectro electromagnético¹⁵ la cual tiene una longitud de onda que está dentro del rango de 350 [nm] a 780 [nm] . La radiación electromagnética no es monocromática, está hecha de un rango de diferentes longitudes de onda, y por ello, de distintos niveles de energía. La luz puede ser separada en diferentes longitudes de onda, y podemos verlo en forma de un arco iris. La luz que incide en nuestros paneles tiene fotones con variaciones de energía, por lo que algunos de ellos no tendrán suficiente energía para formar un par de electrones-huecos. Simplemente pasarán a través del panel solar como si fueran

¹⁵ Se llama espectro electromagnético a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. Referido a un objeto se denomina *espectro electromagnético* o simplemente *espectro* a la radiación electromagnética que emite (espectro de emisión) o absorbe (espectro de absorción) una sustancia.

transparentes. Sin embargo, otros fotones tienen demasiada energía. Solo una cierta cantidad de energía, medido en electrón-volts¹⁶ [eV] y definido por el material del panel, es requerida para una pérdida de electrones.

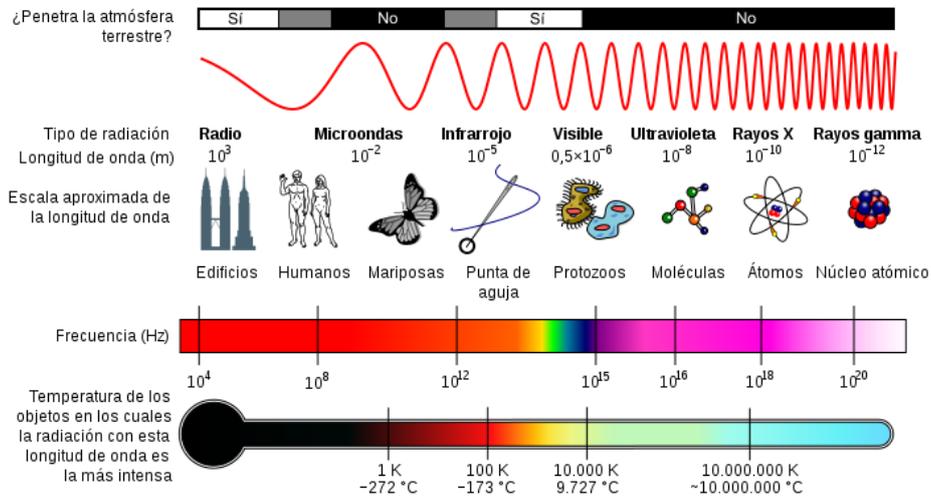


Ilustración No. 16 Espectro Electromagnético

2.1.1. Proceso básico de fabricación

1- En una lámina de material semiconductor puro se introducen elementos químicos llamados dopantes que hacen que esta tenga un exceso de electrones y aunque no exista en realidad desequilibrio eléctrico (existirá el mismo número de electrones que de neutrones en el total de la placa del semiconductor) convencionalmente se entiende que esta placa tiene una carga negativa y se la denomina N.

2- Por otro lado, en otra lámina de material semiconductor se hace el mismo proceso pero en esta ocasión con otra sustancia dopante que provoca que haya una falta de electrones. Por esta razón se entiende convencionalmente que la placa tiene una carga positiva y se le denomina P

3- Es en este punto donde se procede a realizar la unión P-N en la cual el exceso de electrones de N pasa al otro cristal y ocupa los espacios libres en P. Con este proceso la zona inmediata a la unión queda cargada positivamente en N y negativamente en P creándose un campo eléctrico cuya barrera de potencial impide que continúe el proceso de traspase de electrones de una placa a la otra.

El modulo más pequeño de material semiconductor con unión P-N y por lo tanto la que tiene la capacidad de producir electricidad, es llamado celda fotovoltaica. Estas celdas fotovoltaicas se combinan de determinadas maneras para lograr la potencia y la tensión deseados. Este

¹⁶ Unidad de energía, equivale a la energía cinética que toma un electrón cuando es acelerado por una diferencia de potencial de 1 [V]. Dicho valor se obtiene experimentalmente y equivale aproximadamente a $1[eV]=1,602176462 \times 10^{-19} [J]$.

conjunto de celdas sobre el soporte adecuado y con los recubrimientos que le protejan convenientemente de agentes atmosféricos es lo que se llama panel fotovoltaico.



Ilustración No. 17 Panel solar Fotovoltaico

2.1.2. Bases del funcionamiento de las celdas fotovoltaicas

Cuando el conjunto queda expuesto a la radiación solar, los fotones contenidos en la luz transmiten su energía a los electrones de los materiales semiconductores que pueden entonces romper la barrera de potencial de la unión P-N y salir del semiconductor a través de un circuito exterior, produciéndose así corriente eléctrica.

Una corriente eléctrica es creada por el movimiento de electrones libres, los cuales llevan una carga negativa. Normalmente, los electrones están en una órbita alrededor del núcleo de un átomo, el cual está hecho de protones y neutrones. Estas partículas atómicas son los bloques de materia que pueden ser encontrados en absolutamente todo. Algunas materias mantienen sus electrones más juntos que otros, pero con suficiente energía, un electrón puede ser sacado de su órbita.

Una partícula de energía que hace un buen trabajo sacando a los electrones de su órbita de los átomos, son los fotones. Es la forma de energía subatómica que forma la base de la luz. Los fotones de la luz de sol llevan suficiente energía para sacar a los electrones de su órbita en el material conocido como silicón, el cual es el material más usado en la mayoría de las celdas solares. La habilidad de los fotones para mover los electrones de su órbita se le llama el efecto fotoeléctrico. Una diferencia entre la carga negativa y la positiva de las partículas, es creada dentro de la silicón al añadir las impurezas o también conocidas como partículas dopantes que por lo regular son el boro y el fósforo.

Esta diferencia crea un campo eléctrico en la lámina de semiconductor. Cuando los fotones golpean el material y dejan libres a los electrones de su órbita, el campo eléctrico los empuja

hacia un lado de la celda solar, lo cual crea un lado cargado negativamente. Los protones dejados atrás en el otro lado de la superficie de la celda, crean una carga positiva. Cuando estos dos lados se conectan usando una carga externa, por ejemplo un circuito indirecto como los terminales de una batería, los electrones fluyen dentro de la carga y generan electricidad. Al producir una celda solar solo de uno a dos volts, varias celdas son conectadas para formar módulos que trabajan en conjunto para producir suficiente energía, por ejemplo, para nosotros el poder cargar las baterías y poder usar esa energía durante las noches.

2.1.3 Tipos de paneles Fotovoltaicos

Existen diferentes tipos de paneles solares en función de los materiales semiconductores y los métodos de fabricación que se empleen. El silicio es el material más utilizado actualmente para la fabricación de celdas solares, por ser más eficiente y se encuentra en un constante proceso de mejora. Es el segundo material más abundante en la tierra después del oxígeno, aunque no se encuentra en estado puro y contiene elementos que son difíciles de eliminar, se extrae de la arena, se purifica, se funde y se cristaliza en lingotes redondo, se corta en finas obleas para conseguir celdas individuales, se dopan con fósforo para obtener un material tipo "n" y con boro para un material tipo "p" y así obtener una homounión p-n. Los tipos de paneles solares que se pueden encontrar en el mercado son:

- **Silicio Puro monocristalino;** Formados por secciones de barras de silicio perfectamente cristalizado de una sola pieza. En pruebas de laboratorio se han alcanzado rendimientos máximos del 24.7 % para éste tipo de paneles, siendo que los comercializados alcanzan un promedio del 16 %, es decir ya en funcionamiento real disminuye considerablemente su eficiencia, se caracteriza por un ordenamiento periódico de átomos.



Ilustración No. 18 Panel solar Mono-cristalino

- **Silicio puro poli-cristalino;** Los materiales son semejantes a los del tipo mono-cristalino aunque en este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente. Los paneles poli-cristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado. Se obtiene con ellos un rendimiento inferior que con los mono-cristalinos, en laboratorio se obtiene una eficiencia del 19.8 % y en los paneles comerciales del 14 % por lo cual su precio también es más bajo.

El silicio poli-cristalino, se llama así porque se solidifica en varios cristales y no en uno solo, esto significa que el silicio es de menor pureza y por lo tanto de menor costo y no requiere de un control exhaustivo en su fabricación.



Ilustración No. 19 Panel solar poli-cristalino

Por las características físicas del silicio cristalizado, los paneles fabricados con esta tecnología presentan un grosor considerable comparado con el mono-cristalino. Mediante el empleo del silicio con otra estructura o de otros materiales semiconductores es posible conseguir paneles más finos y versátiles que permiten incluso en algún caso su adaptación a superficies irregulares. Son los denominados paneles de lámina delgada

Los tipos de paneles de lámina delgada son:

- **Silicio amorfo.** (TFS)¹⁷ Hechos también de silicio, pero a diferencia de los dos tipos de paneles anteriores, este material no tiene una estructura cristalina. Los paneles de este tipo son habitualmente empleados para pequeños dispositivos electrónicos como Calculadoras, relojes y en pequeños paneles portátiles. Su rendimiento máximo alcanzado en pruebas de laboratorio ha sido del 13 % y el de los paneles comerciales es del 8 %.

¹⁷ está fabricado con una capa delgada de silicio amorfo, de aproximadamente 0.3 [μ] aplicada sobre vidrio con tecnología laser y ensamblado en delgadas capas laminares.

- **Teluro de cadmio;** Este tipo de panel ya no está formado de silicio su rendimiento en pruebas de laboratorio es del 16 % y en módulos comerciales 8 %.
- **Arseniuro de Galio;** Este es uno de los materiales más eficientes que se han utilizado para este fin ya que presenta unos rendimientos en pruebas de laboratorio del 25.7 % y los paneles comerciales dan un 20 % de eficiencia.
- **Diseleniuro de cobre e indio;** este tipo de paneles tienen rendimientos en pruebas de laboratorio muy cercanos al 17 % y en los paneles comerciales del 9 %.

Existen también los llamados paneles Tándem que combinan dos tipos de materiales semiconductores distintos. Debido a que cada tipo de material aprovecha sólo una parte del espectro electromagnético de la radiación solar, mediante la combinación de dos o tres tipos de materiales es posible aprovechar una mayor parte del mismo. Con este tipo de paneles se ha llegado a lograr rendimientos del 35%. Teóricamente con uniones de 3 materiales podría llegarse a lograr rendimientos hasta del 50%

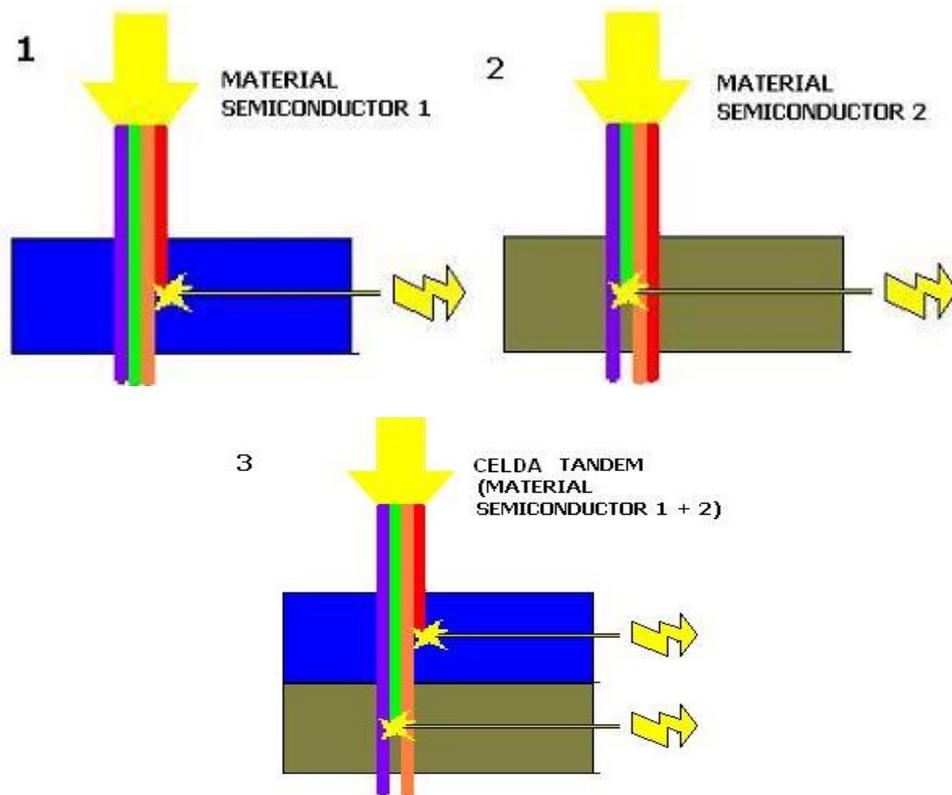


Ilustración No. 20 Celda TANDEM

1. Celda con material semiconductor 1, solo aprovecha una parte del espectro electromagnético de que está compuesta la luz solar

2. La celda con el material semiconductor 2 aprovecha otra parte del espectro electromagnético de la luz, diferente al del material semiconductor 1
3. En la celda Tandem se combinan ambos tipos de materiales, con lo que se aprovecha una mayor parte del espectro electromagnético a los cuales este tipo de materiales son capaces de transformar en energía eléctrica. La eficiencia total será, en teoría, la suma de los rendimientos de ambos tipos de celdas por separado

La mayoría de los paneles comercializados actualmente están hechos de silicio mono-cristalino, poli-cristalino y amorfo. El resto, tanto de paneles como de materiales se emplean para aplicaciones más específicas y son más difíciles de encontrar en el mercado.

Hay una nueva tecnología que se cree puede llegar a revolucionar el mundo de la energía solar fotovoltaica. Se trata de un nuevo tipo de panel solar muy fino, muy barato de producir y que según dicen sus desarrolladores presenta el mayor nivel de eficiencia de todos los materiales.

Este nuevo tipo de panel está basado en el Cobre, Indio y Galio Diselenido (CIGS) y se prevé que en un futuro no muy lejano, debido a su competitiva relación entre producción de energía y costo pueda llegar a sustituir a los combustibles fósiles en la producción de energía.

Tipos de paneles en función de la forma

También es posible clasificar los tipos de paneles en función de su forma. Empleándose cualquiera de los materiales antes comentados se fabrican paneles en distintos formatos para adaptarse a una aplicación en concreto o bien para lograr un mayor rendimiento. Algunos ejemplos de formas de paneles distintos del clásico plano son:

Paneles con sistemas de concentración. Un ejemplo de ellos es el modelo desarrollado por una marca española, el cual mediante una serie de superficies reflejantes concentra la luz sobre los paneles fotovoltaicos. Aunque el porcentaje de conversión no varié, una misma superficie de panel producirá más electricidad ya que recibe una cantidad concentrada de fotones.

Actualmente se investiga en sistemas que concentran la radiación solar por medio de lentes. La concentración de la luz sobre los paneles solares es una de las vías que están desarrollando los fabricantes para lograr aumentar la efectividad de las celdas fotovoltaicas y poder así bajar los costos.

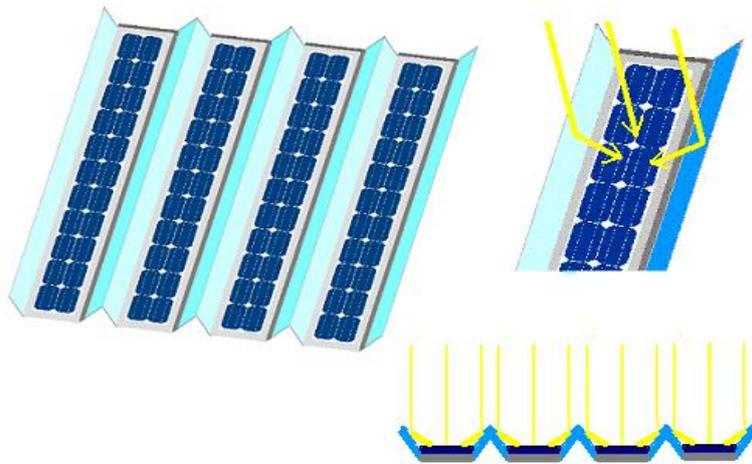


Ilustración No. 21 Panel Fotovoltaico con reflejantes

Paneles en forma de teja o baldosa. Estos paneles son de pequeño tamaño y están pensados para combinarse en gran número para así poder cubrir las grandes superficies que ofrecen los techos de las viviendas. Aptos para cubrir grandes demandas energéticas en los que se necesita una gran superficie de captación.



Ilustración No. 22 Panel de formato teja

Paneles bifaciales: Basados en un tipo de panel capaz de transformar en electricidad la radiación solar que recibe por cualquiera de sus dos caras. Para aprovechar convenientemente esta cualidad se coloca sobre dos superficies blancas que reflejan la luz solar hacia la parte trasera del panel.

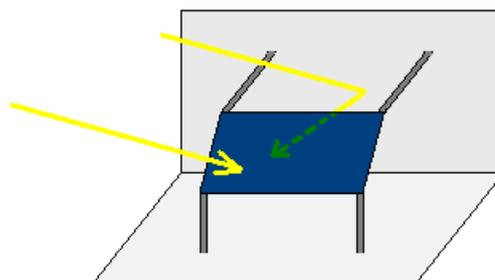


Ilustración No. 23 Panel Bifacial

3. Almacenamiento y control de la energía eléctrica generada por CFV

Los sistemas de almacenamiento de energía tienen dos aplicaciones a gran escala:

El primero es que posibilitan hacer un uso más eficiente de la energía que se consume. Para ello, es posible guardar la energía durante los periodos de baja demanda, mediante un sistema de almacenamiento de energía, y utilizarla en los periodos de alta demanda. Esto puede hacerse en ciclos diarios, semanales, mensuales, estacionales, etc.

Y segundo, es que en el caso de las fuentes intermitentes de energía, tales como la energía solar o la eólica, los sistemas de almacenamiento de energía son indispensables, si se quiere disponer de energía en forma continua. En el caso de la energía solar, sólo hay Sol de día, así que si se quiere aprovechar la energía solar durante las noches se debe emplear un sistema de almacenamiento de energía. Esto nos trae como consecuencia que el costo de la energía solar sea mayor.

Por esto, es deseable contar con sistemas de almacenamiento de energía que sean eficientes, baratos y sobre todo que sean durables. Estas tres características son fundamentales para seleccionar un sistema de almacenamiento de energía de cualquier sistema energético. También existen otras características como, la capacidad de transporte y la duración del almacenamiento.

3.1 Forma en la que se almacena la energía proporcionada por el sol

La más común y practica hasta el momento ha sido el almacenamiento por medio de un banco de baterías las cuales almacenan la energía de los paneles para los momentos en que no hay sol, o para los momentos en que las características de la energía proporcionada por los paneles no es suficiente o adecuada para satisfacer la demanda como por ejemplo la falta de potencia al atardecer, amanecer o en días nublados. La naturaleza de la radiación solar es variable a lo largo del día y del año, la batería es el elemento que nos ayuda en este problema ofreciendo una disponibilidad de energía de manera uniforme durante todo el año.

En la siguiente tabla se presentan las diferentes formas en que se ha logrado almacenar la energía así como sus porcentajes aproximados de eficiencia.

| Físicos | Eficiencia (%) | |
|--|----------------|---------------|
| Hidrobombeo | 66 | (en promedio) |
| Aire comprimido | 69 | " |
| Volantes giratorios | 78 | " |
| Calor sensible y latente | 65 | " |
| Magnetos superconductores | 90 | " |
| Químicos | | |
| Batería Li/aleación FeS | 58.3-74 | (en promedio) |
| Batería NaS y ZnCl ₂ (H ₂ O) | 56.7-72.2 | " |
| Batería plomo-ácido | 60.7-67.7 | " |
| Celda de combustible con H | 24-58 | " |
| Tubo termoquímico, SO ₃ | 23.5 | " |
| Bomba termoquímica | 11.6-14 | " |

Tabla No. 3 Sistemas de almacenamiento de energía¹⁸

Con lo cual las baterías, hasta el día de hoy, se consideran la mejor manera de almacenar la energía que es proporcionada por los rayos solares, por su alta eficiencia comparada con las otras formas, su costo relativamente bajo, su tiempo de vida estimado de tres a cinco años, pero también, otro punto a su favor es que son fáciles de transportar bajo ciertos cuidados, claro está, también en buenas condiciones son capaces de almacenar la energía por periodos prolongados.

3.2 Sistema electrónico de control para almacenamiento de energía eléctrica y su uso en luminarias.

En cuanto al control de carga, el objetivo es asegurar que las baterías nunca se descarguen demasiado ni tampoco que obtenga más carga de lo debido. En este tipo de sistemas, tanto eólicos como solares, es parte fundamental un sistema de control que nos ayude a respaldar esa energía proporcionada por ellos.

Ya que como se ha mencionado son fuentes de energía intermitentes, hay momentos en que el aire no es lo suficientemente fuerte, o hay momentos en que no hay aire suficiente como para

¹⁸ Fuente: EL ORO SOLAR Y OTRAS FUENTES DE ENERGÍA

mover por lo menos los alabes, lo mismo pasa para la energía solar ya que hay noches y días nublados, en esos casos en que no se proporciona energía o es muy poca están los controles que nos sirven para cuando hay exceso de energía y esta se pueda guardar si no se utiliza, o proporcionarla cuando no se genere.

En estos sistemas es importante asegurarse que las baterías no se sobrecarguen o se descarguen totalmente ya que cualquiera de las dos situaciones hará que nuestro sistema vaya perdiendo eficiencia. Si nuestras baterías se sobrecargan pueden llegar hasta explotar por la generación de gases en su interior y si se descarga se cristaliza, Para esto utilizamos el controlador que consiste básicamente en un comparador que desconectará automáticamente al panel de la batería cuando ésta se encuentre en un nivel óptimo de carga.

Dentro de las funciones que puede llegar a desarrollar este elemento de nuestro sistema es, como ya se menciono, la carga de la batería para que siempre tenga energía cuando se necesite o que las baterías no se queden sin carga, pero también está la de proteger contra corto circuito los paneles como la carga conectada a ellos, cuando por alguna razón las baterías no alcancen una carga satisfactoria y esta se vaya agotando de acuerdo al consumo de energía de la carga que en ese momento tenga conectada el control debe de desconectarla para así evitar una descarga profunda de las baterías.

En la actualidad hay varios modelos y marcas en el mercado para este fin.

4. Eficiencia luminosa mediante diversas alternativas de lámparas.

4.1. Características de los diferentes tipos lámparas

4.1.1. lámparas incandescentes

La lámpara incandescente es la de más bajo rendimiento luminoso de las lámparas utilizadas: de 12 a 18 lm/W (Lúmenes por Watt de potencia) y la que menor vida útil o durabilidad, tiene, unas 1000 horas, pero es la más difundida, por su bajo precio y el color cálido de su luz.

No ofrece muy buena reproducción de los colores, ya que no emite en la zona de colores fríos, pero al ser su espectro de emisiones continuo logra contener todas las longitudes de onda en la parte que emite del espectro. Su eficiencia es muy baja, ya que solo convierte en trabajo (luz visible) alrededor del 15% de la energía consumida. Otro 25% será transformado en energía calorífica y el 60% restante en radiación no perceptible, luz ultravioleta y luz infrarroja, que acaban convirtiéndose en calor.

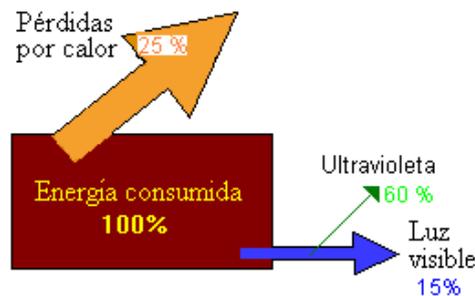


Ilustración No.24 Balance energético de una lámpara Incandescente



Ilustración No. 25 Lámpara incandescente tradicional

4.1.2. lámparas de descarga

Las lámparas de descarga constituyen una forma alternativa de producir luz de una manera más eficiente y económica que las lámparas incandescentes. Por eso, su uso está tan extendido actualmente. La luz emitida se consigue por excitación de un gas sometido a descargas eléctricas entre dos electrodos. Según el gas contenido en la lámpara y la presión a la que esté

sometido tendremos diferentes tipos de lámparas, cada una de ellas con sus propias características luminosas, las propiedades varían mucho de unas a otras y esto las hace adecuadas para algunos usos y para otros no, por esta misma razón se dará una clasificación general de los tipos de lámparas, su funcionamiento y características comunes, para posteriormente hacer un análisis independiente de cada uno de los tipos de lámparas y así poder resaltar un poco más sus diferencias.

Este tipo de lámparas se pueden clasificar de acuerdo al gas utilizado (vapor de mercurio o sodio) o la presión a la que este se encuentre (alta o baja presión).

- Lámparas de vapor de mercurio:
 - Baja presión:
 - Lámparas fluorescentes

- Alta presión:
 - Lámparas de vapor de mercurio a alta presión
 - Lámparas de luz mixta
 - Lámparas con halogenuros metálicos

- Lámparas de vapor de sodio:
 - Lámparas de vapor de sodio a baja presión
 - Lámparas de vapor de sodio a alta presión

Tabla No. 4 Clasificación de Lámparas de descarga

Su funcionamiento, la luz se consigue estableciendo una corriente eléctrica entre dos electrodos situados en un tubo lleno con un gas o vapor ionizado.

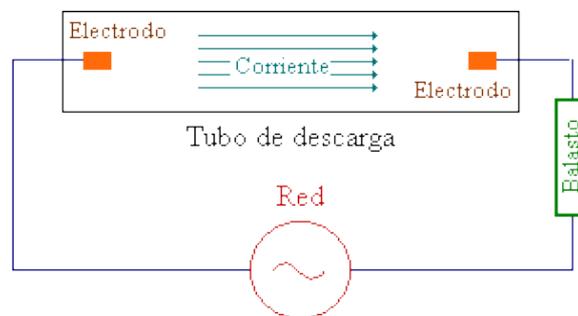


Ilustración No. 26 Configuración básica de una Lámpara de descarga

En el interior del tubo, se producen descargas eléctricas como consecuencia de la diferencia de potencial entre los electrodos. Estas descargas provocan un flujo de electrones que atraviesa el gas. Hay dos posibilidades durante el funcionamiento de este tipo de tecnología. La primera

posibilidad es que la energía transmitida en el choque sea lo suficientemente elevada para poder arrancar al electrón de su órbita. En este caso, el electrón pasa a ocupar otro orbital de mayor energía. Este nuevo estado acostumbra a ser inestable y rápidamente se vuelve a la situación inicial. Al hacerlo, el electrón libera la energía extra en forma de radiación electromagnética, principalmente ultravioleta (UV) o visible pero también puede chocar con los electrones de otros átomos repitiendo el proceso, si este proceso no se limita, se puede provocar la destrucción de la lámpara por un exceso de corriente.

Dentro de las lámparas los electrones tienen un estado inicial y uno final y estos dos estados posibles no son infinitos, por lo tanto es fácil entender que el espectro de estas lámparas sea discontinuo. La consecuencia de esto es que la luz emitida por la lámpara no es blanca, por ejemplo, en las lámparas de sodio a baja presión la luz es amarillenta. Por lo tanto, la capacidad de reproducir los colores de estas fuentes de luz por lo general es peor que en el caso de las lámparas incandescentes que tienen un espectro continuo. Esto se arregla poniéndoles un recubrimiento al tubo con sustancias fluorescentes que mejoran la reproducción de los colores y aumentan la eficacia de las lámparas convirtiendo las nocivas emisiones ultravioletas en luz visible.

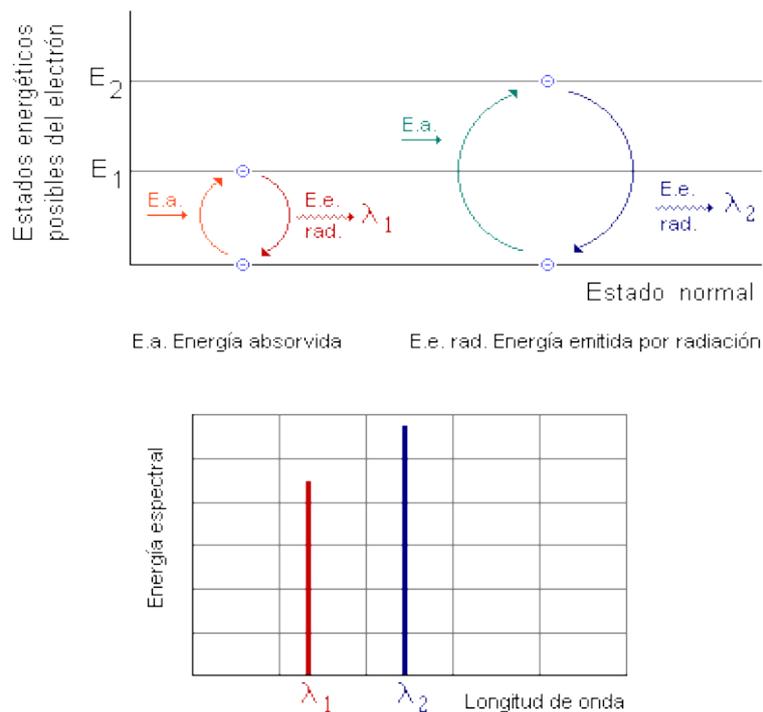


Ilustración No. 27 Relación entre los estados energéticos de los electrones y las franjas visibles en el espectro

Para que las lámparas de descarga funcionen correctamente es necesario, en la mayoría de los casos, la presencia de dos elementos auxiliares los cebadores y balastos. Los cebadores o ignitores son dispositivos que suministran un breve pico de tensión entre los electrodos del tubo, necesario para iniciar la descarga y vencer así la resistencia inicial del gas a la corriente

eléctrica. Tras el encendido, continua un periodo transitorio durante el cual el gas se estabiliza y que se caracteriza por un consumo de potencia superior al nominal.

Los balastos, por el contrario son dispositivos que sirven para limitar la corriente que atraviesa la lámpara y evitar así un exceso de electrones circulando por el gas que aumentaría el valor de la corriente hasta producir la destrucción de la lámpara.

Para poder establecer la eficacia de este tipo de lámparas hay que tomar en cuenta la eficiencia de la fuente de luz y la de los elementos auxiliares necesarios para su funcionamiento que dependen del fabricante. En las lámparas, las pérdidas se centran en dos aspectos: las pérdidas por calor y las pérdidas por radiaciones no visibles (ultravioleta e infrarrojo).

El porcentaje dependerá del tipo de lámpara.

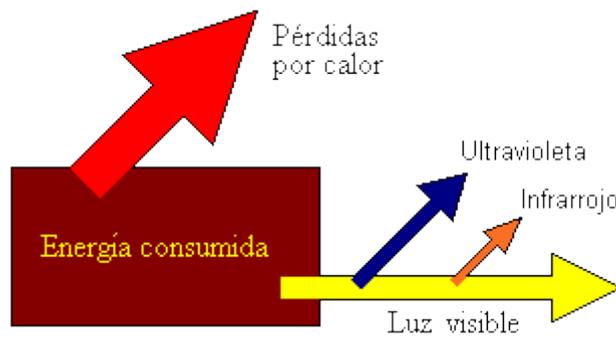


Ilustración No. 278 Balance energético general de una lámpara de descarga

La eficiencia de la lámpara de descarga oscila entre los 19 y 28 $\left[\frac{lm}{w}\right]$ del tipo luz mixta y de los 100 a 183 $\left[\frac{lm}{w}\right]$ de las del tipo de sodio a baja presión.

| Tipo de lámpara | Eficiencia sin balastro [lm/W] |
|-------------------------|--------------------------------|
| Fluorescentes | 38-91 |
| Luz mixta | 19-28 |
| Mercurio a alta presión | 40-63 |
| Halogenuros metálicos | 75-95 |
| Sodio a baja presión | 100-183 |
| Sodio a alta presión | 70-130 |

Tabla No. 5 Comparativa de eficiencias con respecto al tipo de lámpara

Este tipo de lámparas tiene dos problemas que hacen que su duración sea menor a la esperada. El primero es la insuficiencia del flujo eléctrico. Este se debe al ennegrecimiento de la superficie del tubo donde se va depositando el material emisor de electrones que recubre los electrodos.

En las lámparas que usan sustancias fluorescentes otro factor importante es la pérdida gradual de la eficacia de las sustancias.

El segundo es el deterioro de los componentes de la lámpara que se debe a la degradación de los electrodos por agotamiento del material emisor que los recubre. Otras causas son un cambio gradual de la composición del gas de relleno y las fugas de gas en lámparas a alta presión.

| Tipo de lámpara | Vida promedio [h] |
|-------------------------|-------------------|
| Fluorescente estándar | 12500 |
| Luz mixta | 9000 |
| Mercurio a alta presión | 25000 |
| Halogenuros metálicos | 11000 |
| Sodio a baja presión | 23000 |
| Sodio a alta presión | 23000 |

Tabla No. 6 Tiempos de vida estimada

También hay factores externos que influyen en el funcionamiento de la lámpara como son la temperatura ambiente y la cantidad de encendidos.

Las lámparas de descarga en general son sensibles a las temperaturas exteriores. Dependiendo de sus características de construcción tubo desnudo o ampolla exterior, se verán más o menos afectadas. Las lámparas a alta presión son sensibles a las bajas temperaturas ya que tienen problemas al encender. Por otra parte la temperatura de trabajo estará limitada por las características térmicas de los componentes, 200 [°C] para el casquillo y entre 350 y 520 [°C] para la ampolla según el material y tipo de lámpara.

La influencia del número de encendidos es importante para establecer la duración de una lámpara de descarga ya que el deterioro de la sustancia emisora de los electrodos depende en gran medida de este factor.

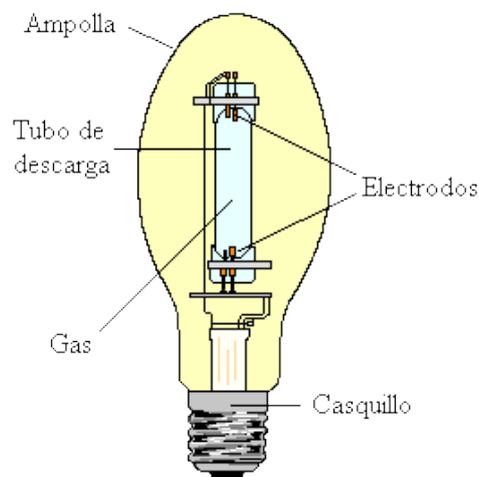


Ilustración No. 289 Principales partes de una lámpara de descarga

4.1.3. Lámparas Fluorescentes

Las lámparas fluorescentes son lámparas de vapor de mercurio a baja presión aproximadamente a 0.8 [Pa]. En estas condiciones, en el espectro de emisión del mercurio predominan las radiaciones ultravioletas con una longitud de onda de 253.7 [nm]. Para que estas radiaciones sean útiles, se recubren las paredes interiores del tubo con polvos fluorescentes que convierten los rayos ultravioletas en radiaciones visibles. De acuerdo al tipo o composición de estas sustancias dependerán la cantidad y calidad de la luz, así como las cualidades cromáticas de la lámpara. En la actualidad se usan dos tipos de polvos; los que producen un espectro continuo y los trifósforos que emiten un espectro de tres bandas con los colores primarios. De la combinación de estos tres colores se obtiene una luz blanca que ofrece un buen rendimiento de color sin disminuir la eficiencia como ocurre en el caso del espectro continuo.

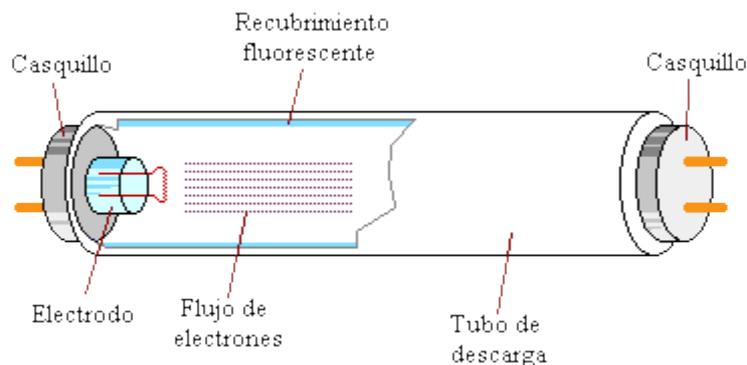


Ilustración No. 30 Esquema de una Lámpara fluorescente

Las lámparas fluorescentes se caracterizan por carecer de ampolla exterior. Están formadas por un tubo de diámetro normalizado, normalmente cilíndrico, cerrado en cada extremo con un casquillo de dos contactos donde se alojan los electrodos. El tubo de descarga está relleno con vapor de mercurio a baja presión y una pequeña cantidad de un gas inerte que sirve para facilitar el encendido y controlar la descarga de electrones.

La eficacia de estas lámparas depende de muchos factores: potencia de la lámpara, tipo y presión del gas de relleno, propiedades de la sustancia fluorescente que recubre el tubo, temperatura ambiente; Esta última es muy importante porque determina la presión del gas y en último término el flujo de la lámpara. La eficacia oscila entre los 38 y 91 $\left[\frac{lm}{w}\right]$ dependiendo de las características de cada lámpara.



Ilustración No. 291 Balance energético de una lámpara fluorescente

La duración de estas lámparas se sitúa entre 5000 y 7000 horas. Su vida termina cuando el desgaste sufrido por la sustancia emisora que recubre los electrodos, hecho que se incrementa con el número de encendidos, impide el encendido al necesitarse una tensión de ruptura superior a la suministrada por la red. Además de esto, hemos de considerar la depreciación del flujo provocada por la pérdida de eficacia de los polvos fluorescentes y el ennegrecimiento de las paredes del tubo donde se deposita la sustancia emisora.

El rendimiento en color de estas lámparas varía de moderado a excelente según las sustancias fluorescentes empleadas. Para las lámparas destinadas a usos habituales que no requieran de gran precisión su valor está entre 80 y 90 %. De igual forma la apariencia y la temperatura de color¹⁹ varía según las características concretas de cada lámpara.

| Temperatura de color | Color [K] |
|----------------------|-----------|
| Blanco cálido | 3000 |
| Blanco | 3500 |
| Natural | 4000 |
| Blanco frío | 4200 |
| Luz de día | 6500 |

Tabla No. 7 Temperatura de color

Las lámparas fluorescentes necesitan para su funcionamiento la presencia de elementos auxiliares. Para limitar la corriente que atraviesa el tubo de descarga utilizan el balasto y para el encendido existen varias posibilidades que se pueden resumir en arranque con cebador o sin él. En el primer caso, el cebador se utiliza para calentar los electrodos antes de someterlos a la tensión de arranque. En el segundo caso tenemos las lámparas de arranque rápido en las que se calientan continuamente los electrodos y las de arranque instantáneo en que la ignición se consigue aplicando una tensión elevada.

¹⁹ El efecto cromático que emite la luz a través de una fuente luminosa depende de su temperatura. Si la temperatura es baja, se intensifica la cantidad de amarillo y rojo, pero si la temperatura de color se mantiene alta habrá mayor número de radiaciones azules. se expresa en grados kelvin, a pesar de no reflejar expresamente una medida de temperatura, por ser la misma, solo una medida relativa.

Más modernamente han aparecido las lámparas fluorescentes compactas que llevan incorporado el balastro y el cebador. Son lámparas pequeñas con casquillo de rosca o bayoneta pensadas para sustituir a las lámparas incandescentes con ahorros de hasta el 70% de energía.



Ilustración No. 32 Lámpara fluorescente compacta

4.1.4. Lámparas de vapor de mercurio

A medida que aumentamos la presión del vapor de mercurio en el interior del tubo de descarga, la radiación ultravioleta característica de la lámpara a baja presión pierde importancia respecto a las emisiones en la zona visible (violeta de 404.7 [nm], azul 435.8 [nm], verde 546.1 [nm] y amarillo 579 [nm]).

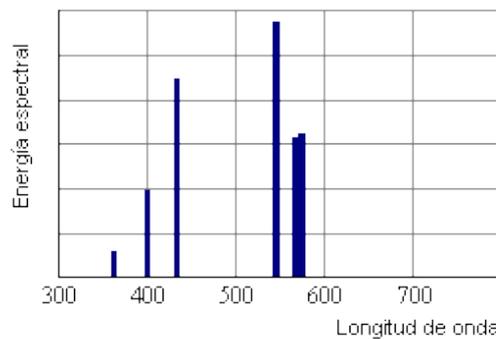


Ilustración No. 303 Espectro de emisión sin corregir

En estas condiciones la luz emitida es de color azul verdoso por lo que no contiene radiaciones rojas. Para resolver este problema se acostumbra a añadir sustancias fluorescentes que emitan en esta zona del espectro. De esta manera se mejoran las características cromáticas de la lámpara. La temperatura de color oscila entre los 3500 y 4500 [K] con índices de rendimiento en color normalmente de 40 a 45 %. La vida útil, teniendo en cuenta la depreciación se establece en unas 8000 horas. La eficiencia oscila entre 40 y 60 [$\frac{lm}{w}$] y aumenta con la potencia, aunque para una misma potencia es posible incrementar la eficiencia añadiendo un recubrimiento de polvos fosforescentes que conviertan la luz ultravioleta en visible.

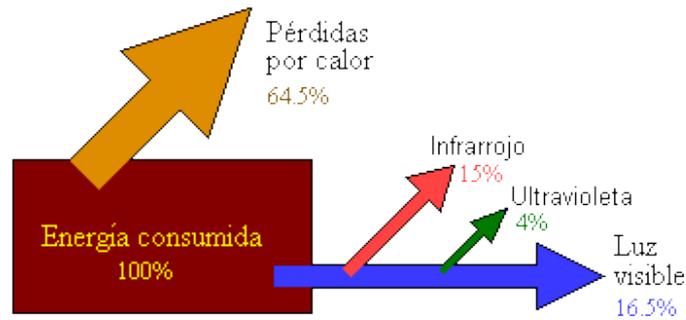


Ilustración No. 314 Balance energético de una lámpara de mercurio a alta presión

Los modelos más habituales de este tipo de lámpara tiene una tensión de encendido entre 150 y 180 [V] que permite conectarlas a la red de 220 [V] sin necesidad de elementos auxiliares. Para encenderlas se recurre a un electrodo auxiliar próximo a uno de los electrodos principales que ioniza el gas inerte contenido en el tubo y facilita el inicio de la descarga entre los electrodos principales. A continuación se inicia un periodo transitorio de aproximadamente unos cuatro minutos, caracterizado porque la luz pasa de un tono violeta a blanco azulado, en el que se produce la vaporización del mercurio y un incremento progresivo de la presión del vapor y el flujo luminoso hasta alcanzar los valores normales. Si en estos momentos se apagara la lámpara no sería posible su reencendido hasta que se enfriara, puesto que la alta presión del mercurio haría necesaria una tensión de ruptura muy alta.

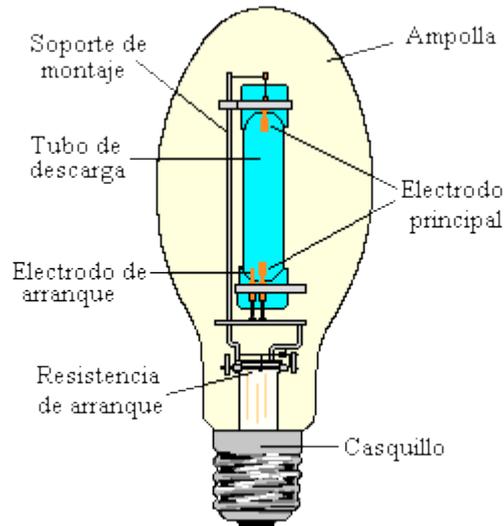


Ilustración No. 325 Lámpara de mercurio a alta presión

4.1.5. Lámparas de luz mixta

Las lámparas de luz de mixta son una combinación de una lámpara de mercurio a alta presión con una lámpara incandescente y habitualmente un recubrimiento fosforescente. El resultado de esta mezcla es la superposición, al espectro del mercurio, del espectro continuo

característico de la lámpara incandescente y las radiaciones rojas provenientes de la fosforescencia.

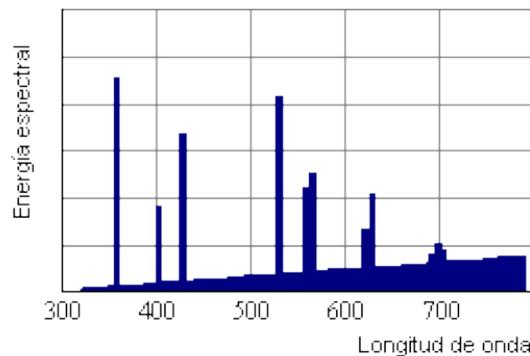


Ilustración No. 336 Espectro de emisión de una lámpara de luz mixta

Su eficacia se sitúa entre 20 y 60 $\left[\frac{lm}{w}\right]$ y es el resultado de la combinación de la eficacia de una lámpara incandescente con la de una lámpara de descarga. Estas lámparas ofrecen una buena reproducción del color con un rendimiento en color de 60 % y una temperatura de color de 3600 [K].

La duración viene limitada por el tiempo de vida del filamento que es la principal causa de fallo. Respecto a la depreciación del flujo hay que considerar dos causas. Por un lado tenemos el ennegrecimiento de la ampolla por culpa del wolframio evaporado y por otro la pérdida de eficacia de los polvos fosforescentes. En general, la vida media se sitúa en torno a las 6000 horas.

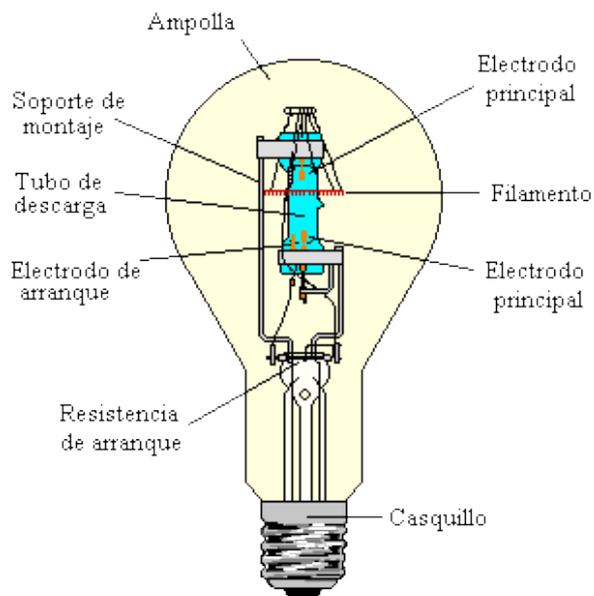


Ilustración No. 37 Lámpara de luz mixta

Una particularidad de estas lámparas es que no necesitan balastro ya que el propio filamento actúa como estabilizador de la corriente. Esto las hace adecuadas para sustituir las lámparas incandescentes sin necesidad de modificar las instalaciones.

4.1.6. Lámparas de Halogenuros metálicos

Si añadimos en el tubo de descarga yoduros metálicos (sodio, talio, indio...) se consigue mejorar considerablemente la capacidad de reproducir el color de la lámpara de vapor de mercurio. Cada una de estas sustancias aporta nuevas líneas al espectro, por ejemplo el amarillo se debe al sodio, el verde al talio y el rojo y azul al indio.

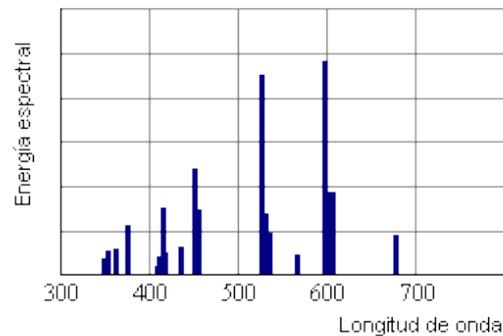


Ilustración No. 348 Espectro de emisión de una lámpara con halogenuros metálicos

Los resultados de estas aportaciones son una temperatura de color de 3000 a 6000 [K] dependiendo de los yoduros añadidos y un rendimiento del color de entre 65 y 85 %. La eficiencia de estas lámparas ronda entre los 60 y 96 $\left[\frac{lm}{w}\right]$ y su vida media es de unas 10000 horas. Tienen un tiempo de encendido de unos diez minutos, que es el tiempo necesario hasta que se estabiliza la descarga. Para su funcionamiento es necesario un dispositivo especial de encendido, puesto que las tensiones de arranque son muy elevadas de 1500 hasta 5000 [V].

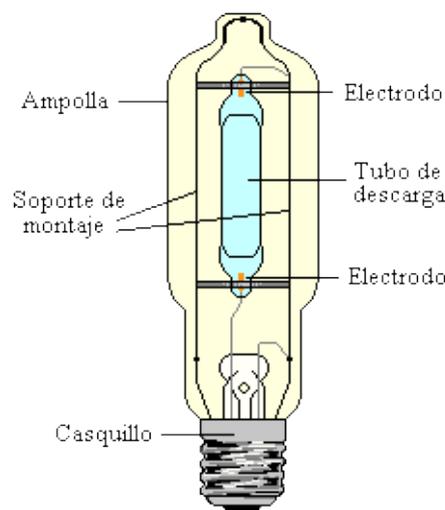


Ilustración No. 359 Lámpara con halogenuros metálicos

Las excelentes prestaciones cromáticas la hacen adecuada entre otras, para la iluminación de instalaciones deportivas, para retransmisiones de TV, estudios de cine, proyectores, etc.

4.1.7. Lámparas de vapor de sodio

(1) Lámparas de vapor de sodio a baja presión

La descarga eléctrica en un tubo con vapor de sodio a baja presión produce una radiación monocromática característica formada por dos rayas en el espectro Electromagnético de 589 [nm] y 589.6 [nm] que están muy próximas entre sí.

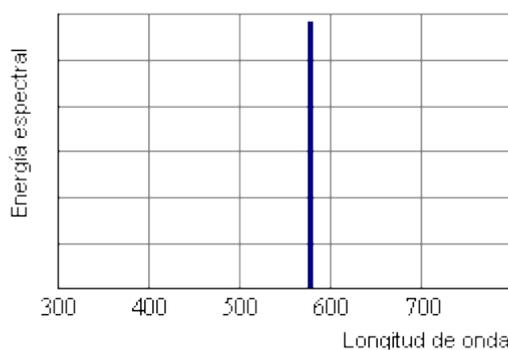


Ilustración No. 40 Espectro de una lámpara de vapor de sodio a baja presión

La radiación emitida es de color amarillo, está muy próxima al máximo de sensibilidad del ojo humano 555 [nm]. Por ello, la eficiencia de estas lámparas es muy elevada que está entre 160 y 180 $\left[\frac{lm}{w}\right]$. Otras ventajas que ofrece es que permite una gran comodidad y agudeza visual, además de una buena percepción de contrastes. Por contra, su monocromatismo hace que la reproducción de colores y el rendimiento en color sean muy malos haciendo imposible distinguir los colores de los objetos.

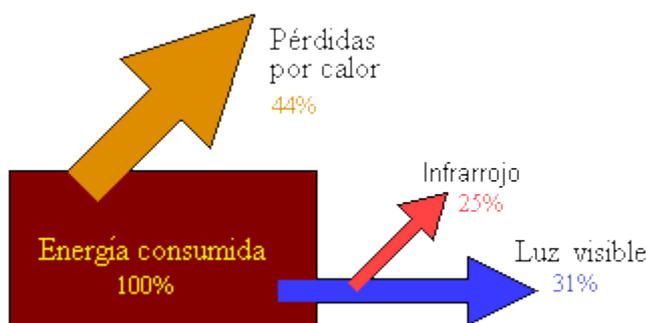


Ilustración No. 361 Balance energético de una lámpara de vapor de sodio a baja presión

La vida media de estas lámparas es muy elevada, de unas 15000 horas y la depreciación de flujo luminoso que sufren a lo largo de su vida es muy baja por lo que su vida útil es de entre 6000 y 8000 horas. Esto junto a su alta eficiencia y las ventajas visuales que ofrece la hacen muy adecuada para usos de alumbrado público, aunque también se utiliza con finalidades decorativas. En cuanto al final de su vida útil, este se produce por agotamiento de la sustancia emisora de electrones como ocurre en otras lámparas de descarga. Aunque también se puede producir por deterioro del tubo de descarga o de la ampolla exterior.

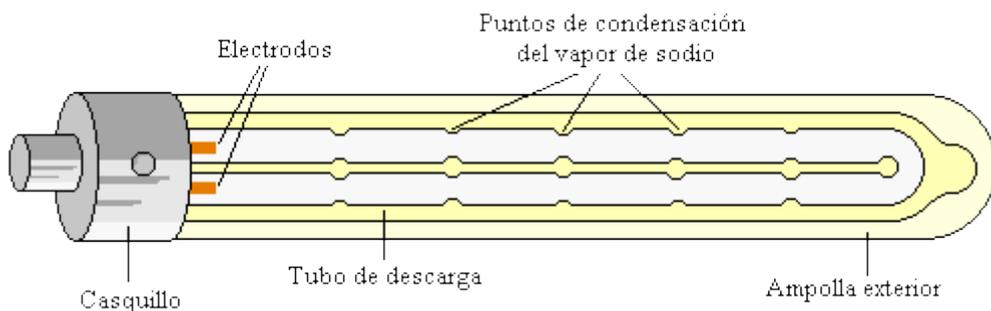


Ilustración No. 372 Lámpara de vapor de sodio a baja presión

En estas lámparas el tubo de descarga tiene forma de U para disminuir las pérdidas por calor y reducir el tamaño de la lámpara. Está elaborado de materiales muy resistentes pues el sodio es muy corrosivo y se le practican unas pequeñas hendiduras para facilitar la concentración del sodio y que se vaporice a la temperatura menor posible. El tubo está encerrado en una ampolla en la que se ha practicado el vacío con objeto de aumentar el aislamiento térmico. De esta manera se ayuda a mantener la elevada temperatura de funcionamiento necesaria en la pared del tubo unos 270 [°C].

El tiempo de arranque de una lámpara de este tipo es de unos diez minutos. Es el tiempo necesario desde que se inicia la descarga en el tubo en una mezcla de gases inertes generalmente neón y argón, hasta que se vaporiza todo el sodio y comienza a emitir luz. Físicamente esto corresponde a pasar de una luz roja (propia del neón) a la amarilla característica del sodio. Se procede así para reducir la tensión de encendido.

(2) Lámparas de vapor de sodio a alta presión

Las lámparas de vapor de sodio a alta presión tienen una distribución espectral que abarca casi todo el espectro visible proporcionando una luz blanca dorada mucho más agradable que la proporcionada por las lámparas de baja presión.

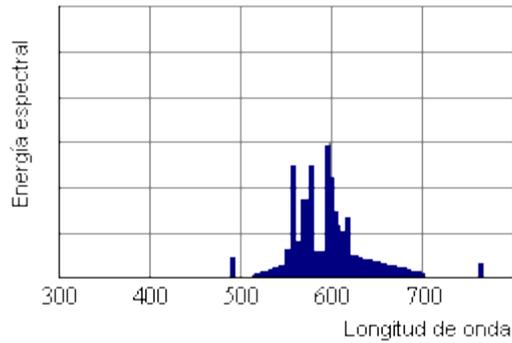


Ilustración No. 383 Espectro de una lámpara de vapor de sodio a alta presión

Las consecuencia de esto es que tienen una temperatura de color T_{color} igual a 2100 [K] y capacidad para reproducir los colores mucho mejor que la de las lámparas a baja presión (IRC = 25, aunque hay modelos de 65 y 80). No obstante, esto se consigue a base de sacrificar eficacia; aunque su valor que ronda los $130 \left[\frac{lm}{W} \right]$ sigue siendo un valor alto comparado con los de otros tipos de lámparas.



Ilustración No. 394 Balance energético de una lámpara de vapor de sodio a alta presión

La vida media de este tipo de lámparas ronda las 20000 horas y su vida útil entre 8000 y 12000 horas. Entre las causas que limitan la duración de la lámpara, además de mencionar la depreciación del flujo tenemos que hablar del fallo por fugas en el tubo de descarga y del incremento progresivo de la tensión de encendido necesaria hasta niveles que impiden su correcto funcionamiento.

Las condiciones de funcionamiento son muy exigentes debido a las altas temperaturas unos 1000 [°C], la presión y las agresiones químicas producidas por el sodio que debe soportar el tubo de descarga. En su interior hay una mezcla de sodio, vapor de mercurio que actúa como amortiguador de la descarga y xenón que sirve para facilitar el arranque y reducir las pérdidas térmicas. El tubo está rodeado por una ampolla en la que se ha hecho el vacío. La tensión de encendido de estas lámparas es muy elevada y su tiempo de arranque es muy breve.

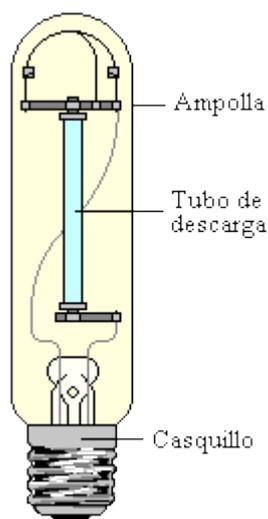


Ilustración No. 405 Lámpara de vapor de sodio a alta presión

Este tipo de lámparas tienen muchos usos posibles tanto en iluminación de interiores como de exteriores. Algunos ejemplos son en iluminación de naves industriales, alumbrado público o iluminación decorativa.

4.1.8. Características de Lámparas ahorradoras

Las lámparas ahorradoras de energía denominadas CFL (Compact Fluorescent Lamp – Lámpara Fluorescente Compacta) son una variante mejorada de las lámparas de tubos rectos fluorescentes, que fueron presentadas por primera vez al público en la Feria Mundial de New York efectuada en el año 1939.

Desde su presentación al público, las lámparas de tubos fluorescentes se utilizan para iluminar variados tipos de espacios, incluyendo nuestras casas. En la práctica el rendimiento de esas lámparas es mucho mayor, consumen menos energía eléctrica y el calor que disipan al medio ambiente es prácticamente despreciable en comparación con el que disipan las lámparas incandescentes o las de descarga.



Ilustración No. 416 Lámpara CFL de 9 watts, con tubos rectos

Las lámparas CFL son de encendido rápido, por lo tanto no requieren cebador (encendedor, stárter) para encender el filamento, sino que emplean un balastro electrónico en miniatura, encerrado en la base que separa la rosca del tubo de la lámpara. Ese balastro suministra la tensión o voltaje necesario para encender el tubo de la lámpara y posteriormente regular la intensidad de corriente que circula por dentro del propio tubo después de encendido.

El balastro electrónico se compone, fundamentalmente, de un circuito rectificador de diodos de onda completa y un oscilador, encargado de elevar la frecuencia de la corriente de trabajo de la lámpara entre 20,000 y 60,000 [Hz] aproximadamente, en lugar de los 50 ó 60 [Hz] con los que operan los balastos electromagnéticos e híbridos que emplean los tubos rectos y circulares de las lámparas fluorescentes comunes antiguas.

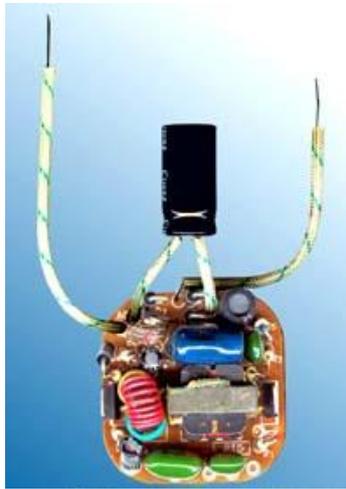


Ilustración No. 427 Imagen de un balastro de lampara CFL

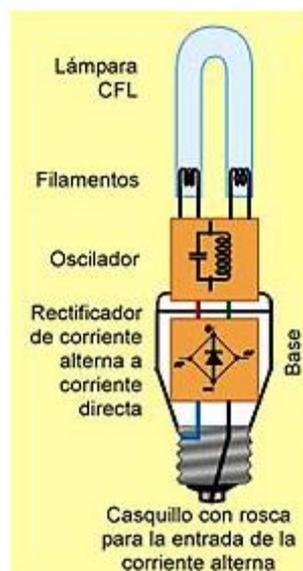


Ilustración No. 438 Partes de una lámpara CFL

4.1.9. Lámparas de Leds

Empezaremos por describir nuestra fuente principal de luz, que en este caso son los ya mencionados LEDs, después de describir su funcionamiento describiremos algunas ventajas.

Pero creo que todos nos haremos empecemos por la pregunta obvia ¿Qué es un led? ¿Cómo funciona un led?

Los LEDs son componentes eléctricos semiconductores (diodos) que son capaces de emitir luz al ser atravesados por una corriente pequeña. Las siglas "LED" provienen del acrónimo en inglés "Light Emitting Diode" o lo que traducido al español sería "Diodo Emisor de Luz".

Estos están conformados básicamente por material semiconductor dopado con impurezas, las cuales crean uniones del tipo P-N. Los LEDs, a diferencia de los emisores de luz tradicionales, poseen polaridad (siendo el ánodo la terminal positiva y el cátodo la terminal negativa) por lo que funcionan únicamente al ser polarizados en directa.

¿Cómo funciona un led?

La electroluminiscencia²⁰ se da cuando son estimulados por una diferencia de potencial (tensión) en directa sobre sus terminales, las cargas eléctricas negativas (electrones) y las cargas eléctricas positivas (huecos) son atraídas a la zona de unión donde se combinan entre sí, dando como resultado la liberación de energía en forma de fotones como se ilustra en la siguiente figura.

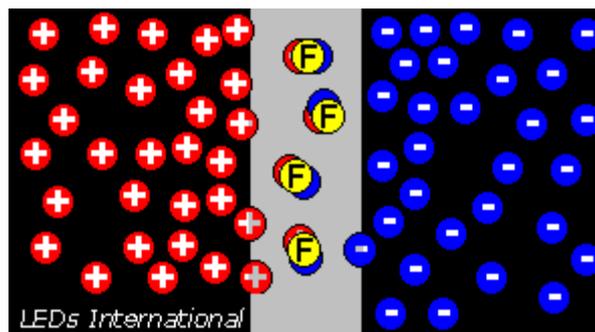


Ilustración No. 449 Comportamiento de los electrones

Esto da como resultado una generación de luz mucho más eficiente ya que la conversión energética se da con mucho menos pérdida en forma de calor como ocurre con focos regulares con resistencias.

²⁰Es un fenómeno óptico y eléctrico en el cual un material emite luz en respuesta a una corriente eléctrica que pasa a través de ciertos sólidos, como los materiales fosfóricos, o por causa de la fuerza de un campo eléctrico. Debe distinguirse de la emisión de luz por causa de la temperatura (incandescencia), por causa de la acción de productos químicos (quimioluminiscencia) o de otros fenómenos que también pueden generar luz.

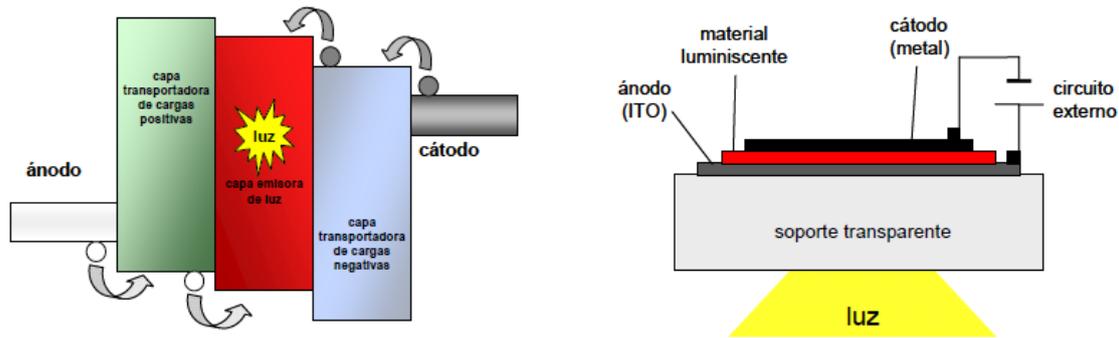


Ilustración No. 50 Cortes de la estructura de los LEDs

Los LEDs son componentes que, dependiendo de la combinación de los elementos químicos presentes en los materiales que los componen, (ejemplo: AlGaInP, GaAs, GaInN, GaP, etc.) pueden producir un amplio rango de longitudes de onda dentro del espectro cromático, dando como resultado diferentes colores, desde el infrarrojo, pasando por todo el abanico del espectro visible (rojos, amarillos, verdes, azules) hasta ultravioleta, por lo que son muy versátiles en cuanto a su uso en aplicaciones que requieren fuentes de iluminación con longitudes de onda que no se habían podido obtener previamente con fuentes de luz tradicionales.

Algunas ventajas de los LEDs:

Una de las ventajas más importantes es su Alto Coeficiente de Utilización (CU)²¹. El flujo luminoso y la eficacia del conjunto lámpara-balastro no es la única variable a considerar. La forma y tamaño de las lámparas fluorescentes causan un bajo CU en alumbrado público, típicamente entre 0.2 y 0.25. Los sistemas de HID²² e inducción fluctúan generalmente entre 0.35 y 0.43 mientras que uno de LEDs alcanza valores tan altos como 0.8. Si la eficacia nominal de las fluorescentes convencionales de 1994 era de por sí menor que las de aditivos metálicos (VAM) y vapor de sodio en alta presión (VSAP), su reducido CU, la depreciación de los reflectores con pintura a causa de las radiaciones ultravioleta (UV) e infrarrojo (IR) y la acumulación de polvo en la pared superior de la lámpara causan una menor eficacia del sistema que las deja fuera de aplicaciones eficientes de alumbrado público.

Son muchas las ventajas que poseen los LEDs ante los dispositivos tradicionales de iluminación como lámparas incandescentes, alógenos, tubos de neón, etc. A continuación se presentan algunas de ellas:

²¹ En iluminación, el (CU) es una medida de la eficiencia de una luminaria en la transferencia de energía luminosa a un plano de trabajo en un área determinada, es la proporción de lúmenes que inciden desde una luminaria a un plano de trabajo en relación a los lúmenes emitidos por la lámpara sin la luminaria. El CU normalmente es expresado en porcentaje.

Fuente. El coeficiente de Utilización en el diseño de instalaciones de Alumbrado Público.

²² HID, Alta Intensidad de Descarga por sus siglas en ingles

- Reducen significativamente el consumo de energía en comparación a las luminarias tradicionales tales como las lámparas incandescentes, halógenas, entre otras.
- Tiempo estimado de vida muy elevado, por lo que se reducen costos de mantenimiento.
- Trabajan a muy baja corriente y tensión lo que los hace más seguros y confiables en su implementación.
- Virtualmente no generan calor (cuando son implementados a baja potencia).
- Por ser de estado sólido pueden ser adaptados a aplicaciones con ciertos grados de vibraciones o impactos.
- Son excelentes para ser implementados en sistemas microcontrolados o con niveles de tensión TTL por trabajar a baja tensión.
- Tiempo de respuesta ON/OFF - OFF/ON casi instantáneo.
- Puede ajustarse su intensidad en el brillo por medio de modulación en frecuencia.
- Son ideales para el diseño de dispositivos de iluminación multicolor.
- Permiten la elaboración de dispositivos de iluminación mucho más prácticos y de fácil instalación.

5. Análisis del sistema caracterizado

Como ya se menciona anteriormente, Los rayos que provienen del Sol traen consigo fotones de características diferentes (rayos gamma, rayos ultravioleta, luz visible, rayos infrarrojos y ondas de radio), estos constituyen el espectro lumínico del Sol. Que realmente lo que nos interesa es la parte de la luz visible.

Partiendo de la siguiente imagen de una configuración típica de una instalación fotovoltaica,

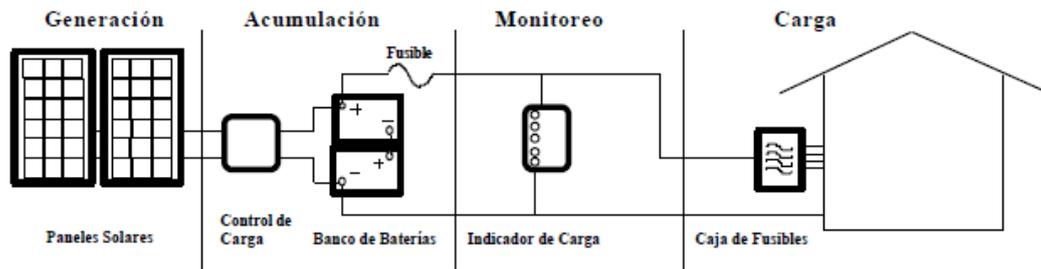


Ilustración No. 451 Configuración típica de una instalación Fotovoltaica.

En nuestro caso solo se tendrá una carga conectada la cual consiste en una luminaria a base de LEDs que funcionara únicamente durante las noches.

La cual tendrá un periodo de encendido y un periodo de apagado, el cual más adelante se detallara. Primeramente se describirá el equipo utilizado para después poner todos los datos y características que se obtuvieron durante este tiempo de caracterización.

5.1. Descripción del sistema empleado

5.1.1. Celdas solares

Con capacidad de 150 [W] integrado por dos paneles fotovoltaicos de silicio mono-cristalino, marca CONDUMEX, tensión de operación nominal del arreglo, 12 [V] c.c. enmarcado en aluminio anodizado al natural, vidrio templado resistente a los impactos, totalmente sellado para evitar contaminación por polvo en las celdas, una caja de conexión integrada al modulo con diodos para evitar una corriente inversa, el tiempo de vida de los módulos garantizado es de 25 años.



Ilustración No. 462 Paneles FV de silicio mono-cristalino utilizados



Ilustración No. 473 Paneles FV de silicio mono-cristalino utilizados

5.1.2. Baterías

Las baterías utilizadas para la implementación son de gel, 2 en este caso, son baterías de descarga profunda de 115 [Ah] como máximo cada una, dando un total de 230 [Ah].

Se dice que son de descarga profunda porque pueden soportar varias veces quedarse sin carga sin que sufra daños la estructura interna de la batería, por este motivo no es recomendable utilizar las de tipo automotrices porque estas están diseñadas para entregar una gran cantidad de corriente por unos cuantos segundos y su estructura en las placas es porosa las de descarga profunda son de barras de macizo para entregar poca corriente por periodos más prolongados y así poder descargarse sin sufrir daños



Ilustración No. 484 Baterías de Gel utilizadas

5.1.3. Control de carga y descarga

De acuerdo a la configuración típica que se presento al inicio de este tema, el control de carga y descarga también tiene integrada la función de indicador de carga, protección, conexión y desconexión de la carga automáticamente, todo esto integrado en un dispositivo pequeño.

Esta resguardado en una cajita hecha en lámina pintada de color negro con Dimensiones:

- Largo: 290 [mm].
- Ancho: 77 [mm].
- Profundidad: 66 [mm].
- Peso: 410 [gr].

Operación

Al amanecer los paneles solares inician la carga de las baterías ("MÓDULO" enciende), para reponer lo consumido la noche anterior. Cuando las baterías están totalmente cargadas, se desconectan los módulos.

En ese momento la tensión baja a aproximadamente 13.6 volts manteniendo una corriente pequeña cargando a la batería (corriente de fuga), por medio de un circuito de flotación. El indicador ámbar permanece encendido todo el día, indicando que los paneles están generando.

En cuanto la tensión de la batería baje a 13.2 volts [V], por baja insolación, los módulos se reconectan ("MODULO" enciende nuevamente) hasta que alcanza otra vez la tensión de plena carga.

Selector en "AUTOMATICO"

Siempre que la batería este por encima de la tensión de desconexión de carga por baja tensión de batería, el indicador luminoso BATERÍA "NORMAL" estará encendido. Si, por exceso de uso o días nublados consecutivos, la batería baja a menos de la tensión, los aparatos alimentados serán desconectados de las baterías y el indicador de BATERÍA "BAJA" se enciende. Se evita así que las baterías se dañen por exceso de descarga.

Cuando las baterías lleguen a la tensión de operación normal, llegando a 13.2 volts, los aparatos se reconectan automáticamente y el indicador de BATERÍA "NORMAL" se enciende. Hay que aclarar que en nuestro caso Las cargas conectadas solo operan en forma automática por la noche.

Selector en "EMERGENCIA"

En esta posición del selector, el controlador desconecta las cargas a 0.3 volts por debajo de la tensión de desconexión de cargas por baja tensión de batería, permitiendo un tiempo adicional de uso del sistema.



Ilustración No. 495 Control de carga, descarga, encendido y apagado

5.1.4. Luminarias

Las luminarias tienen un gabinete para su uso a la intemperie resistente al agua e impactos con una cubierta protectora de policarbonato como envoltorio para proteger nuestra fuente de emisión lumínica que en este caso son leds. Compuesta de 12 Leds de potencia de 3 [W] cada uno lo que nos da un total de 36 [W].



Ilustración No. 56 Luminaria utilizada.

5.1.5. Otros materiales para la implementación

Cables de interconexión para las baterías y módulos solares, terminales de ojillo tipo espada, tornillería, estructura para soporte de módulos solares con inclinación adecuada del sitio, con capacidad para el arreglo solar, esta se instalara en la parte superior del poste.

5.2. Preparativos

Como introducción se muestra la siguiente imagen, en la cual podemos observar que gran parte de la radiación solar, el 90% aproximadamente, está constituido por rayos infrarrojos y luz visible.

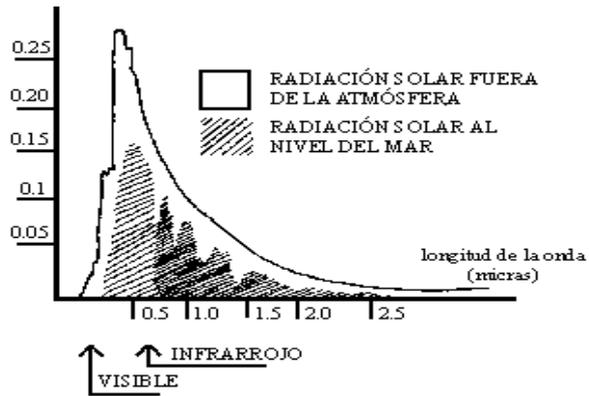


Ilustración No. 507 Espectro del Sol

La radiación solar está constituida por 7 % de rayos ultravioleta, 47 % de radiación visible y 46 % de rayos infrarrojos. En la superficie, en condiciones ideales con cielo despejado y a nivel del mar, los porcentajes son: 4 % de ultravioleta, 46 % de visible y 50 % de infrarroja. La curva corresponde a la radiación de cuerpo negro a aproximadamente 6 000° K. Por el gran porcentaje de luz visible, es nuestra principal razón por lo cual se considera que es muy factible el uso de esta tecnología en nuestro país.

En cuanto a la realización del proyecto, Se busco una zona donde no pudiese tener obstáculos (sombras) los paneles y que mejor que en la azotea de la División de Ingeniería Electrónica la cual no tiene edificios ni arboles que lleguen a proyectar sombra sobre ella, esto con el fin de que los dos pares de panel recibieran el mayor tiempo posible y la mayor cantidad de energía solar, esto, para garantizar el buen funcionamiento del sistema y sobre todo la capacidad de carga fuera lo suficiente para que las baterías se mantengan siempre a su máxima capacidad.



Ilustración No. 518 Instalación de los paneles FV en la azotea de la DIE

Los paneles se instalaron con una orientación sur-norte para poder recibir los primeros rayos del sol pero principalmente cuando la posición del sol este perpendicular a ellos que son las horas de mayor insolación y así el máximo de los rayos solares se captan en ellos para que al final del día no sea tan indispensable captar los últimos rayos solares.

Tenemos que hacer hincapié en que la posición N-S (Norte-Sur) es la más indicada ya que se reciben desde los primeros rayos, así como los últimos rayos solares de un día cualquiera que fuere, de hecho esta es una de las razones por la cual, Ciudad Universitaria tiene esa misma orientación ya que así se aprovecha al máximo la luz del día.

Se anclaron al piso de la azotea para que no tuviera movimientos por cuestiones de limpieza de los paneles o cuando se realiza limpieza a la azotea si es que se tuviesen que mover y poder regresar a su posición original, y esto nos llevase a que nos hiciera perder la orientación antes dicha.

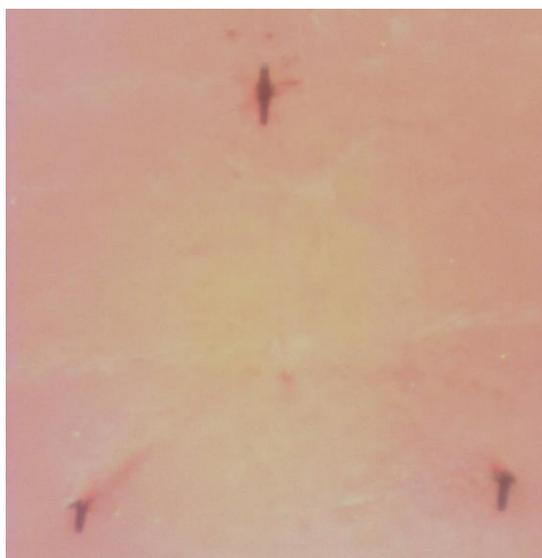


Ilustración No. 529 Espárragos anclados al piso

Por el lado del punto de vista de seguridad, la idea fundamental de anclarlas al piso fue, que por vientos fuertes se moviesen los paneles y estos podrían tener daños, como romperse el vidrio protector y como consecuencia la contaminación de las celdas con polvo, la otra razón de anclarlos al piso fue por la misma razón, vientos que pueden llegar a ser muy fuertes, por seguridad hacia personal y alumnos que se encuentran en los alrededores del edificio de la DIE, estos vientos hicieran que los paneles cayeran hacia algún lado del edificio, evitando así que pudiese haber algún accidente, aunque esta probabilidad seria remota no podíamos descartarla.



Ilustración No. 60 Base de los paneles formada de ángulo

La base y demás estructura para soportar los dos pares de paneles fue hecha de fierro del tipo llamado ángulo para tener un soporte bastante confiable y sirviera a nuestro propósito.

La razón de utilizar este material fue, que se pensó en un material que soportara el peso de los dos pares de paneles que se iban a colocar y que fuese durable



Ilustración No. 531 Colocación de los paneles por pares

Para conservar un poco más el material, de las lluvias y humedad de CU no lo deteriorara rápido se le puso una capa de base para pintura (primer).

El sistema de control y el banco de baterías se encuentra en la sala de juntas del departamento de electrónica esto con el fin de tener un mejor control y seguridad del equipo, aunque, hay

que aclarar que este sistema fue diseñado para trabajar totalmente autónomo y a la intemperie, pero para fines de estudio se decidió ubicarlos ahí.

Las luminarias por el momento se instalaron en la oficina del M.I. Roberto Tovar Medina esto con el fin de poder estar más al pendiente de las luminarias, si estaban encendiendo o no, y poder tener un control sobre las mismas.

Todo esto debe de ir puesto sobre un poste y arbotante pero para poder estudiar el sistema detalladamente se tomo la decisión, de instalarlo de esta forma.

5.3. Desarrollo de la caracterización

Como ya se menciona nuestros paneles están hechos de Silicio mono-cristalino.

En pruebas de laboratorio las celdas mono cristalinas producen alrededor de 0.5 [V], independientemente del área de la celda solar, consiguen un rendimiento aproximado del 19 % en laboratorio y del 10 al 15 % en campo.

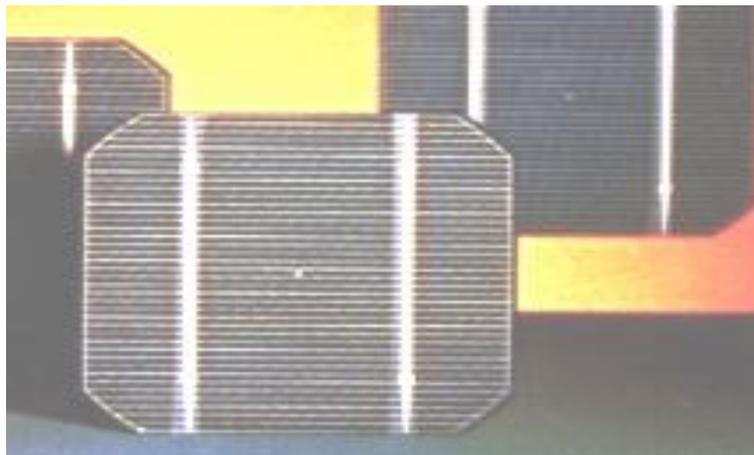


Ilustración No. 542 Celda fotovoltaica monocristalina

Los paneles son de 75 [W] cada uno, recordando que en México tenemos una densidad energética de $5 \left[\frac{kW}{h} \right]$ por metro cuadrado al día, así, si tenemos un panel fotovoltaico de 75 [W] en un día con 5 horas de sol, este producirá $375 \left[\frac{W}{hr} \right]$ al día, en teoría debe de ser así pero debemos de tener en cuenta que la luz del sol es variable durante el día, también por sombras proyectadas de las nubes hacen que varié.

Debido a que la posición del sol varía a través del año, más alto en verano y más bajo en invierno, es recomendable darle un ajuste al ángulo de la posición de la celda dependiendo de la estación del año en que nos encontremos. En nuestro caso no será así, ya que el sistema al estar operando, montado en un poste no se podría realizar ajustes ya que perdería autonomía

el sistema, adicionalmente de que sería difícil estar variando su orientación ya montados, haciendo cambios a la base de los paneles.

Sin embargo se mencionara, la regla para esto, es colocar las celdas siempre horizontales hacia el sur en un ángulo de la latitud²³ local + 15 grados en invierno y la latitud local - 15 grados en verano, la latitud en México es 19° latitud norte. Como nuestra instalación es fija se sigue la siguiente orientación N-S es la más favorable en cuanto a producción solar, de hecho, es el azimut²⁴ de referencia para instalaciones fijas.

Con respecto a lo anterior y de acuerdo a los siguientes datos sobre la hora en que amanece:

El 21 de marzo amanece a las 6:00 [am].

El 21 de junio amanece a las 5:30 [am].

El 23 de septiembre amanece a las 6:00 [am].

El 23 de diciembre amanece a las 6:30 [am].

y la hora en que anochece tenemos que:

El 21 de marzo anochece a las 18:00 [pm].

El 21 de junio anochece a las 18:30 [pm].

El 23 de septiembre anochece a las 18:00 [pm].

El 23 de diciembre anochece a las 17:30²⁵[pm].

Todos estos horarios son aproximados, ahora, con relación a nuestro trabajo se ajustan también a las horas de funcionamiento y descanso de la luminaria ya que se estuvieron midiendo sus tiempos de funcionamiento solo hay que agregarle a estos horarios de 10 a 15 minutos después, a la hora de apagarse en la mañana y como 20 minutos antes de encenderse en la noche, esto es debido a las tensiones que maneja el control para la conexión y desconexión respectivamente.

De acuerdo a estos datos podemos asegurar que las baterías tendrán una buena carga para poder soportar varios días nublados, esto lo podemos afirmar ya que otra prueba que se realizo fue la de cuánto tiempo soportaban funcionando las baterías sin descanso, es decir se dejaron

²³La latitud es la distancia angular entre la línea ecuatorial (ecuador) y un punto determinado del planeta, medida a lo largo del meridiano en el que se encuentra dicho punto angular. Se abrevia con lat. La latitud se denomina en latitud Norte y latitud Sur según el hemisferio.

²⁴ En astronomía, Acimut o azimut es una palabra que proviene del árabe "as-sumut" (la dirección, el cenit), plural de "as-sumt". Cenit (o zenit) es la parte de la bóveda celeste situada en la vertical del observador.

²⁵ Taller: Modelo para representar la trayectoria del sol sobre el globo terrestre
Ilce Tlanezi Lara Montiel y Julieta Fierro

funcionando toda una semana de lunes a lunes la cual funciono sin problemas las 24 horas del día.

Un panel que produce 75 [W] genera 6.25 [A] ya que $75 [W] \text{ entre } 12 [V] = 6.25 [A]$.

Es decir: $P = VI$

Despejando

$$I = \frac{P}{v} \quad \text{Sustituyendo valores} \quad I = \frac{75}{12} \left[\frac{W}{V} \right] = 6.25 [A]$$

En esta parte coinciden con este valor, ya que el promedio que se calculó de las diferentes mediciones que se hacían a diario por varias semanas, es de 6.66 y 6.40 [A] del juego de paneles. También hay que hacer notar que este es un promedio porque llego en pocas ocasiones a proporcionar hasta 9 [A], claro está, que eran unos pequeños picos.

Este promedio de corriente es bueno ya que nos permite tener una buena carga para las baterías para la siguiente noche en que operaran las luminarias y sobre todo, el objetivo es asegurar que las baterías nunca se descarguen demasiado.

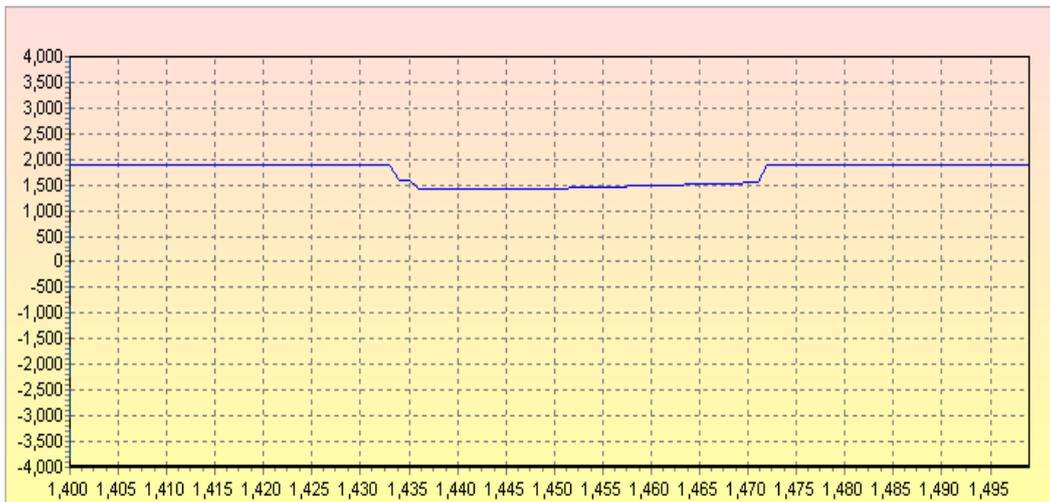
La protección se logra desconectando las cargas cuando el voltaje baja de un nivel preestablecido. Esta operación se conoce como desconexión por baja tensión o "LVD" por sus siglas en inglés. En los sistemas Fotovoltaicos pequeños, el voltaje de desconexión debe ser de 11.3 [V] a 11.5 [V] para una profundidad de descarga máxima de 80%, en nuestro caso están preestablecidos a 11.8 [V]. En algunos modelos de controladores, el punto de desconexión es ajustable.

Es importante entender que el punto de desconexión por baja tensión corresponde a la máxima profundidad de descarga que la batería puede resistir unas cuantas veces por año, cuando ocurren varios días consecutivos de baja irradiación. Aunque las baterías utilizadas son para aplicaciones fotovoltaicas es decir, están diseñadas para soportar varias veces descargas profundas de hecho también así son llamadas, "baterías de descarga profunda" pero aun así, no se debe permitir que las baterías lleguen a este voltaje diariamente porque su vida útil se acortaría demasiado.

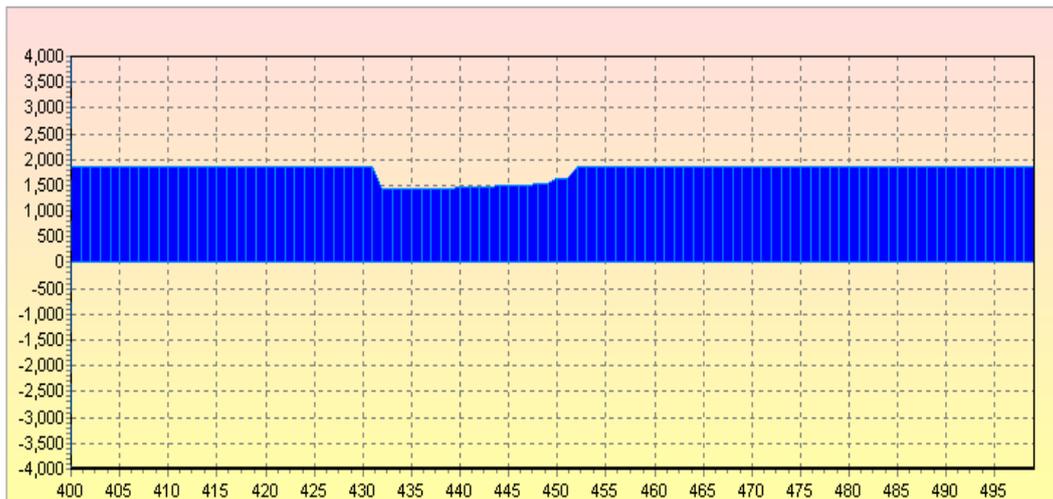
Esto punto es importante, ya que sin ellas nuestro sistema dejaría de cumplir con su objetivo que es el de iluminar, haciendo hincapié que cada componente del sistema es imprescindible para el funcionamiento del mismo, esto es para no olvidar que los demás componentes seguirían trabajando sin poder guardar la energía proporcionada por los paneles ya que al parecer las baterías son el punto débil de todo sistema fotovoltaico o dicho de otra forma, el componente que mas rápido se deteriora.

El control desconecta la luminaria, dependiendo de la tensión, a los 4.37 [V] que recibe de los paneles, y en el atardecer cuando conecta las luminarias es a los 2.25 [V], cuando hay exceso de insolación el control desconecta cuando la tensión sobre pasa los 17 [V], esto con el fin de no quemar las baterías por exceso de tensión.

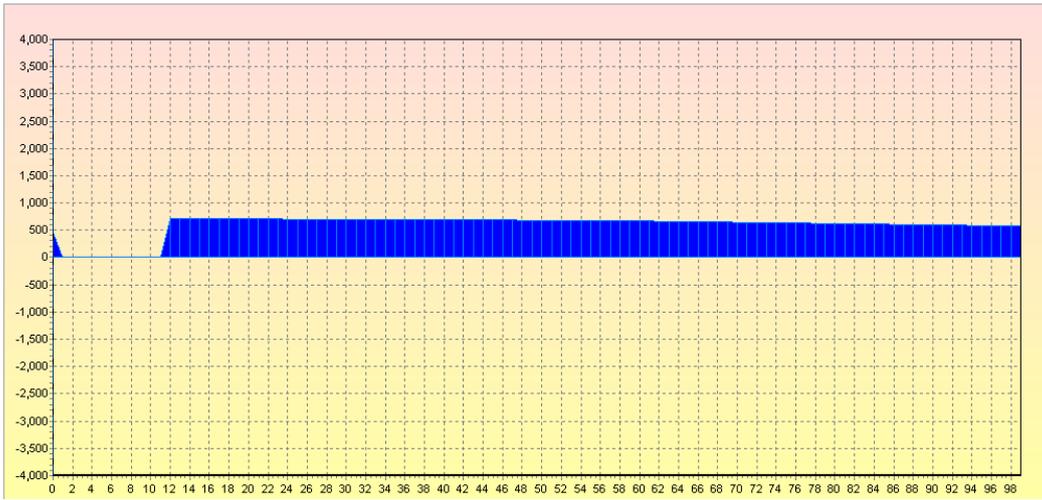
De todas las mediciones realizadas durante el periodo de estudio se lograron hacer las siguientes graficas de la Capacidad de generación de potencia del sistema utilizado, las cuales se muestran a continuación:



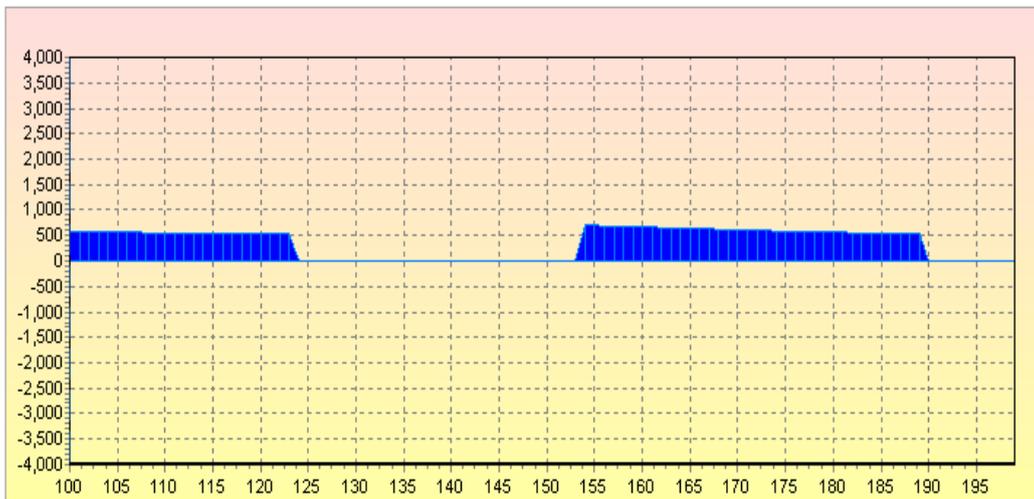
Gráfica No. 1 de Tensión en un día soleado



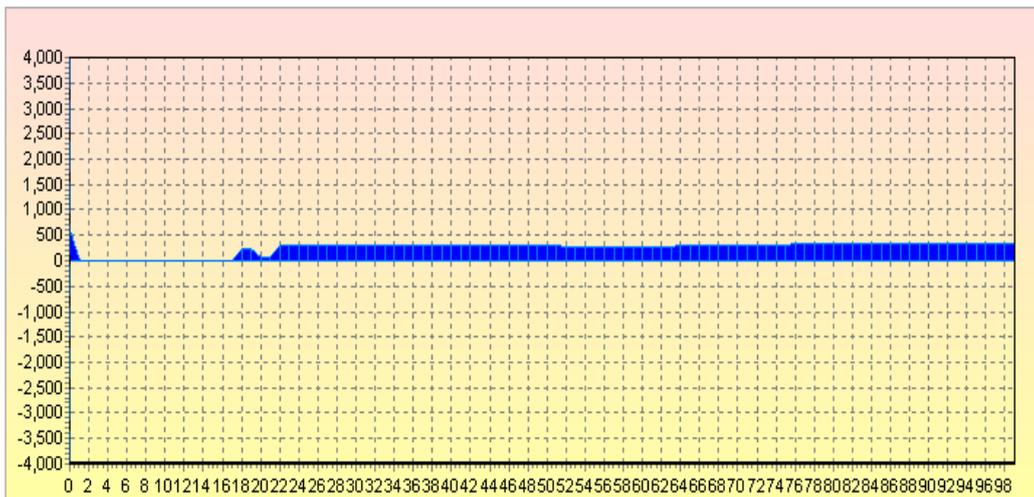
Gráfica No. 2 de tensión en un día nublado



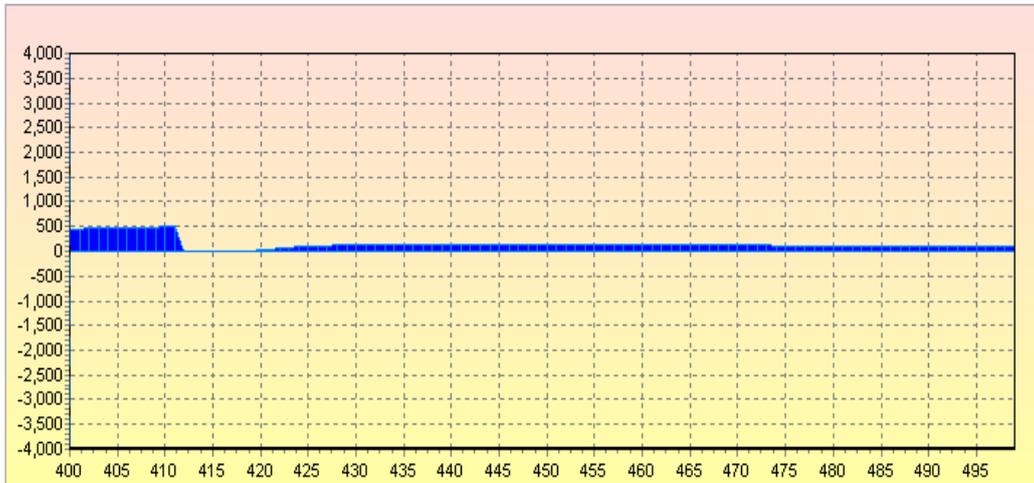
Gráfica No. 3 de corriente en día soleado



Gráfica No. 4 de corriente en día soleado

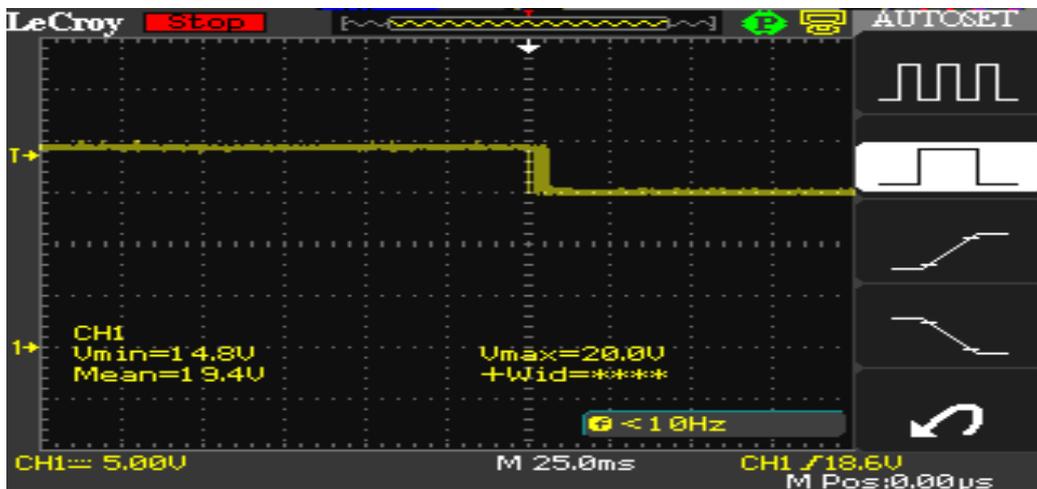


Gráfica No. 5 de corriente en un día nublado



Grafica No. 6 de corriente en un día nublado

Hay que hacer notar que la tensión durante el día se tienen fluctuaciones del mismo, esto paso de igual forma en un día soleado como en un día nublado, llegando desde 14.16 [V] a un máximo de 19.09 [V], que es la grafica siguiente, esto en diferentes intervalos de tiempo y de días, se podría decir que en la medición de la tensión no hay cambios que se puedan tomar como significativos ya que se comporta de la misma manera en día soleado que nublado.



Grafica No. 7 de un Máximo y Mínimo de tensión

En la parte de corriente, ahí si se tienen grandes diferencias puesto que la corriente decae en comparativa de un día soleado y uno nublado, ya que se llego a tener en un día soleado un máximo de 7.1 [A] a un mínimo de 3.26 [A], y en un día nublado un máximo de 4.92 [A] a un mínimo de 0.71 [A].

Por el lado de la caracterización de la luminaria se tuvieron los siguientes resultados:

La medición de la iluminancia requiere que se tome un número mínimo de muestras.
 Este número mínimo de mediciones se calcula mediante una fórmula llamada el índice del local

$$IL = \frac{a \times b}{h(a + b)}$$

Obtenido el índice del local se calcula el número mínimo de puntos de medición (NMPM).

$$NMPM = (X + 2)^2$$

En este caso nos da 9 puntos diferentes de medición pero para tratar de hacer un poco más preciso estas mediciones se decidió tomar 25 puntos en total, contados a partir del centro, espaciados 30 [cm] entre cada punto.

Los cuales se presentan a continuación:

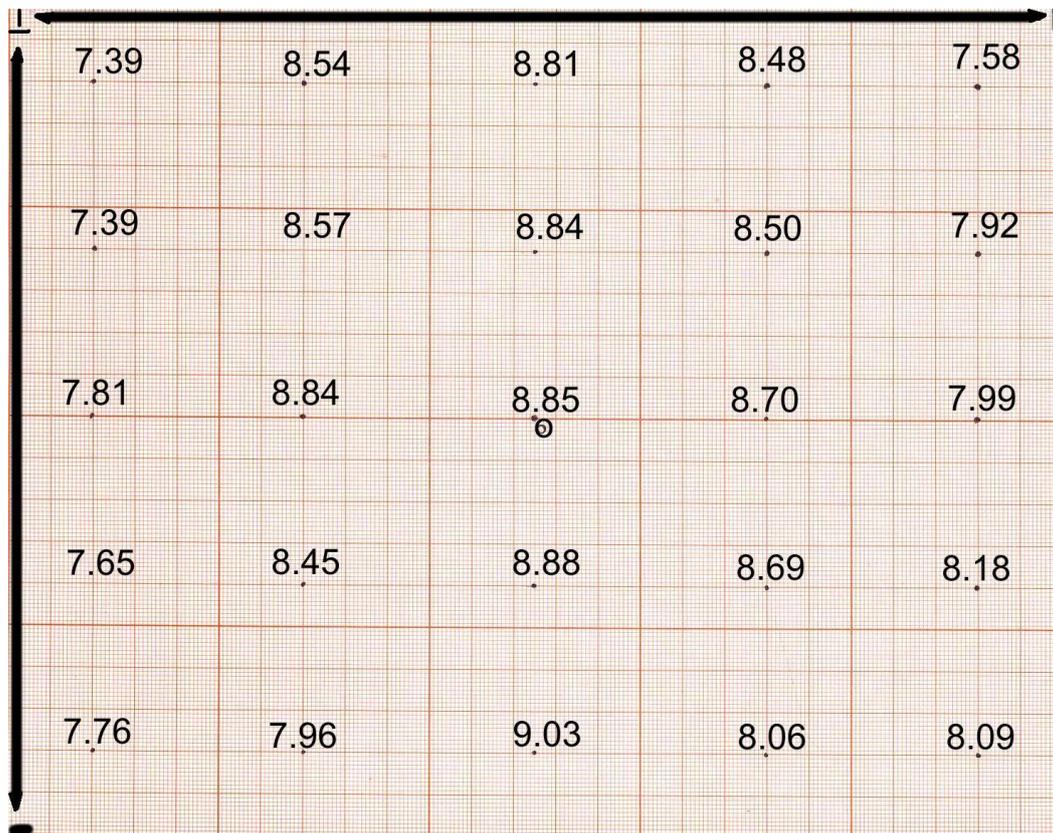


Ilustración No. 553 Medición de lux a 7 [m]

Para el cálculo de la eficiencia de la lámpara:

$$\eta_L = \frac{lm}{P}$$

De acuerdo a nuestras mediciones del consumo de la luminaria y la cantidad de luminancia (Brillo)

$$I=1.0545 \text{ [A]}, L=8.2504 \left[\frac{\text{cd}}{\text{m}^2}\right].$$

Por lo que la eficiencia de nuestra luminaria es de

$$\eta_L = 7.82 \left[\frac{\text{lm}}{\text{W}}\right]$$

Realmente es poca la eficiencia de esta luminaria.

Hay que hacer notar que La potencia de una lámpara es la energía consumida por esta, para transformarla en luz visible y se mide en watts, pero esta potencia no es la potencia emitida en forma lumínica al menos no toda la consumida ya que como se ha mencionado gran parte de esta potencia se pierde en forma de calor sobre todo en los incandescentes he ahí el problema de su poca eficiencia. El concepto de potencia va íntimamente ligado al de cantidad de luz emitida por la lámpara ya que entre más potencia sea la lámpara más luz emitirá, pero también, mayor será el consumo de energía eléctrica.

En cuanto a los LEDs que se utilizan, son de alta potencia, en nuestro caso son sin óptica secundaria ni ningún aditamento extra, con una potencia de 3 [W] y corriente máxima de 700 [mA]; en algunos casos con diseños más complejos que incluyen, dependiendo del fabricante y para la aplicación que se requiera, diversas alternativas de ópticas de control del flujo luminoso, este tipo de LEDs se utilizan principalmente para iluminación concentrada, en aplicaciones exteriores arquitectónicas, permitiendo generar amplias posibilidades creativas de diseño y efectos de color.

El tipo de led que utiliza la luminaria son los que se muestran en la siguiente ilustración



Ilustración No. 64 LEDs de 3 [W] utilizados, sin óptica secundaria.²⁶

²⁶ Foto: Experto en Luminarios ©

En conclusión, se muestra una tabla comparativa de los pocos datos que nos proporciona el fabricante que fueron, la potencia y tensión de los paneles, potencia de la luminaria, la tensión de operación de la luminaria se tomo de las baterías, los demás datos se obtuvieron matemáticamente y por mediciones tomadas directamente al sistema, los datos que conforman la parte de la tabla llamada datos obtenidos se obtuvieron de acuerdo con las mediciones realizadas.

| | DATOS FABRICANTE | DATOS OBTENIDOS |
|--|--------------------------|-----------------|
| PANEL | | |
| POTENCIA [W] | 75 X 2 | 110.6 X 2 |
| TENSIÓN [V] | 12 | 16.62 |
| CORRIENTE [A] | 6.25 | 6.66 |
| LUMINARIA | | |
| POTENCIA [W] | 36 | 12.6 |
| TENSION [V] | 12 | 12 |
| CORRIENTE [A] | 3 | 1.05 |
| Eficiencia $\left[\frac{lm}{W}\right]$ | Sin datos del fabricante | 7.82 |

Tabla 4 Comparativa entre datos fabricante y obtenidos

6. Impacto ambiental del sistema utilizado antes, durante y después

6.1. ¿Qué es el impacto ambiental?

El impacto ambiental o ecológico mide la influencia directa que ejercemos en la naturaleza debido a los recursos naturales que consumimos (alimentación, desplazamientos, alojamiento, gestión de los desechos, etc.). Desde los años ochenta, consumimos más de lo que la Tierra nos puede suministrar y nuestro consumo es superior a las capacidades de regeneración de los ecosistemas terrestres. El umbral sostenible de producción anual de CO₂ es de 500 [kg] aproximadamente.

6.2 Antes

En esta parte, todos los componentes contaminan en su producción, algunos en mayor grado que los demás componentes, trataremos de especificar la forma en que contaminan. La electricidad fotovoltaica no produce CO₂, pero la producción de los módulos fotovoltaicos consume electricidad. Tras 2 ó 3 años de operación, los paneles fotovoltaicos habrán producido más energía de la que se ha consumido para su fabricación y si a esto le sumamos que se calcula una vida promedio de los paneles de aproximadamente 25 años realmente es mucha más energía la que proporcionan que la que se consume en su fabricación.

Por este motivo se considera que los efectos contaminantes del sistema empleado al fabricarse son mínimos.

6.3 Durante

En lo que respecta a los paneles, durante su funcionamiento realmente se podría decir que sus efectos nocivos hacia la atmósfera serían nulos de todos los materiales utilizados para la implementación del sistema, aunque a decir de varios ecologistas los paneles son una fuente de contaminación visual y podría interferir con los hábitos de las especies endémicas de la zona.

Una instalación de paneles solares fotovoltaicos, a diferencia de las energías fósiles, no emite CO₂. Se trata de una solución inagotable, disponible, limpia, no perjudicial, sin ruidos ni contaminación, capaz de producir energía lo más cerca posible del lugar de consumo por lo que no se necesita de grandes cantidades de cableado ni una infraestructura muy costosa.

Asimismo, la energía solar permite evitar la contaminación que provoca el uso de materias primas, el transporte, la extracción e incluso hasta el almacenamiento final de los desechos energéticos.

Producir electricidad por medio de la energía solar contribuye a la reducción de la producción anual de CO₂. Una instalación solar fotovoltaica residencial media permite disminuir la producción de hasta 35 toneladas de CO₂ a lo largo de 20 años es decir, el equivalente a las emisiones de CO₂ que generan cuatro vueltas al mundo en coche.

En cuanto al uso de baterías en estos sistemas tiene desventajas significativas; Las baterías aumentan en mucho el costo del sistema, aumentan los requisitos de mantenimiento, también disminuyen el rendimiento del sistema debido a la pérdida de capacidad y representan un riesgo potencial de causa de accidentes y sobre todo de contaminación ya que a lo largo de la vida útil del sistema es necesario cambiar las baterías de 3 a 5 veces ya veces hasta mas. Por eso, preferentemente si es posible el no utilizar baterías cuando sea posible acoplar la carga directamente al arreglo Fotovoltaico y por supuesto cuando no se necesita almacenamiento

6.4 Después

a) Celdas solares

Los paneles solares fotovoltaicos pueden ser recuperados por fabricantes especializados, ya que se pueden reciclar. Cuando llegan al final de su ciclo de vida, los materiales pueden utilizarse para la producción de nuevos paneles solares, por ejemplo, los paneles se funden para separar los distintos componentes y las celdas de silicio, después de su purificación, se podrán volver a utilizar en nuevos paneles fotovoltaicos.

El daño ambiental es mínimo ya que el silicio, el material principal que compone a los paneles solares, se va degradando, el tiempo que tarda en degradarse es de aproximadamente cada 10 años, por lo cual un panel solar pierde el 10% de su efectividad. Un panel solar después de 30 años es necesario cambiarse, por esta razón los paneles están garantizados por el fabricante por 25 años para evitar la degradación en exceso de los materiales y así tener un mejor funcionamiento.

Desafortunadamente en México aun no se cuenta con el tipo de tecnología para poder hacer el reciclado como es debido de los paneles, esto se debe a que, aunque ya se llevan varios años utilizando los paneles no se habían utilizado a mediana y gran escala como ahora por lo cual ninguna compañía se atrevía a reciclar por ser poco rentable, ahora que se utilizan mas y seguramente aumentarían su demanda y los costos se abaratarían, es seguro que mas compañías se dedicaran al reciclado, por el momento solo algunas compañías Europeas y Norteamericanas lo hacen ya que cuentan con la tecnología y equipo necesario.

En este momento es incierto el destino final de los paneles solares en México.

b) Baterías

Las baterías dentro de estos sistemas es la peor parte ya que contaminan demasiado y su vida media se considera de 3 a 5 años así que si tomamos en cuenta que durante la vida media de los paneles se tienen que sustituir en el mejor de los escenarios 5 veces generaríamos mucha contaminación, aunque la buena parte de ellas es que las baterías se reciclan en su totalidad y todo se hace aquí en México.

c) Luminarias

Las luminarias al estar construidas con materiales bastante conocidos y utilizados es fácil su reciclado, ya que está construida de lámina y acrílico por lo cual son fácilmente reciclables en cuanto a la fuente de luz, los LEDs están hechos de resinas plásticas y por lo tanto también son totalmente reciclables

d) Otros materiales para la implementación

En cuestión de los materiales para la implementación y uso del sistema, como por ejemplo, los cables de conexión son totalmente reciclables, las zapatas para unas conexiones firmes son de latón y también reciclable, caja de resguardo de las baterías y base son de lámina, todos estos materiales son 100 % reciclables, se hacen bajo procesos relativamente sencillos pero lo mejor de todo es que se hace aquí en México.

7. Conclusiones

Antes de planificar un proyecto con energía Fotovoltaica, se deben analizar las ventajas y desventajas de la tecnología fotovoltaica frente a otras opciones disponibles, ya que es muy difícil justificar económicamente la implementación de estos sistemas. El uso de la energía fotovoltaica es bastante competitiva cuando se requieren cantidades de energía relativamente pequeñas en lugares remotos o de difícil acceso. Esto se debe al alto costo de hacer un tendido de cableado para la red eléctrica o el suministro de combustible en lugares alejados de los centros urbanos.

La utilización de la energía solar se ha probado con éxito como alternativa para satisfacer las necesidades de electricidad en las comunidades rurales ya que el promedio diario de energía solar que llega a la República Mexicana es de $5.5 \left[\frac{kWh}{m^2} \right]$.

Resaltando un poco las ventajas de los sistemas fotovoltaicos es que no producen ruido y no representan un riesgo de contaminación por combustibles, lubricantes o peor aun ambos. Teniendo una buena ubicación, diseño y buenas prácticas de instalación y mantenimiento, los sistemas FV pueden ser más confiables y duraderos que los de combustión interna.

Las dos principales desventajas del uso de la energía solar son, en primer lugar y más importante el costo elevado de los sistemas fotovoltaicos, en comparación con los convencionales y, en segundo lugar, el mantenimiento de los sistemas solares. Es necesario crear sistemas de almacenamiento de energía solar que sean poco costosos, sencillos, eficientes y duraderos este se podría decir como su punto débil ya que la mayoría de las fallas de estos sistemas es precisamente el deterioro en sus sistemas de almacenamiento de energía que en este caso son nuestras baterías.

En general se considera que un sistema de este tipo tiene buen rendimiento, aunque por el momento se considera que su implementación sería muy elevada, económicamente hablando, puesto que se cuenta con una infraestructura muy buena para el uso de luminarias que utilizan corriente alterna y por el momento sustituir las que actualmente se tienen en todas las áreas comunes utilizando las nuevas tecnologías que hay actualmente en el mercado, en lo que los costos de los sistemas Fv se abaratan.

Desafortunadamente No pasa igual en lugares distantes donde no hay tendido eléctrico y sería muy costoso el llevar energía eléctrica hasta puntos muy distantes, se considera que ahí sería una alternativa bastante viable porque solo se necesitaría un poste por cada sistema o mejor aún, instalarse sobre los techos de las viviendas, se es posible, con muy poco cableado y sobre

todo mínimo mantenimiento ya que se demostró que estos paneles prácticamente no necesitan de mantenimiento

Se tiene el antecedente de que se ha usado ampliamente en la vivienda. Cabe destacar el hecho de que una casa puede ser autosuficiente, en lo que respecta al consumo externo de energía, si se emplean algunos dispositivos solares y si la arquitectura de la vivienda está diseñada para que el clima esté controlado naturalmente con diversos sistemas solares llamados pasivos. De lo anterior podemos decir que el uso de la energía solar contribuye a que cada vez seamos menos dependientes de los combustibles fósiles.

De acuerdo a los datos obtenidos del sistema y por el tiempo que se tuvo en observación, no se necesita un mantenimiento muy frecuente es de instalación sencilla, los paneles están bastante bien protegidos por su vidrio templado, el control es bastante robusto y confiable, tiene un funcionamiento bueno en cuestión de conexión y desconexión de la luminaria este muy bien resguardado dentro de la caja de lamina donde también se encuentran las baterías, la luminaria de diseño poco atractivo y poco eficiente, considero que para áreas mas pequeñas digamos pasillos si sería buena opción, pero no para colocarse en un poste con arbotante ya que la iluminación es demasiado deficiente.

Finalmente, de acuerdo a los datos obtenidos mediante las mediciones que se realizaron a la luminaria se puede concluir que no cumple con los requerimientos mínimos para poder utilizarse en lugar de las luminarias actuales.

8. Bibliografía

<http://www.energia.gob.mx/>

<http://www.genciencia.com/tecnologia/beneficios-de-la-luz-led-de-alta-potencia>

<http://www.sitiosolar.com/Energia%20solar%20fotovoltaica.htm>

<http://www.gusgsm.com/irradiancia>

<http://www.genciencia.com/tecnologia/beneficios-de-la-luz-led-de-alta-potencia>

<http://energiaencontrol.com/blog/?m=20090512>

<http://www.ledsinternational.com/espanol/ventajas.htm>

<http://www.electronica-basica.com>

Juan Tonda Mazón, EL ORO SOLAR Y OTRAS FUENTES DE ENERGÍA
Primera edición 1993, FONDO DE CULTURA ECONÓMICA, S.A. DE C.V.

<http://aleph.gdl.iteso.mx:8080/acad/deptecno/invest/solar/indice.html>

<http://www.ases.org>

Manual de Prácticas Recomendadas para proyectos de Sistemas Fotovoltaicos Independientes.
Sandia National Laboratories, Nuevo México, E.U. 1990.

Energía Solar Fotovoltaica. Ed. Orbis S.A. España, 1986

<http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.com/>

<http://www.monografias.com>

<http://homepower.com/home/>

El coeficiente de Utilización en el diseño de instalaciones de Alumbrado Público.
Enrique Piraino D. Universidad Católica de Valparaiso.

<http://www.iluminet.com.mx/%c2%bfes-incorreto-el-uso-de-lamparas-de-induccion-para-alumbrado-publico/>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Electroluminiscencia>

<http://www.uco.es/organiza/departamentos/quimica-fisica/quimica-fisica/FQM204/Resumen.pdf>

Luminotecnia. Iluminación de interiores y exteriores.
Javier García Fernández, Oriol Boix Aragonés. ISBN: 84-600-9647-5.

<http://www.wordreference.com/definicion/>

<http://www.enalmex.com/paginas/fotoceldas.htm>

<http://www.monografias.com/trabajos16/metodos-evaluacion-economica/metodos-evaluacion-economica.shtml#METOTIEMPO>

<http://edison.upc.edu/curs/llum/fotometria/fotomet.html>

Evaluación de Proyectos

Baca Urbina, Cuarta Edición, Editorial: Mc Graw Hill, México, 1999

www.google.com.mx

www.gestiopolis.com

www.monografias.com

www.ilustrados.com

<http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/metros/luxometros.htm>

http://www.unicrom.com/Tut_corriente_electrica.asp

<http://www.iluminet.com.mx/diodos-emisores-de-luz-de-alta-potencia-de-1w/>

Trabajo y ojo,

North RV. Ed. Masson, Barcelona 1996,

Lighting Handbook (Reference & Application), Laminating engineering society of North America
Rea M. 8th Edition

Guía sobre alumbrado de OSRAM.

Guía de alumbrado Edison.

<http://energiaencontrol.com/blog/?m=20090512>

9. ANEXO

Algunas Tablas comparativas y ventajas de diversas tecnologías lumínicas

Ventajas de las lámparas cfl en comparación con las incandescentes.

- Ahorro en el consumo eléctrico. Consumen sólo la 1/5 parte de la energía eléctrica que requiere una lámpara incandescente para alcanzar el mismo nivel de iluminación, es decir, consumen un 80% menos para igual eficacia en lúmenes por watt de consumo (lm-W).
- Recuperación de la inversión en 6 meses (manteniendo las lámparas encendidas un promedio de 6 horas diarias) por concepto de ahorro en el consumo de energía eléctrica y por incremento de horas de uso sin que sea necesario reemplazarlas.
- Tiempo de vida útil aproximado entre 8000 y 10000 horas, en comparación con las 1000 horas que ofrecen las lámparas incandescentes.
- No requieren inversión en mantenimiento.
- Generan 80% menos calor que las incandescentes, siendo prácticamente nulo el riesgo de provocar incendios por calentamiento si por cualquier motivo llegaran a encontrarse muy cerca de materiales combustibles.
- Ocupan prácticamente el mismo espacio que una lámpara incandescente.
- Tienen un flujo luminoso mucho mayor en lúmenes por watt (lm-W) comparadas con una lámpara incandescente de igual potencia.

Se pueden adquirir con diferentes formas, bases, tamaños, potencias y tonalidades de blanco

| | Fluorescente CFL | Incandescente común |
|--|--|---|
| Potencia | 11 W (watt) | 60 W |
| Entrega de luz | 600 lm (lúmenes) | 720 lm |
| Eficiencia | 600 lm-11W = 54,35 lm-W | 720 lm-60W = 12 lm-W |
| Vida útil | 8 000 a 10 000 horas | 1 000 horas |
| Lámparas necesarias para cubrir 8000 horas de trabajo. | 1 | 8 |
| Consumo de energía para 8 000 horas de trabajo. | $11 \times 8\,000 / 1\,000 =$ 88 kW-h | $60 \times 8\,000 / 1\,000 =$ 480 kW-h |
| Relación del consumo eléctrico en %. | 18,3 % | 100 % |

Tabla 5 Comparación entre una lámpara cfl de 11w y otra incandescente equivalente de 60w

Se presenta la siguiente Tabla de intensidades recomendadas de acuerdo a la actividad que se va a realizar

| Lugar iluminado | Tipo / Lugar de trabajo | Rango de intensidad lumínica |
|-----------------|---|------------------------------|
| Escuelas | realización de experimentos | 700 - 1500 lux |
| | escribir en la pizarra | 700 - 1500 lux |
| | realización de dibujos o diseños gráficos | 700 - 1500 lux |
| | pasillos | 150 - 300 lux |
| | aulas en general | 150 - 300 lux |
| | sala de lectura | 700 - 1500 lux |
| | comedor | 300 - 700 lux |
| Oficinas | sala / trabajo con ordenadores | 1500 - 3000 lux |
| | realización de dibujos o diseños técnicos | 1500 - 3000 lux |
| | reuniones | 300 - 700 lux |
| | comedor | 150 - 300 lux |
| | recepción | 300 - 700 lux |
| Fábricas | naves de producción | 1500 - 3000 lux |
| | oficina de investigación | 700 - 1500 lux |
| | oficina de planificación | 700 - 1500 lux |
| | trabajos de laboratorio | 1500 - 3000 lux |
| | empaquetado de productos | 700 - 1500 lux |
| | almacén | 300 - 700 lux |
| | salas eléctricas | 150 - 300 lux |
| Hospitales | sala de visitas | 300 - 700 lux |
| | formación | 300 - 700 lux |
| | formación en anatomía | 300 - 700 lux |
| | primeros auxilios / tratamientos | 700 - 1500 lux |
| | farmacias | 700 - 1500 lux |
| | lectura en camas de pacientes | 150 - 300 lux |
| | sala de rayos | 70 - 150 lux |
| Hoteles | lavandería | 150 - 300 lux |
| | recepción | 700 - 1500 lux |
| | entrada | 300 - 700 lux |
| | banquete | 300 - 700 lux |
| | oficinas | 150 - 300 lux |
| | restaurante | 150 - 300 lux |
| | aseos | 150 - 300 lux |
| | lavanderías | 150 - 300 lux |
| | bares | 70 - 150 lux |
| | pasillos | 70 - 150 lux |
| escaleras | 70 - 150 lux | |
| Negocios | escaparate | 1500 - 3000 lux |
| | salas de exposición | 1500 - 3000 lux |
| | empaquetado | 700 - 1500 lux |
| | sala de espera | 300 - 700 lux |
| | sala de reuniones | 300 - 700 lux |
| | aseos | 150 - 300 lux |
| | escaleras | 70 - 150 lux |

Tabla 6 Intensidades recomendadas de acuerdo al área de trabajo

Tabla de equivalencia de potencia de consumo en watt entre las lámparas fluorescentes (cfl) de uso más generalizado y las incandescentes comunes.

| Potencia en watt (W) Lámpara CFL | Flujo luminoso en lúmenes (lm) (CFL) | Eficacia en lm-W (CFL) | Potencia aproximada en W necesaria en una incandescente comparada con la CFL |
|-------------------------------------|---|------------------------|--|
| 5 | 180 | 36 | 25 |
| 7 | 286 | 41 | 35 |
| 9 | 400 | 44 | 40 |
| 11 | 600 | 55 | 60 |
| 18 | 900 | 56 | 90 |
| 20 | 1 200 | 60 | 100 |

Tabla 7 Equivalencia de potencia

Características y componentes de los Leds utilizados

Un diodo emisor de luz de alta potencia de 3 [W] se integra de los siguientes componentes:

- Semiconductor emisor del flujo luminoso con terminales exteriores para alimentación del cátodo (+) y ánodo (-).
- Encapsulado de silicón que cubre al semiconductor emisor.
- Base con superficie inferior disipadora de temperatura.
- Óptica primaria integrada por lente semiesférica envolvente de resina termoplástica transparente.
- Óptica secundaria integrada por diversas opciones en cuanto a tipo de lentes concentradoras del flujo luminoso.

Los diodos emisores de luz (leds) de alta potencia de 3 [W] tienen las siguientes características:

- Vida promedio de 50,000 horas
- Flujo luminoso de 55 lúmenes.
- Eficacia de 55 lm/W.
- Mantenimiento del flujo luminoso de 75%.
- Voltaje de operación de 3-4 Volts de corriente directa.
- Corriente de operación de 350 [mA].
- Ángulo de apertura del haz luminoso de 120° sin óptica secundaria

- Ángulos de apertura del haz luminoso de 5-15 ° (cerrados), 20-40° (medios) y de 40-60° (abiertos) con ópticas secundarias.
- Control preciso y direccional del flujo luminoso emitido.
- Bajas pérdidas por disipación de calor.
- Mínima emisión de radiaciones infrarrojas y ultravioletas.
- Colores blanco, azul y verde fabricados de Nitruro de Galio e Indio (InGaN). Colores ámbar y rojo fabricados de Fosforo de Galio, Indio y Aluminio (AlGaP).

Por último, la siguiente imagen muestra el circuito del controlador del sistema

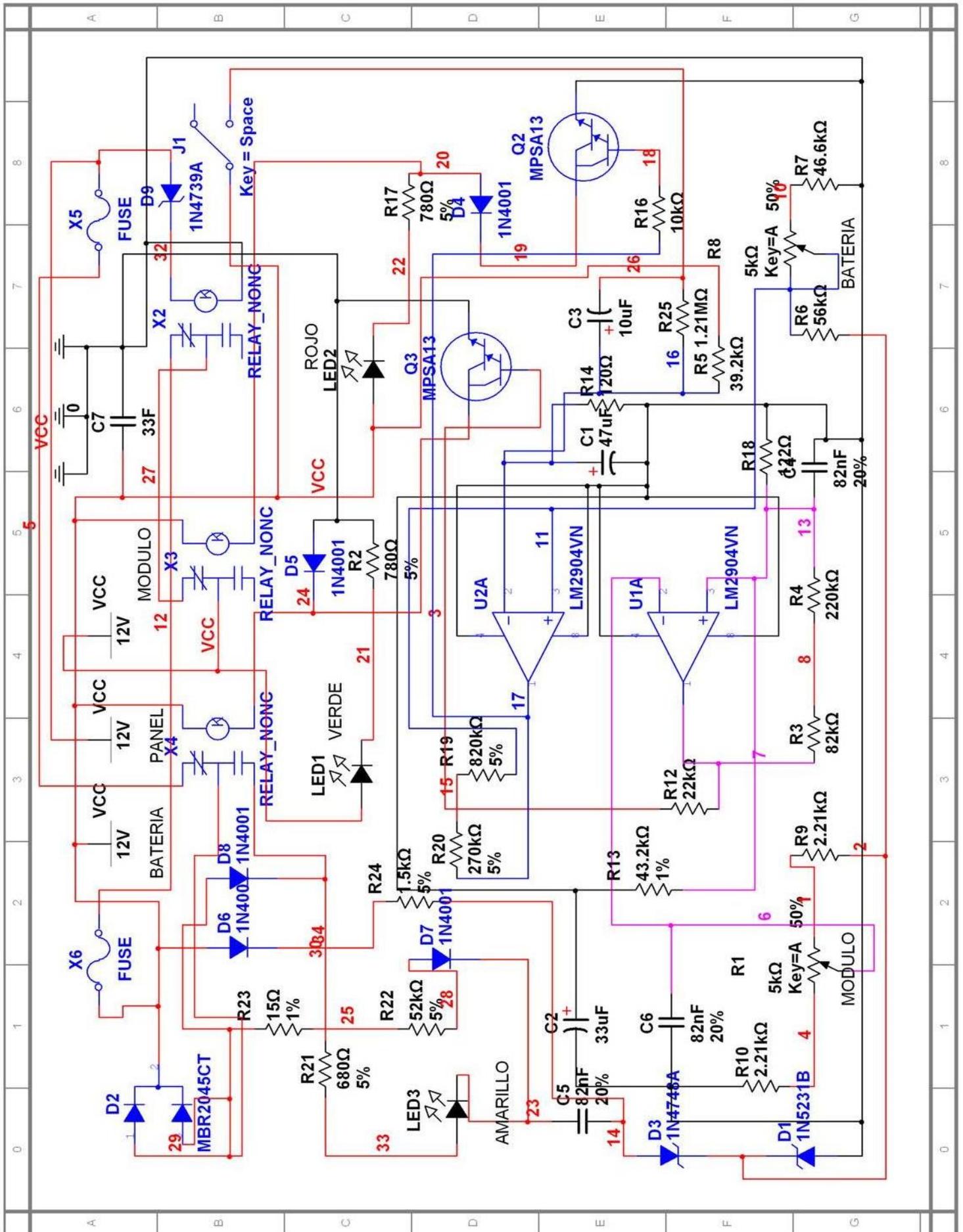


Ilustración No. 65 Circuito del controlador