

TECNOLOGIA LED APLICADA A LOS SISTEMAS DE ILUMINACION

**WILFER ANTONIO ARRIETA VEGA
EUSEBIO GUALBERTO CAMPO GONZALEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA ELECTRICA ELECTRONICA Y COMUNIACIONES, SANTANDER
INGENIERIA ELECTIRCA
BUCARAMANGA
2004**

TECNOLOGIA LED APLICADA A LOS SISTEMAS DE ILUMINACION

**WILFER ANTONIO ARRIETA VEGA
EUSEBIO GUALBERTO CAMPO GONZALEZ**

Tesis de Grado para optar al titulo de Ingeniero Electricista

**Director
Ciro Jurado
Ingeniero Electricista**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA ELECTRICA ELECTRONICA Y COMUNIACIONES, SANTANDER
INGENIERIA ELECTIRCA
BUCARAMANGA
2004**

Dedico este trabajo a mi conocimiento,
a mi capacidad, a mi esfuerzo
y a la experiencia adquirida;
que me permite emprender
un nuevo camino en la ciencia.

Wilfer Antonio Arrieta Vega

Le dedico este trabajo a Dios,
para quien son todos mis actos y
a mi familia porque les debo todo lo que soy.

Eusebio Gualberto Campo González

Los autores expresan su agradecimiento a:

Ingeniero Giro Jurado, Director de Proyecto, por su apoyo y valiosa orientación.

Nuestras familias, por su cariño y apoyo incondicional.

Nuestros amigos y personas cercanas, por su paciencia y comprensión; en especial a Nohora Jerez por su invaluable colaboración.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	27
1. FUENTES DE LUZ	30
1.1 ETAPAS DE LAS FUENTES DE LUZ	30
1.1.1 Primera Fase	30
1.1.2 Segunda Fase	30
1.1.3 Tercera Fase	30
1.1.4 Cuarta Fase	31
1.2 ETAPAS DE LA LUZ	32
1.2.1 Lámpara de arco	32
1.2.2 Lámpara Incandescente	33
1.2.3 Lámpara de descarga	33
1.3 CLASIFICACION GENERAL DE LAS LAMPARAS	33
1.3.1 Lámparas Incandescentes	33
1.3.2 Lámparas Halógenas	41
1.3.3 Lámparas Fluorescentes	44
1.3.4 Fluorescentes Compactas	49
1.3.5 Lámpara de Vapor de Mercurio a alta presión	50
1.3.6 Lámparas de Luz Mixta	53
1.3.7 Lámparas con Halogenuros Metálicos	54
1.3.8 Lámparas de Vapor de Sodio a Baja Presión	56
1.3.9 Lámparas de Vapor de Sodio a Alta Presión	59

2. DISPOSITIVOS DE ILUMINACION MEDIANTE DIODOS EMISORES DE LUZ LEDs	62
2.1 EVOLUCION DE LOS LEDs	63
2.2 FUNCIONAMIENTO DE LOS LEDs	64
2.3 PARTES DE LOS LEDs	68
2.4 CLASES DE ENCAPSULADO	71
2.4.1 Transparente o Clear Water	71
2.4.2 Coloreados Tinted	71
2.4.3 Difuso o Difused	71
2.4.4 Lechosos o Miky	72
2.5 CARACTERISTICAS DE LOS LEDs	72
2.5.1 Características Fotométricas	72
2.5.2 Características Cromáticas	72
2.5.3 Características Eléctricas	73
2.5.4 Características de Duración	74
2.5.5 Ventajas de la Tecnología LED	74
3. FUENTES DE ALIMENTACION	76
3.1 LA ENERGÍA DE LA ACTUALIDAD	76
3.1.1 Estado del arte	76
3.1.2 Energías no Renovables	77
3.1.3 Energías Renovables	77
4. SISTEMA FOTOVOLTAICO DOMICILIARIO (SFD)	83
4.1 EL EFECTO FOTOVOLTAICO	83

4.1.1	La Célula Fotovoltaica	84
4.1.2	La Panel Solar	84
4.1.3	Características y Tipos de paneles Fotovoltaicos	85
4.1.4	Interconexión de paneles	91
4.2	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	93
4.2.1	Mercado de los Sistemas Fotovoltaicos en Colombia	93
4.3	COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	94
4.3.1	Acumuladores	95
4.3.2	Convertidores	102
4.3.3	Reguladores	104
4.3.4	Diodos By-Pass y de Bloqueo	105
4.4	ANÁLISIS SOLAR PARA EL MEDIO COLOMBIANO	106
4.4.1	Fundamentos, Características, Medición y Métodos de Estimación	107
4.4.2	Medición en la Radiación y Brillo Solar	107
5.	MÁQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA	111
5.1	FUNDAMENTOS DE LA MÁQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA	113
5.1.1	Partes Básicas de las Máquinas de Corriente Continua Reales	113
5.1.2	Clasificación de Generadores de corriente continua	117
5.1.3	Pérdidas y Eficiencia	124
5.2	APLICACIÓN DE LOS GENERADORES	128
6.	CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO DE LAMPARA	131
6.1	CONFORMACIÓN DE LA MATRIZ DE LEDs	131
6.2	CONFORMACIÓN ELÉCTRICA	132

6.3	LINEAMIENTO PARA EL DISEÑO	132
6.4	SELECCIÓN DE LA LUMINARIA	133
6.5	COMPARACIÓN DE FUENTES LUMINOSAS	135
7.	DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICO Y GENERADOR DE CORRIENTE CONTIBUA CON PAR MANUAL. EJEMPLO DE CALCULOS PARA VIVIENDA RURAL EN EL MUNICIPIO DE SURATA SANTANDER	139
7.1	CRITERIO DE PARTIDA	139
7.2	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL DIMENSIONAMIENTO	140
7.2.1	Determinación de la Demanda o Carga	141
7.2.2	Especificaciones de la Tensión de Operación	141
7.2.3	Determinación de la Energía Disponible en la localidad	141
7.2.4	Determinación de la capacidad del Generador Fotovoltaico	141
7.2.5	Determinación de la capacidad del Banco de Baterías	142
7.3	CALCULO TIPO	142
7.3.1	Sistemas DC	142
7.3.2	Datos de la Carga	142
7.3.3	Datos Generales	143
7.3.4	Datos de Placa, del Modulo seleccionado (SIEMENS SM75)	143
7.3.5	Datos de la Batería seleccionada (DINASTY MPS 12-88)	143
7.3.6	Carga DC total Diaria	143
7.3.7	Corriente Pico del Generador Fotovoltaico	144
7.3.8	Dimensionamiento del Generador Fotovoltaico	145
7.3.9	Dimensionamiento del Banco de Baterías	146

7.3.10 Dimensionamiento con una Sola Batería	147
7.4 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA CON GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA CON PAR MANUAL	148
7.4.1 Descripción General del Método de Dimensionamiento	149
7.4.2 Cálculo Tipo	150
7.4.3 Dimensionamiento del Banco de Baterías	152
8. CONCLUSIONES	154
BIBLIOGRAFIA	157
ANEXOS	159

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Temperatura de color y eficacia de las lámparas Incandescentes de 120 voltios	38
Tabla 2. Halógenas Baja Tensión	43
Tabla 3. Halógenas Lineales	44
Tabla 4. Efecto de la temperatura sobre características de Módulos	90
Tabla 5. Descargas máximas recomendadas	99
Tabla 6. Especificaciones LEDs	132
Tabla 7. Clasificación de Luminarias	136
Tabla 8. Características Fotométricas	137
Tabla 9. Prestaciones cromáticas	138
Tabla 10. Características de Durabilidad	138
Tabla 11. Datos de Carga	142
Tabla 12. Datos Generales	143
Tabla 13. Datos de Placa del Modulo	143
Tabla 14. Datos de la Batería	143
Tabla 15. Datos de la Batería	150
Tabla 16. Datos de Carga	150
Tabla 17. Datos Generales	151
Tabla 18. Datos de Placa	152

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Espectro Luminoso	34
Figura 2. Rendimiento de una Lámpara Incandescente	35
Figura 3. Partes de una Bombilla	36
Figura 4. Efecto de las variaciones de Tensión (%) sobre las Características de funcionamiento de las lámparas incandescentes	40
Figura 5. Ciclo Halógeno	42
Figura 6. Lámpara Fluorescente	45
Figura 7. Espectro de una lámpara fluorescente	47
Figura 8. Espectro de emisión sin corregir	51
Figura 9. Lámpara de mercurio a alta presión	52
Figura 10. Espectro de emisión de una lámpara de luz mixta	53
Figura 11. Lámpara de luz mixta	54
Figura 12. Espectro de emisión de una lámpara con Halogenuros metálicos	55
Figura 13. Lámpara con halogenuros metálicos	56
Figura 14. Espectro de una lámpara de vapor de sodio a baja presión	56
Figura 15. Balance energético de una lámpara de vapor de sodio a baja presión	57
Figura 16. Lámpara de sodio a baja presión	58
Figura 17. Espectro de una lámpara de vapor de sodio a alta presión	59
Figura 18. Balance energético de lámpara de vapor e sodio a alta presión	60

Figura 19. Lámpara de vapor de sodio a alta presión	61
Figura 20. Evolución de los materiales empleados en los LEDs y de prestaciones fotométricas de los mismos	63
Figura 21. Partes constitutivas del LED	68
Figura 22. Diagrama de Cromaticidad	73
Figura 23. Iluminación interior con LEDs	74
Figura 24. Curva características de los paneles solares	88
Figura 25. Variación de la intensidad	89
Figura 26. Variación temperatura	89
Figura 27. Paneles conectados en serie	92
Figura 28. Paneles conectados en paralelo	92
Figura 29. Componentes de un sistema DC	94
Figura 30. Componentes de un sistema AC	95
Figura 31. Instalación de diodos by-pass en un sistema fotovoltaico	106
Figura 32. Instalación de diodos de bloqueo en un sistema fotovoltaico	107
Figura 33. Partes internas de la máquina	116
Figura 34. Carga de una batería de acumuladores con un generador de excitación Shunt	119
Figura 35. Conexión con excitación serie	120
Figura 36. Carga de una batería de acumuladores con un generador de excitación Compound	121
Figura 37. Esquema del funcionamiento del sistema de regulación de tensión mediante Rx	121
Figura 38. Esquema del sistema de regulación de tensión de un Generador por transistor	124

Figura 39. Configuración física (LEDs)	131
Figura 40. Ejemplo de Luminarias	134
Figura 41. Distribución de Luz	135

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Especificaciones para la implementación de sistemas fotovoltaicos domiciliarios en Colombia.	159
Anexo B. Fotografía del prototipo de la lámpara	175
Anexo C. Cuadro de radiación solar en algunas ciudades de Colombia y en el departamento de Santander	181

1. TITULO:

TECNOLOGIA LED APLICADA A LOS SISTEMAS DE ILUMINACION*.

2. AUTORES:

WILFER ANTONIO ARRIETA VEGA

EUSEBIO GUALBERTO CAMPO GONZALEZ**

3. PALABRAS CLAVES:

Acumuladores, energías alternativas, generadores de corriente continua, lámparas fluorescentes, lámparas incandescentes, led de luz blanca, paneles solares, sistemas fotovoltaico.

4. DESCRIPCION:

En el mundo cambiante, los LEDs serán los protagonistas de la denominada "iluminación de estado sólido", una revolución comparable a la que experimentó la electrónica hace 50 años, cuando las lámparas y los tubos de vacío fueron reemplazados por semiconductores. A medida que la tecnología avanza, se espera que la iluminación de estado sólido supere de forma amplia estas y otras fuentes de luz, tanto en costo como en rendimiento.

El fin de este proyecto es dar a conocer las ventajas actuales de estos elementos sobre los sistemas de iluminación actuales y ver de cerca una pequeña aplicación a nuestro ámbito regional.

Daremos un vistazo a las diversas energías alternativas que se emplean hoy en el mundo y aprovechando la ubicación geoespacial de Colombia, analizaremos la implementación de Energía Solar como fuente de alimentación alternativa.

Se dará un vistazo a los aspectos climáticos relacionados con el diseño de paneles solares como por ejemplo los niveles de radiación solar a lo largo del año en las principales ciudades del país. Este estudio nos permitirá seleccionar los casos para los cuales es viable la implementación de este sistema.

Como fuente de alimentación del prototipo utilizaremos un pequeño generador de corriente continua de imán permanente, el cual cargará un banco de baterías que se encargará de alimentar la carga

* **Proyecto de Grado**

** **Facultad de Ciencias Físico- Mecánicas, Ingeniería Eléctrica, Director:
Ing. Ciro Jurado**

1. TITLE:

LED TECHNOLOGY APPLIED TO THE ILLUMINATION SYSTEM*.

2. AUTHORS:

WILFER ANTONIO ARRIETA VEGA

EUSEBIO GUALBERTO CAMPO GONZALEZ**.

3. KEY WORDS:

Accumulators, alternative energies, continuous current generators, fluorescent lamps, white Light led, solar panels, system fotovoltaico.

4. DESCRIPTION.

In the changing world the Leds will be the main character of the denominated "solid state illumination", a comparable revolution that experimental the electronic 50 years ago, when the lamps and the vacuum pipe were replaced by semiconductors. It is possible the depending on the technological advances the solid state illumination will advance too, to the point of over coming other light fountains in costs and performance.

The goal of this project is to present the current advantages of these elements over the present illumination systems and the show a little application to our regional field.

We are going to take into account the different alternative energies applied to the world today, taking advantage of the geospatial Colombia situation. We will analyze the solar energy implementation as a spring of alternative feeding.

The climatic aspects related to the solar panels designed will be studied too such as the solar radiation levels along the year in the main cities of the country. This study allows us to select the cases for the systems implementation.

As a feeding spring we will use a small continuous current generator of permanent magnet which will charge a battery bank responsible of the charge feeding.

* Degree Project

** Physical – Mechanical Sciences Faculty, Electric Engineering, Director:
Ing. Ciro Jurado

GLOSARIO

Armadura: consiste de un eje maquinado de una barra de acero y un núcleo montado sobre en su estructura.

Autodescarga: proceso mediante el cual la capacidad disponible de una batería se reduce a causa de reacciones químicas parásitas internas. Dicho proceso se acelera al aumentar la temperatura por razones ambientales y/o de usos.

Batería: dispositivo que convierte directamente la energía química de sus componentes activos en energía eléctrica, mediante reacción electroquímica que involucra el traspaso de electrones desde un material a otro, a través de un circuito eléctrico.

Batería plomo-ácido: incluye las baterías construidas con placas de plomo puro, plomo-antimonio o plomo calcio y un electrolito ácido.

Batería abierta: aquella en la que el contenedor, o bien provee una tapa superior removible, o bien tiene orificios de acceso a su interior con tapones removibles, para verificar el nivel y la densidad del electrolito y/o para suministrar agua en caso de disminución del nivel del electrolito, que evidentemente es líquido.

Batería sellada: batería cuyo electrolito queda confinado en un espacio con cierre hermético provisto de una tapa de ventilación recerrable, denominada también "batería hermética con regulación de válvula". Carece de orificios de acceso a su interior. En las baterías selladas el electrolito puede ser líquido, absorbido o gelificado.

Campo fotovoltaico: se indica con este término al módulo o conjunto de módulos fotovoltaicos de una instalación de generación de electricidad con energía solar fotovoltaica.

Candela: unidad de intensidad luminosa, y se define como la intensidad luminosa de $1/600.000 \text{ m}^2$ de área proyectada de un cuerpo negro que opere a la temperatura de solidificación del platino bajo una presión de 101325 N/m^2 .

Capacidad de la batería: cantidad de amperios-horas que se puede extraer de una batería de carga completa.

Carga: cantidad de potencia eléctrica necesaria para poner en funcionamiento cualquier dispositivo o aparato eléctrico.

Celda fotovoltaica: dispositivo compuesto de varios elementos semiconductores que convierte directamente la irradiancia solar en energía eléctrica. Se le denomina también “celda solar”

Colector: está hecho de barras de cobre aislado con mica. Las barras de cobre se fabrican suficientemente gruesa para permitir un desgaste normal durante la vida útil de la máquina.

Compensadores: son barras localizadas en el rotor de una maquina DC de devanado imbricado para unir puntos del mismo nivel de tensión de las diferentes trayectorias en paralelo. Con esto se pretende que las corrientes circulantes que se presenten fluyan dentro de las pequeñas secciones así unidas de la máquina y no a través de las escobillas de la misma.

Conmutación: es el proceso de cambiar las conexiones de la espira en el rotor de una máquina DC justamente cuando la tensión en la espira cambia de polaridad, para mantener una tensión de salida DC constante en esencia

Controlador de carga: dispositivo que controla el régimen de carga de las baterías

Corriente de cortocircuito: corriente que se genera en una celda, módulo o campo fotovoltaico cuando se ponen en contactos las terminales de salida, sin ninguna carga o resistencia.

Corriente de potencia máxima: corriente que corresponde al punto de operación en la curva característica I-V, en el que el producto corriente- tensión es máxima.

Curva característica I-V: trazado gráfico de la variación de la corriente en función de la variación de tensión de una celda, o de un módulo o de un campo fotovoltaico

Debilitamiento del flujo: en los generadores simplemente reduce el voltaje suministrado por el generador a cualquier carga

Descarga: entrega de energía eléctrica de una batería a alguna carga externa o dispositivo de consumo

Devanado de campo: son aquellos que producen el flujo magnético principal en la máquina, están localizados en el estator.

Devanado de inducido: son aquellos en los cuales es inducido voltaje, están localizados en el rotor

Eficacia luminosa: flujo que emite una fuente de luz por cada unidad de potencia eléctrica consumida en su obtención; dicho de una forma más simple: es la cantidad de energía, tomada de la red eléctrica, que la lámpara transforma en luz. La unidad de medida es: lumen/vatio (lm/W).

El lumen: unidad de flujo luminoso y es igual al flujo que incide sobre un ángulo sólido unitario desde una fuente luminosa puntual de una candela

El rendimiento en color: hace referencia a cómo se ven los colores de los objetos iluminados.

Escobillas: están elaboradas en carbón, grafito, metal grafitado o una mezcla de carbón y grafito, tiene una alta conductividad para reducir pérdidas eléctricas y tienen bajo coeficiente de rozamiento para reducir el desgaste excesivo.

Flujo luminoso: Es la medida de la potencia luminosa, es decir, que se podrá definir como la energía luminosa radiada al espacio por unidad de tiempo; esta característica permite relacionar el flujo luminoso con la potencia eléctrica consumida para producirla y es un dato muy importante para evaluar el rendimiento de los manantiales luminosos.

Iluminancia: densidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie

Incandescencia: La luz se produce por termorradiación, un cuerpo alcanza una temperatura elevada y se pone incandescente, emitiendo de esa forma radiaciones electromagnéticas de diferentes longitudes de onda. O sea que la cantidad de luz depende de la temperatura absoluta del radiador. Dentro de este grupo podemos encontrar la luz natural del sol y la luz artificial de las lámparas incandescentes propiamente dichas y las incandescentes halógenas

Intensidad luminosa: es el flujo luminoso por ángulo sólido unitario en una dirección específica.

Insolación: radiación solar que llega a una superficie en un periodo de tiempo, se expresa en kilovatio-hora por metro cuadrado (Kwh/m²).

Luminiscencia: emisión de luz visible no causada ni por combustión ni por calentamiento. La luminiscencia es la propiedad que tienen determinados materiales de absorber energía de distintas clases y emitirla en forma de luz

Módulo: es el dispositivo formado por un conjunto de celdas fotovoltaicas interconectadas, enmarcadas y encapsuladas apropiadamente. También se les define como la unidad reemplazable más pequeña de un campo fotovoltaico

Núcleo: esta compuesto de muchas láminas troqueladas de una placa de acero, con ranuras a lo largo de su superficie exterior para alojar los devanados del inducido.

Par mecánico: es la fuente de potencia mecánica la cual se encarga de accionar el generador

Profundidad de descarga: porcentaje de energía extraída de una batería en relación con su capacidad energética total

Radiación difusa: radiación que llega a la superficie terrestre procedente del sol luego de sufrir dispersión por efecto de nubes, polvo, niebla u otras sustancias de la atmósfera

Radiación directa: radiación que llega a la superficie terrestre procedente del sol sin sufrir desviación, sin dispersarse ni reflejarse en la atmósfera

Recurso solar: cantidad de insolación que recibe un lugar o región. Se expresa Kwh/m² por día. Su expresión es mas completa cuando se hace

referencia a la calidad de esa insolación, es decir, a sus componentes de radiación difusa y directa.

Reproducción cromática: es la capacidad que posee una fuente de luz de reproducir los colores en forma adecuada y real. Su unidad es el Ra o Cri y se mide del 0 al 100, siendo este último el que expresa mayor fidelidad de luz.

Sistema fotovoltaico: instalación de módulos fotovoltaicos que tiene asociados otras componentes, proyectadas para generar potencia eléctrica a partir de la energía de la radiación solar

Temperatura de color: hace referencia al color de la fuente luminosa. Su valor coincide con la temperatura a la que un cuerpo negro tiene una apariencia de color similar a la de la fuente considerada.

Velocidad nominal: es la velocidad indicada en la placa de la máquina, para cual presenta las mejores características de funcionamiento

Vida útil: tiempo durante el cual las lámparas funcionan sin que disminuya el flujo luminoso, considerando una pérdida del 20%.

Tensión de circuito abierto: tensión máxima que produce una celda, módulo o campo fotovoltaico sin aplicación de carga.

Bucaramanga, Julio 01 de 2004

Señores
CONCEJO DE ESCUELA
Escuela Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones
La Ciudad

Adjunto el documento final de la Tesis de Grado cuyo Título es "TECNOLOGIA LED APLICADA A LOS SISTEMAS DE ILUMINACION, elaborado por los estudiantes de Pregrado: Wilfer Arrieta Vega con Código 1932604 y Eusebio Campo González Código 1962220; y por tal razón estamos solicitando la asignación de los Calificadores respectivos para la revisión y evaluación del mismo.

Agradecemos de antemano su colaboración.

Ing. Ciro Jurado

INTRODUCCION

En el mundo cambiante. Los LEDs serán los protagonistas de la denominada "iluminación de estado sólido", una revolución comparable a la que experimentó la electrónica hace 50 años, cuando las lámparas y los tubos de vacío fueron reemplazados por semiconductores.

Los LEDs que siempre hemos conocido en juguetes e indicadores en aparatos ahora pueden servir también como fuente de luz blanca, son 10 veces más eficientes que las bombillas incandescentes y dos veces más que los fluorescentes. Así, el reemplazo de estos sistemas tradicionales por LEDs de nuevo diseño colaborará en la reducción del consumo mundial de energía. A medida que la tecnología avance, se espera que la iluminación de estado sólido supere de forma amplia estas y otras fuentes de luz, tanto en costo como en rendimiento.

Sabiendo que la iluminación en la actualidad es responsable del 20 por ciento del consumo eléctrico, en una nación industrializada, el uso de la tecnología de estado sólido reduciría el consumo en un 10 por ciento.

El fin de este proyecto es dar a conocer las ventajas actuales de estos elementos sobre los sistemas de iluminación actuales y ver de cerca una pequeña aplicación a nuestro ámbito regional.

Daremos un vistazo a las diversas energías alternativas que se emplean hoy en el mundo y aprovechando la ubicación geoespacial de Colombia, analizaremos la implementación de Energía Solar como fuente de alimentación alternativa.

Igualmente describiremos los rendimientos en el proceso de conversión de energía, los criterios de diseño y la aplicabilidad en el medio colombiano.

Este último implicara un vistazo a los aspectos climáticos relacionados con el diseño de paneles solares como por ejemplo los niveles de radiación solar a lo largo del año en las principales ciudades del país. Este estudio nos permitirá seleccionar los casos para los cuales es viable la implementación de este sistema.

Como fuente de alimentación del prototipo utilizaremos un pequeño generador de corriente continua de imán permanente, el cual cargará un banco de baterías que se encargará de alimentar la carga.

La estructura básica del documento es la siguiente:

El capítulo uno está dedicado a las fuentes de luz, las diversas etapas históricas que han tenido las fuentes de luz, las etapas de la luz eléctrica, la clasificación general de las lámparas, sus características físicas, eléctricas y ópticas.

El segundo capítulo explica los dispositivos de iluminación mediante diodos emisores de luz "Leds" la evolución de los leds, como funcionan, las partes de los leds, las clases de encapsulado, así como sus características (fotométricas, cromáticas, eléctricas, de duración, ventajas, etc.).

El tercer capítulo hace un breve resumen de las diversas energías alternativas existentes en la actualidad, su historia, su operación, funcionamiento y sitios donde pueden ser implementadas, se expone sobre la energía solar, energía eólica, energía del agua, energía de la tierra, energía de la biomasa, y la suministrada por una máquina de corriente continua.

El capítulo cuatro está dedicado al componente base de los sistemas fotovoltaicos como lo es, el módulo o panel solar. De este se menciona su importancia y se describe su operación, conexión interna de sus células, interconexión con otros módulos, características físicas (dimensiones, peso y construcción) y características eléctricas (tensión, potencia y corriente), también se presenta el estado actual de los sistemas fotovoltaicos y los aspectos relacionados con la evolución del mercado de los sistemas fotovoltaicos a nivel nacional. Dentro de este capítulo se describen los elementos que hacen parte de la instalación fotovoltaica. De estos se describen su funcionamiento dentro del sistema y algunas de sus características más importantes. Además se mencionan los aspectos más destacados de la radiación solar en Colombia, los métodos de estimación y los valores que presenta en las principales ciudades del país como parámetro de diseño de los sistemas fotovoltaicos.

El capítulo cinco corresponde al estudio de la máquina de corriente continua, en este caso cuando funciona como generador, se hace una reseña histórica, así como una explicación de su funcionamiento, las partes básicas de la máquina y la función que estas cumplen, se clasifican los diversos tipos de generadores, la regulación de tensión que estos presentan y la forma como se controla, se muestran las pérdidas a las que estas máquinas se ven sometidas y las aplicaciones más importantes que poseen.

En el capítulo siete se mencionan los criterios de diseño para los sistemas fotovoltaicos y los basados en generadores de corriente continua. Se describe el proceso de selección y dimensionado de los componentes del sistema. Finalmente se presenta un ejemplo de los cálculos para un caso particular con su respectiva evaluación, con el fin de ilustrar los conceptos descritos a lo largo del proyecto.

1. FUENTES DE LUZ

El inicio de la historia del alumbrado está directamente relacionado con el descubrimiento del fuego por parte del hombre, para protegerse contra el frío, las fieras, preparar los alimentos y también para alumbrarse. A través del tiempo muchos han dedicado parte de su vida a crear nuevas formas de alumbrarse con mas eficiencia, avanzando desde las lámparas de combustión, hasta llegar a los sistemas de iluminación que se han desarrollado en la actualidad como es la Tecnología de Estado sólido o Estado o tecnología LED's.

1.1. ETAPAS DE LAS FUENTES DE LUZ

1.1.1 Primera fase. Aquí encontramos la utilización de la llama constante donde la iluminación se independiza de las otras funciones, cuando se aísla utilizando antorchas lámparas de aceite , velas , etc, que pueden ser emplazadas en los sitios más oportunos para propiciar el alumbrado.

1.1.2 Segunda fase. En esta encontramos una mejoría y un aumento del rendimiento teniendo como ejemplo al quemador tubular de argand.

1.1.3 Tercera fase. También llamada etapa de incandescencia teniendo como exponente la lámpara de gas con camisa de Auer. Esta lámpara que es de gas tiene un manguito de Namio ó Rayón que está impregnado en una solución de nitratos de Cerio (1%) y Torio (99%), lo que le permite tornarse incandescente en contacto con la llama.

Con el descubrimiento de la electricidad fue posible construir lámparas de arco, como la de Davy (1810). Esta lámpara emite luz gracias a la descarga eléctrica producida entre dos electrodos de carbono, gracias a la cual los electrodos se tornan incandescentes, con la consiguiente pérdida de materia.

El inventor de las lámparas incandescentes fue Henrich Goebel, alemán emigrado a América, procedente de Springe, que utilizó estas lámparas para iluminar su taller de relojería de New York.

En 1854, Goebel desarrolló una lámpara con un filamento de bambú carbonizado dentro de una ampolla de cristal donde se había practicado el vacío.

En 1877 Swan construye también una lámpara incandescente con filamento de hilo de algodón carbonizado y el 21 de Octubre de 1879 Edison comienza a fabricar y comercializar lámparas incandescentes con filamentos de fibra de bambú carbonizado.

1.1.4 Cuarta fase. O etapa de luz sin calor, en esta fase descubrimos las lamparas de descarga donde su historia ha sido también muy interesante.

Hacia el 1945 se comenzaron a comercializar las lámparas fluorescentes, con las que se pretendía sustituir a las incandescentes ya que en apariencia presentaban grandes ventajas respecto a estas.

Estas lámparas de vapor de mercurio utilizan la luminiscencia para producir luz. Se denominan de vapor de mercurio, por que este vapor mezclado con argón (neón, nitrógeno, etc.) y atravesado por una corriente eléctrica es el encargado de producir la luz.

Las primeras lámparas de vapor de mercurio que se construyeron (las de Cooper Hewitt), tenían una presión de vapor de mercurio de 0,1 mm. Con el tiempo la presión se elevó incrementando la temperatura del arco, para que dentro del tubo se produjera una intensidad superior, pero ello producía la fusión del vidrio por lo que hubo que recurrir a la construcción de tubos de vidrio de cuarzo. Todo ello permitió la aparición en mercado de lámparas con rendimientos de 60 lm/w que funcionaban con presiones de 1.000 mm. (Media presión) y de 10.000 mm. (Alta presión).

La falta de radiaciones rojas en el espectro de las lámparas de vapor de mercurio obligó a los fabricantes a buscar soluciones intermedias como son las lámparas de luz mixta, lámparas que son a la vez incandescentes y de descarga o a recurrir al uso del flougermanato de magnesio (a partir de 1950) para mejorar la reproducción del color de estas lámparas.

1.2 ETAPAS DE LUZ ELÉCTRICA.

1.2.1 Lámparas de arco. Con el descubrimiento de la electricidad fue posible construir lámparas de arco, como la de Davy (la primera demostración de funcionamiento se realizó ante la Real Sociedad de Física de Londres en 1810). Esta lámpara emite luz gracias a la descarga eléctrica producida entre dos electrodos de carbono, gracias a la cual los electrodos se tornan incandescentes, con la consiguiente pérdida de materia. Añadiendo compuestos a los electrodos de carbón e incrementando la presión dentro de estas lámparas se mejoraba su rendimiento. El tipo de descarga que se produce en estas lámparas no debe confundirse con la que se produce en las lámparas de descarga actuales.

1.2.2 Lámpara incandescente. Las lámparas de este tipo son fuentes de luz en las que la luz se produce por un filamento calentado a incandescencia por una corriente eléctrica. Los materiales de este filamento pueden ser: de carbón, metálicos y tungsteno.

1.2.3 Lámparas de descarga. Esta clase de lámparas funcionan mediante descargas eléctricas en tubos de vidrio conteniendo gases enrarecidos algunos tipos de estas lámparas son: alta tensión, mercurio, sodio e inducción.

1.3 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS LÁMPARAS

A continuación se hace una reseña de las lámparas más utilizadas en el alumbrado de interiores y exteriores. Algunas de estas lámparas serán analizadas brevemente por tener características superiores a los led.

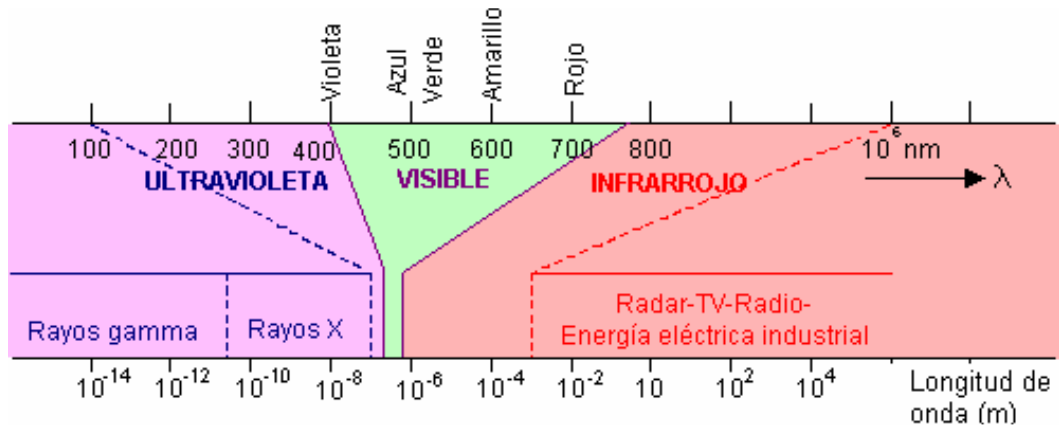
Lámparas incandescentes. El funcionamiento de las lámparas incandescentes viene determinado por la ley de Joule, que relaciona la cantidad de calor producida con la intensidad de la corriente eléctrica que pasa por un filamento; y la resistencia que tiene este.

Las lámparas incandescentes producen una luz blanca muy cálida y por lo tanto agradable. Su principio de funcionamiento es simple, se pasa una corriente eléctrica por un filamento hasta que este alcanza una temperatura tan alta que emite radiaciones visibles por el ojo humano.

- **La Incandescencia.** Todos los cuerpos calientes emiten energía en forma de radiación electromagnética. Mientras más alta sea su temperatura mayor será la energía emitida y la porción del espectro electromagnético

ocupado por las radiaciones emitidas. Si el cuerpo pasa la temperatura de incandescencia, una buena parte de estas radiaciones caerán en la zona visible del espectro y obtendremos luz.

Figura. 1 Espectro luminoso.



Fuente. www.unizar.es Lámparas incandescente.

La incandescencia se puede obtener de dos maneras. La primera es por combustión de alguna sustancia, ya sea sólida como una antorcha de madera, líquida como una lámpara de aceite o gaseosa como en lámparas de gas. La segunda es pasando una corriente eléctrica a través de un hilo conductor muy delgado, como por ejemplo las bombillas corrientes.

En general los rendimientos de este tipo de lámparas son bajos debido a que la mayor parte de la energía consumida se convierte en calor.

Figura.2 Rendimiento de una lámpara incandescente.



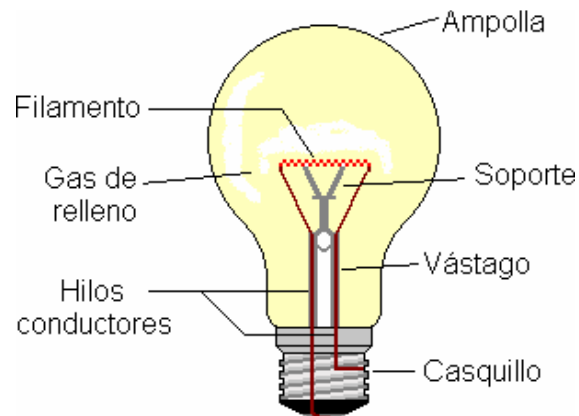
Fuente [www.unizar](http://www.unizar.es). Lámpara Incandescente.

La producción de luz mediante la incandescencia tiene una ventaja adicional, y es que la luz emitida contiene todas las longitudes de onda que forman la luz visible. De esta manera se garantiza una buena reproducción de los colores de los objetos iluminados.

- **Partes de una lámpara incandescente.** Las lámparas incandescentes están formadas por un hilo de wolframio que se calienta por efecto Joule alcanzando temperaturas tan elevadas que empieza a emitir luz visible. Para evitar que el filamento se quemara en contacto con el aire, se rodea con una ampolla de vidrio a la que se le ha hecho el vacío o se ha rellenado con un gas.

El conjunto se completa con unos elementos de funciones de soporte y conducción de la corriente eléctrica y un casquillo normalizado que sirve para conectar la lámpara a la luminaria.

Figura.3 Partes de una bombilla.



Fuente www.unizar.es Lámparas incandescentes.

Filamento. La eficacia de la producción de luz de las lámparas incandescentes depende de la temperatura del filamento. El tungsteno, debido a su alto punto de fusión (3655 K), más alto que el de todos los otros elementos excepto el carbono; es el material más común para filamentos que se usa en la actualidad. Las formas, tamaños y construcciones de soporte de filamento varían con los tipos diferentes de lámparas, lo que está determinado por el uso de ellas.

Bombillas. La forma, tamaño, material y acabado de las bombillas varían según las necesidades de su aplicación. Estas van de tubulares a esféricas y de parabólicas a forma de llama. Las bombillas se designan con una letra que se refiere a la forma y por un número que es el diámetro máximo en octavos de pulgada; por ejemplo, A – 19 designa una bombilla en forma de A con un diámetro de 19/8 pulgadas.

La mayor parte de las bombillas están hechas de vidrio suave de plomo o cal, aunque también se usa vidrio duro de gran resistencia al calor en aplicaciones de alta temperatura, esmerilados en su interior para difusión moderada de la luz sin reducción apreciable en la salida de la luz.

Tipos de bases Los tipos de bases también varían según las necesidades, desde el tipo de tornillo para la mayor parte de las lámparas de uso general, hasta los tipos de doble poste y preenfoco, donde es importante un alto grado de precisión en la posición de la lámpara, como es el caso de sistemas de proyección.

Gas de relleno El gas de relleno se utiliza en lámparas de filamento incandescentes para reducir la rapidez de evaporación del filamento calentado. En la actualidad se utilizan gases inertes como el nitrógeno, argón y kriptón. Este último se usa en casos donde se justifique su costo por la mayor eficacia o la más larga duración de la lámpara. Por ejemplo, una lámpara de 90W de kriptón “ahorradora de luz “ produce de 7 a 8% menos luz con la misma duración que una bombilla estándar de 100W.

- **Características de una Lámpara Incandescente.** Entre los parámetros que sirven para definir una lámpara, tenemos las características fotométricas: la intensidad luminosa, el flujo luminoso y el rendimiento o eficiencia. Además de estas, existen otros que nos informan sobre la calidad de la reproducción de los colores y los parámetros de duración de las lámparas.

Eficacia Luminosa. Esta es de 10 a 20 lm/W. Eficiencia reducida que hace necesario, según la aplicación, el uso de mayor cantidad de luminarias con el consiguiente aporte de calor en los locales.

- **Características cromáticas.** A la hora de describir las cualidades cromáticas de las fuentes de luz hemos de considerar dos aspectos. El primero trata sobre el color que presenta la fuente. Y el segundo describe cómo son reproducidos los colores de los objetos iluminados por esta. Para evaluarlos se utilizan dos parámetros: la temperatura de color y el rendimiento de color que se mide con el IRC o Ra.

El Rendimiento en color. Una reproducción cromática o rendimiento de color es óptimo con coeficiente de Ra=100 para esta clase de lámparas.

Temperatura de color. Su valor coincide con la temperatura a la que un cuerpo negro tiene una apariencia de color similar a la de la fuente considerada. En la tabla 1 podemos ver la temperatura de color de algunas lamparas incandescentes de 120 voltios

Tabla.1 Temperatura de color y eficacia de las lampara incandescentes de 120 voltios.

Lampara al vacío. (w).	Tamaño del bulbo.	Resistencia en caliente ohmios.	Temperatura de color Kº	Lúmenes iniciales aprox.	Eficacia en lúmenes por vatio.
6	S – 14	2400	2370	39	6.5
10	S – 14	1440	2450	80	8.0
25	A – 19	576	2550	235	9.4
40	A – 19	360	2770	460	11.5
60	A – 19	240	2800	890	14.8
100	A – 19	144	2870	1740	17.4
150	A – 21	96	2900	2885	19.2
200	A – 23	72	2930	3940	19.7
300	PS –30	48	2940	6000	20.0
500	PS –35	29	2960	10500	21.0
1000	PS –52	14	3030	23100	23.1

Fuente. Manual de alumbrado Wensting House.

- **Características de duración.** La duración de una lámpara viene determinada básicamente por la temperatura de trabajo del filamento. Mientras más alta sea esta, mayor será el flujo luminoso pero también la velocidad de evaporación del material que forma el filamento.

Vida útil. Reducida, aproximadamente 1.000 horas. Esto no excluye que algunas puedan fallar en forma prematura y otras duren más de lo especificado.

Vida media. La vida de régimen en laboratorio, definida como el promedio de un grupo representativo de lámparas quemadas bajo condiciones de operación en un circuito de 60Hz, varía de 750 a 1500 horas para los tipos de uso general.

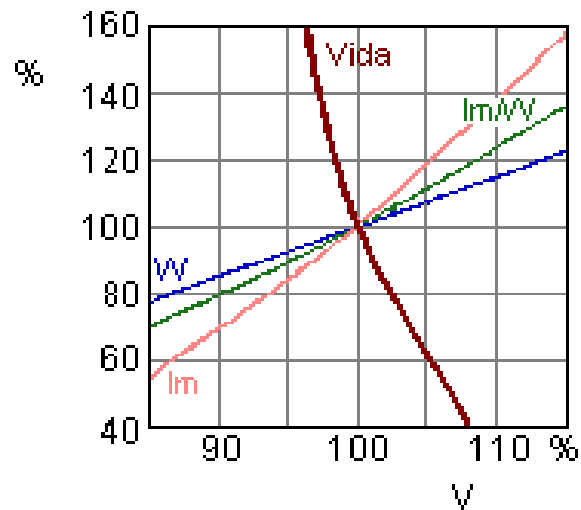
- **Factores externos que influyen en el funcionamiento de las lámparas Incandescentes.** Los factores externos que afectan al funcionamiento de las lámparas son, la temperatura del entorno donde esté situada la lámpara y las desviaciones en la tensión nominal en los bornes.

La temperatura ambiente no es un factor que influya demasiado en el funcionamiento de las lámparas incandescentes, pero sí se ha de tener en cuenta para evitar deterioros en los materiales empleados en su fabricación. En las lámparas normales hay que tener cuidado de que la temperatura de funcionamiento no exceda de los 200° C para el casquillo y los 370° C para el bulbo en el alumbrado general. Esto será de especial atención si la lámpara está alojada en luminarias con mala ventilación.

Las variaciones de la tensión se producen cuando aplicamos a la lámpara una tensión diferente de la tensión nominal para la que ha sido diseñada. Cuando aumentamos la tensión aplicada se produce un incremento de la potencia consumida y del flujo emitido por la lámpara pero se reduce la duración de la lámpara. Análogamente, al reducir la tensión se produce el efecto contrario.

En la figura 4 vemos el efecto de las variaciones de tensión sobre las características de funcionamiento de las lámparas incandescentes.

Figura. 4 Efecto de las variaciones de tensión (%) sobre las características de funcionamiento de las lámparas incandescentes



Fuente. www.unizar.es Lámparas Incandescentes.

- **Tipo de lámparas Incandescentes.** Existen dos tipos de lámparas incandescentes: las que contienen un gas halógeno en su interior y las que no lo contienen.

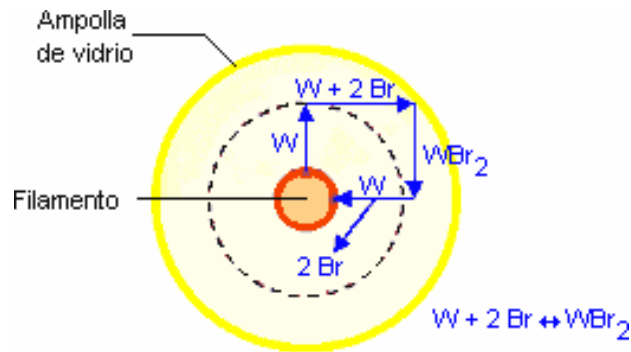
Entre las lámparas incandescentes no halógenas podemos distinguir las que se han rellenado con un gas inerte de aquellas en que se ha hecho el vacío en su interior. La presencia del gas supone un notable incremento de la eficacia luminosa de la lámpara dificultando la evaporación del material del filamento y permitiendo el aumento de la temperatura de trabajo del filamento. Las lámparas incandescentes tienen una duración normalizada de 1000 horas, una potencia entre 25 y 2000 W y unas eficacias entre 7.5 y 11 lm/W para las lámparas de vacío y entre 10 y 20 para las rellenas de gas inerte. En la actualidad predomina el uso de las lámparas con gas, reduciéndose el uso de las de vacío a aplicaciones ocasionales en alumbrado general con potencias de hasta 40 W.

1.3.2 Lámparas halógenas. Son un tipo de lámparas incandescentes que utiliza un filamento de wolframio dentro de una ampolla de vidrio de cuarzo rellena de gas noble y de gases halógenos. El filamento de wolframio y el cristal de cuarzo resisten elevadas temperaturas (unos 1.400 °C). La mezcla de gases dentro de la lámpara está a presión para frenar la evaporación de filamento.

- **Partes de una lámpara halógena.** Por ser esta una lámpara incandescente posee las mismas partes con la diferencia en el gas de relleno. Esta diferencia está dada por una pequeña cantidad de un compuesto gaseoso con halógenos (cloro, bromo o yodo), normalmente se usa el CH_2Br_2 , al gas de relleno consigue establecer un ciclo de regeneración del halógeno que evita el ennegrecimiento. Cuando el tungsteno (W) se evapora se une al bromo formando el bromuro de wolframio (WBr_2). Como las paredes de la ampolla están muy calientes (más de 260 °C) no se deposita sobre estas y permanece en estado gaseoso. Cuando el bromuro de wolframio entra en contacto con el filamento, que está muy caliente, se descompone en W que se deposita sobre

el filamento y Br que pasa al gas de relleno como se ve en la figura 5. Y así, el ciclo vuelve a empezar.

Figura.5 Ciclo halogeno.



Fuente. www.unizar.es Lámparas halógenas

Como ya se comentó el funcionamiento de este tipo de lámparas requiere de temperaturas muy altas para que pueda realizarse el ciclo del halógeno. Por eso, son más pequeñas y compactas que las lámparas normales y la ampolla se fabrica con un cristal especial de cuarzo que impide manipularla con los dedos para evitar su deterioro.

- **Características de las lámparas halógenas.**

Eficacia luminosa. La eficiencia va desde 20 a 25 lm/W. Con una amplia gama de potencias de trabajo (150 a 2000W) según el uso al que estén destinadas. Las lámparas halógenas se utilizan normalmente en alumbrado por proyección y cada vez más en iluminación doméstica.

- **Características cromáticas.**

Temperatura de color. Las lámparas halógenas producen una agradable, luz blanca con una temperatura de color de 3.000 ° K.

El rendimiento en color. Una reproducción cromática o rendimiento de color es excelente con coeficiente de Ra=100 para esta clase de lamparas.

- **Características de duración.**

Vida útil. El doble de tiempo que las lámparas incandescentes comunes: 2.000 horas.

- **Factores externos que influyen en el funcionamiento de las lámparas halógenas.** Con estas lámparas se debe tener especial cuidado con la ampolla ya que esta se fabrica con un cristal especial de cuarzo que impide manipularla con los dedos para evitar su deterioro.

- **Tipos de lámparas halógenas.** Encontramos dos tipos; Lámparas halógenas de alta y baja tensión en las tabla 2 y 3 vemos algunas características de cada una.

Tabla. 2 Halógenas baja tensión.

WATIOS	VOLTIOS	BASE	LUMENES
5	12	G4	60
10	12	G4	60
20	12	G4	140
35	12	G4	650
50	12	G6,35	950
100	12	G6,35	2000
20	24	G4	350
50	24	G6,35	950
100	24	G6,35	2000

Fuente. Manual de alumbrado Wensting House.

Tabla.3 Halógenas Lineales.

WATIOS	VOLTIOS	BASE	LUMENES	LARGO
100	220-240	R7S	1650	78mm
150	220-240	R7S	2600	78mm
200	220-240	R7S	3200	78mm
250	220-240	R7S	4000	78mm
100	220-240	R7S	1650	118mm
150	220-240	R7S	2600	118mm
200	220-240	R7S	3200	118mm
300	220-240	R7S	5000	118mm
500	220-240	R7S	9500	118mm
1000	220-240	R7S	22000	189mm

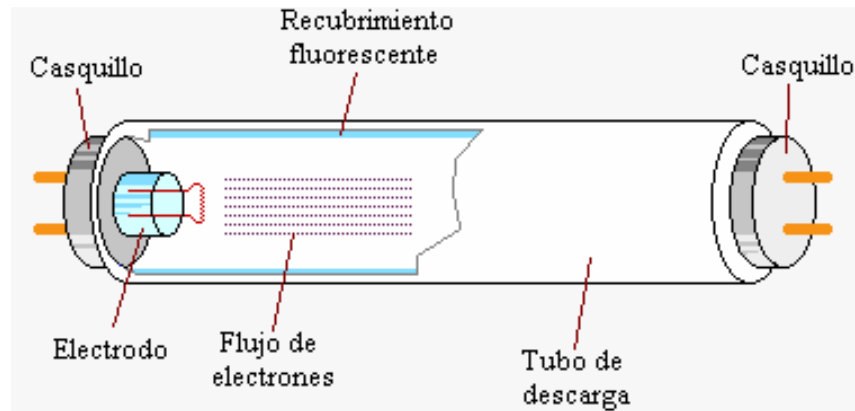
Fuente. Manual de alumbrado Wensting House.

1.3.3 Lámparas fluorescentes. Las lámparas fluorescentes son lámparas de vapor de mercurio a baja presión (0.8 Pa). En estas condiciones, en el espectro de emisión del mercurio predominan las radiaciones ultravioletas en la banda de 253.7 nm como se ilustró en la Figura 1. 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 la composición de estas sustancias dependerán la cantidad y calidad de la luz, y 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 estos tres colores se obtiene una luz blanca que ofrece un buen rendimiento de color sin penalizar la eficiencia como ocurre en el caso del espectro continuo.

- **Partes 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 como se muestra en la figura 6.

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.

Figura .6 Lampara fluorescente.



Fuente. www.unizar.es Lámparas fluorescentes.

Bombillas. Las bombillas son básicamente tubulares de pequeño diámetro y sección transversal. La bombilla se fabrica en configuración, en forma de U y circular con diámetros de 5/8 a 2 1/8 pulg.

En su forma recta, van de 6 a 69 pulg (nominal). Las lámparas circulares tienen diámetros nominales totales de 6 ½ a 16 pulg y las lámparas. En forma de U miden 24 pulg (cátodo caliente) y 45 (cátodo frío) de longitud nominal.

Electrodos. Hay dos electrodos en cada lámpara fluorescente uno en cada extremo, diseñado para operar como electrodos (o cátodos) “caliente” o “frío”. Las lámparas de cátodo caliente contienen electrodos que por lo general son filamentos de tungsteno de doble enrollado (o triple enrollado) recubiertos con uno o más de los óxidos de tierras alcalinas.

Las lámparas de cátodo frío son las que usan electrodos de forma tubular, de hierro o níquel, que se pueden recubrir en sus superficies interiores con materiales emisores de electrones.

Gas de Relleno. Se encuentran gotas de mercurio líquido en la lámpara fluorescente y se evaporizan a una presión muy baja durante la operación de esta. Se agrega argón para ayudar a la ignición de la descarga en lámparas estándar.

Bases. Las lámparas diseñadas para operación de arranque instantáneo suelen tener una base en cada extremo, con una sola patilla de conexión (en algunas lámparas de arranque instantáneo pueden haber dos patas de conexión en cada extremo eléctricamente conectado).

Fósforos. La composición química de recubrimiento de fósforo en la superficie interior de la bombilla determina el color de la luz producida y en parte, la eficacia de la lámpara.

- **Elementos auxiliares.** Para que las lámparas de descarga funcionen correctamente es necesario, en la mayoría de los casos, la presencia de unos elementos auxiliares: 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, continúa un periodo transitorio durante el cual el gas se estabiliza, y que se caracteriza por un consumo de potencia superior al nominal.

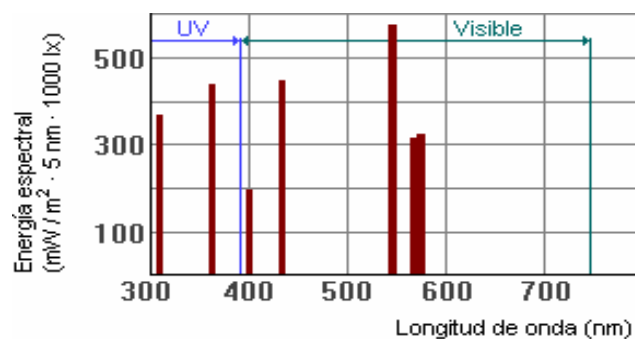
Los balastos, por otra parte, son dispositivos que sirven para limitar la corriente que atraviesa la lámpara y evitar así un exceso de electrones circulando por el gas que aumentaría el valor de la corriente hasta producir la destrucción de la lámpara.

- **Características de una lámpara fluorescente normal.** Estas lámparas presentan mejores características que las lámparas incandescentes.

Eficacia luminosa. La eficiencia luminosa esta entre los 55 a 100 lm/W (aproximadamente 4 veces mayor que una lámpara incandescente de igual potencia).

- **Características cromáticas.** Debido a la forma discontinua del espectro de estas lámparas, la luz emitida es una mezcla de unas pocas radiaciones monocromáticas; en su mayor parte en la zona ultravioleta (UV) o visible del espectro. Esto hace que la reproducción del color no sea muy buena y su rendimiento en color tampoco.

Figura 7 Espéctro de una lampara fluorescente.



Fuente www.unizar.es Lámparas fluorescentes.

Temperatura de color. Se ofrecen en una variada gama de temperaturas de color que van desde los 2600 a los 6200 K, dependiendo de la composición de los polvos dentro del tubo.

Rendimiento en color. Existen diferentes índices pues se fabrican lámparas para variadas aplicaciones, desde Ra = 65 en tubos standard hasta Ra = 95 en tubos trifósforos (con tres capas superpuestas de material fluorescente).

- **Características de duración.**

Vida útil. La vida útil de estas lámparas es de 24000 horas. Promedio, considerando períodos de encendido de 8 horas. A medida que se acortan estos períodos, la vida útil del tubo disminuye.

- **Factores externos que influyen en el funcionamiento de las lámparas fluorescentes.** Los factores externos que más influyen en el funcionamiento de la lámpara son la temperatura ambiente y la influencia del número de encendidos. Las lámparas de descarga son, en general, sensibles a las temperaturas exteriores. Dependiendo de sus características de construcción (tubo desnudo, ampolla exterior...) se verán más o menos afectadas en diferente medida. Por contrario, 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 muy 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.

- **Tipos de lámparas fluorescentes.** Existen dos tipos de balastos para lámparas fluorescentes alimentadas con CA: los electromagnéticos y los electrónicos. La función de estos balastos es la misma que la de los demás tipos de lámparas de descarga gaseosa, debiendo satisfacer todos los requerimientos básicos habituales, para lograr un elevado rendimiento en condiciones confiables.

De esta manera, debe proveer la tensión de circuito abierto necesaria para el encendido, debe controlar la intensidad de manera que la potencia de la lámpara ni sobrepase el límite superior admitido, ni sea tan baja que el flujo luminoso quede por debajo del valor mínimo económicamente aceptable; y además debe proveer una corriente de trabajo con el menor contenido poliarmónico posible y el factor de potencia adecuado. En la actualidad, estas lámparas fluorescentes se producen en dos modelos básicos: normales y compactas.

1.3.2 Fluorescentes compactas. Estas lámparas funcionan de la misma manera que las anteriores, difiriendo en su forma y dimensiones. Su reducido tamaño, en ciertos casos, permite utilizarlas para reemplazar lámparas incandescentes comunes, obteniéndose un consumo mas bajo a igualdad de flujo luminoso.

Generalmente constan de 1, 2 o 3 tubos individuales conectados eléctricamente en serie, en forma de U recta alargada (aunque hay mucha variedad al respecto). El diámetro de los tubos individuales ronda los 12 mm. Estos tubos pueden estar directamente a la vista, o bien, estar incluidos dentro de una ampolla de vidrio similar a la de las lámparas incandescentes (esférica, vela, gota, etc.). Algunos modelos contienen el arrancador incorporado (zócalo de 2 pines) y otros no (zócalo de 4 pines). Estas últimas se utilizan cuando se desea realizar la dimerización de la iluminación.

Por otro lado, algunas lámparas se pueden conectar directamente a la red, ya que en la base tienen incorporado el equipo auxiliar y poseen un casquillo E-27.

Brindan la posibilidad de elegir diferentes temperaturas de color, pudiendo optar por lámparas "frías" con tono azulado o "cálidas" semejante a las lámparas incandescentes.

- **Características de una lámpara fluorescente normal.**

Eficacia luminosa Comparadas con las lámparas incandescentes, las fluorescentes compactas proporcionan un ahorro del 75% de energía. La eficacia varía entre 60 y 100 lm/W.

Reproducción cromática Su coeficiente de reproducción cromática es $R_a = 80$.

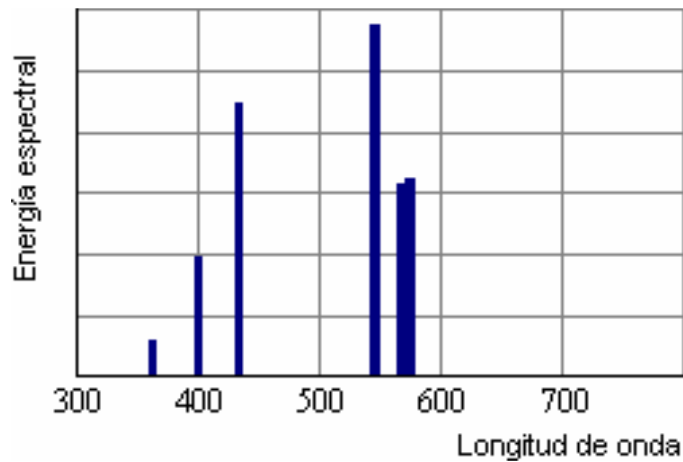
Vida útil La vida útil se encuentra entre 5.000 y 24.000 hs.

- **Aplicaciones.**

Para usos diversos o para reemplazo directo de las incandescentes.

1.3.3 Lámparas de vapor de mercurio a alta presión. 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).

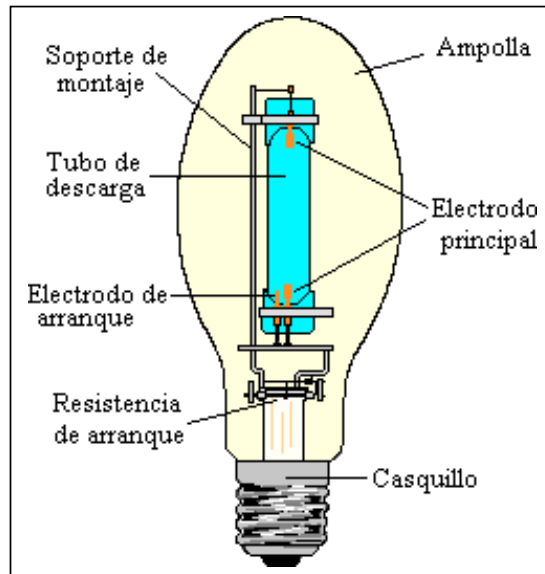
Figura 8 Espectro de emisión sin corregir.



Fuente www.unizar.es. Lámparas de vapor de mercurio a alta presión.

En estas condiciones la luz emitida, de color azul verdoso, 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 se mueve entre 3500 y 4500 K con índices de rendimiento en color de 40 a 45 normalmente. La vida útil, teniendo en cuenta la depreciación se establece en unas 8000 horas. La eficacia oscila entre 40 y 60 lm/W y aumenta con la potencia, aunque para una misma potencia es posible incrementar la eficacia añadiendo un recubrimiento de polvos fosforescentes que conviertan la luz ultravioleta en visible.

Figura.9. Lámpara de mercurio a alta presión.

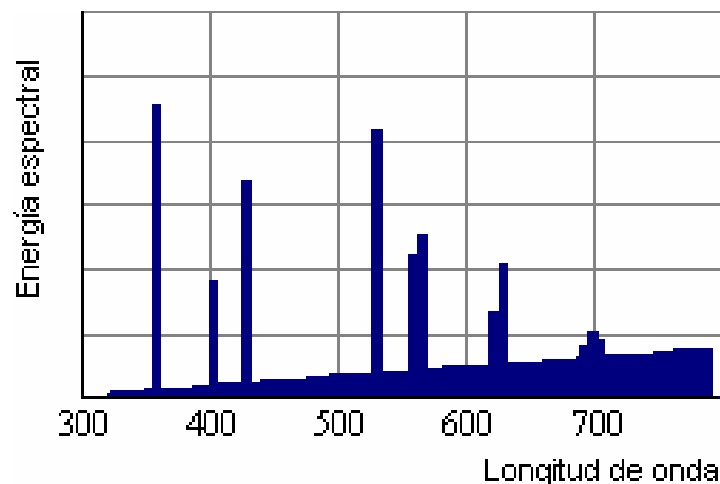


Fuente www.unizar.es Lámpara de mercurio a alta presión.

Los modelos más habituales de estas lámparas tienen 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 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.

1.3.6 Lámparas de luz mixta. Las lámparas de luz de mezcla 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.

Figura.10. Espectro de emisión de una lámpara de luz mixta.

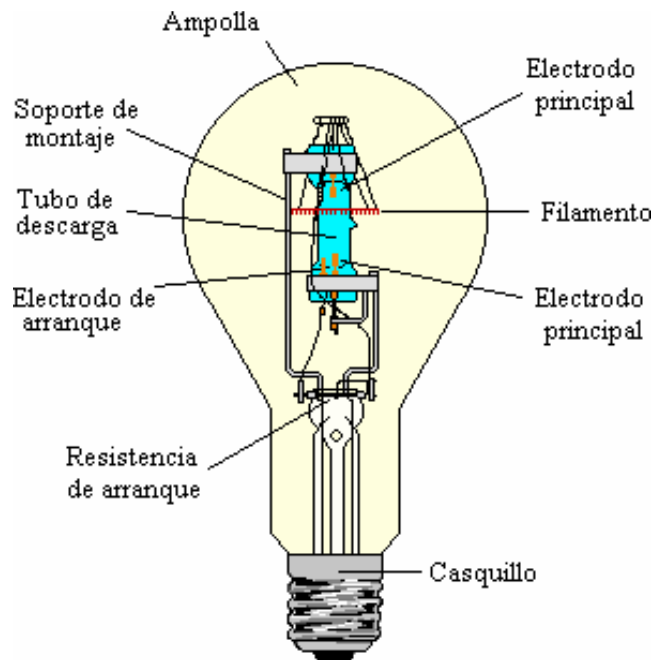


Fuente. www.unizar.es. Lámpara de luz de mixta

Su eficacia se sitúa entre 20 y 60 lm/W 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.

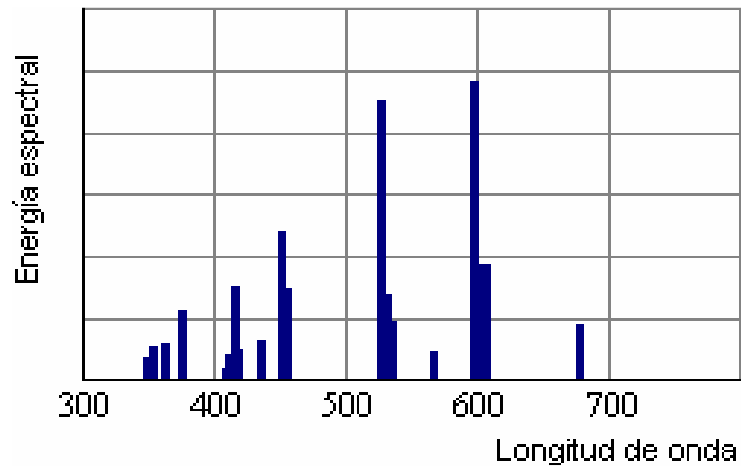
Figura 11. Lámpara de luz mixta.



Fuente. www.unizar.es. Lámpara de luz mixta.

1.3.7 Lámparas con 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 amarillo el sodio, verde el talio y rojo y azul el indio).

Figura.12. Espectro de emisión de una lámpara con halogenuros metálicos

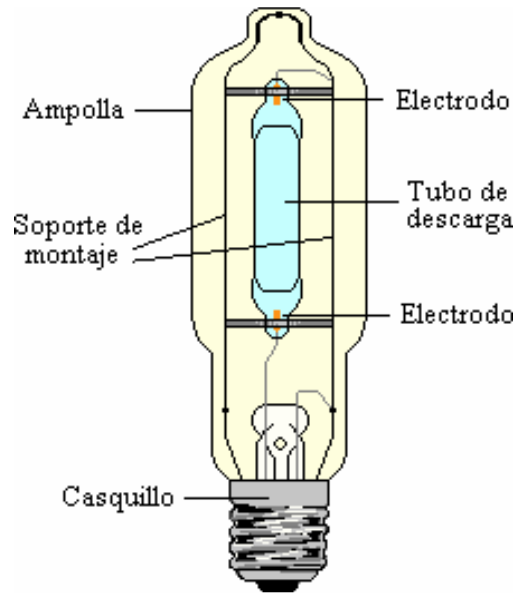


Fuente www.unizar.es lámpara con halogenuros metálicos

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 lm/W y su vida media es de unas 50000 horas. Tienen un periodo 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 (1500-5000 V).

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

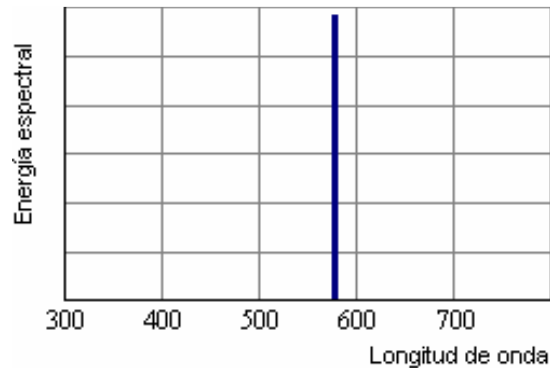
Figura.13 Lámpara con halogenuros metálicos.



Fuente www.unizar.es Lámpara con halogenuros metálicos.

1.3.8 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 (589 nm y 589.6 nm) muy próximas entre sí.

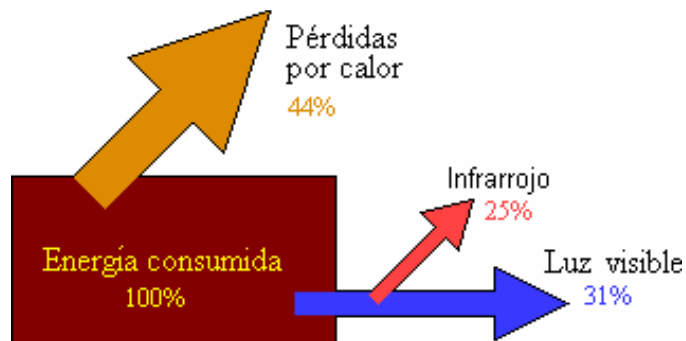
Figura. 14. espectro de una lámpara de vapor de sodio a baja presión.



Fuente www.unizar.es. Lámpara de vapor de sodio a baja presión.

La radiación emitida, de color amarillo, está muy próxima al máximo de sensibilidad del ojo humano (555 nm). Por ello, la eficacia de estas lámparas es muy elevada (entre 160 y 200 lm/W). Otras ventajas que ofrece son, 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.

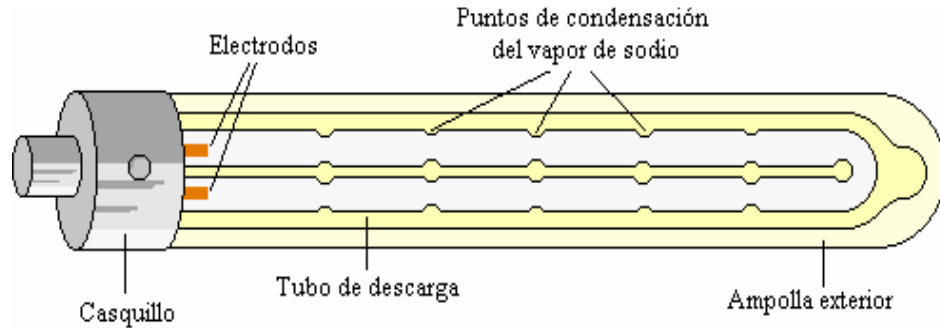
Figura.15 Balance energético de una lampara de vapor de sodio a baja presión.



Fuente www.unizar.es Lámpara de vapor de sodio a baja presión.

La vida media de estas lámparas es muy elevada, de unas 24000 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.

Figura. 16 Lámpara de vapor de sodio a baja presión.



Fuente www.unizar.es Lámpara de vapor de sodio a baja presión

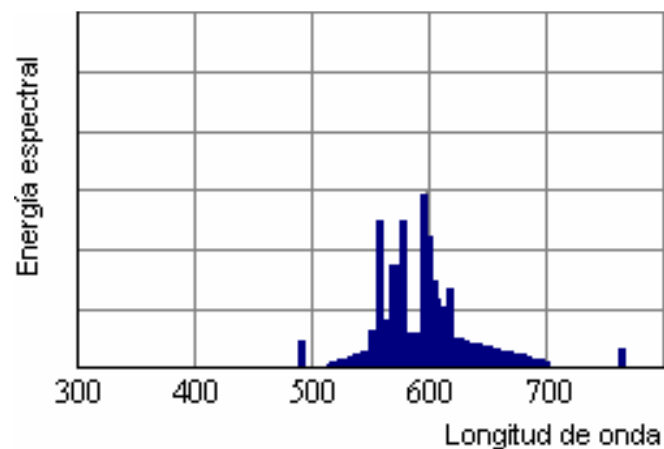
En estas lámparas el tubo de descarga tiene forma de U para disminuir las pérdidas por calor y reducir el tamaño de la lámpara. Está elaborado de materiales muy resistentes pues el sodio es muy corrosivo y se le practican unas pequeñas hendiduras para facilitar la concentración del sodio y que se vaporice 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 (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 (neón y argón) hasta que se vaporiza todo el sodio y comienza a emitir luz. Físicamente esto se 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.

Una particularidad de estas lámparas es que no necesitan balasto ya que el propio filamento actúa como estabilizador de la corriente.

1.3.9 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.

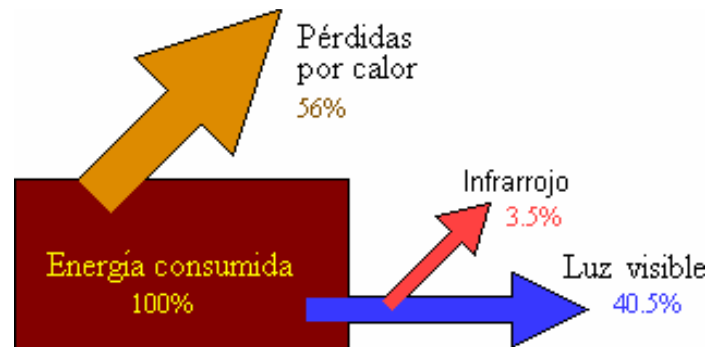
Figura 17. Espectro de una lámpara de vapor de sodio a alta presión.



Fuente www.unizar.es Lámpara de vapor de sodio a alta presión.

Las consecuencias de esto es que tienen un rendimiento en color ($T_{\text{color}} = 2100 \text{ K}$) y capacidad para reproducir los colores mucho mejores que la de las lámparas a baja presión ($\text{IRC} = 25$, aunque hay modelos de 65 y 80). No obstante, esto se consigue a base de sacrificar eficacia; aunque su valor que ronda los 130 lm/W sigue siendo un valor alto comparado con los de otros tipos de lámparas.

Figura.18. Balance energético de una lámpara de vapor de sodio a alta presión.

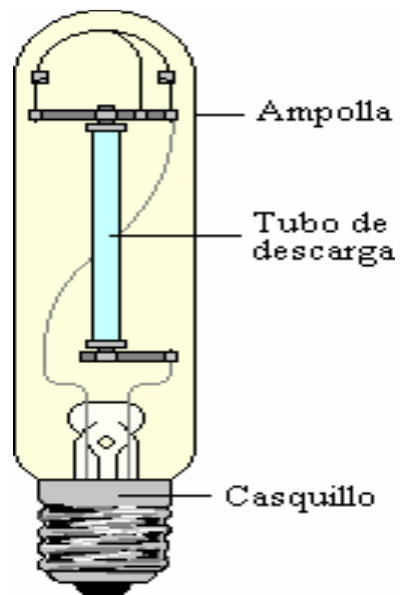


Fuente www.unizar.es Lámpara de vapor de sodio a alta presión.

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 (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.

Figura.19 Lámpara de vapor de sodio a alta presión.



Fuente www.unizar.es Lámpara de vapor de sodio a alta presión.

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

2. DISPOSITIVOS DE ILUMINACIÓN MEDIANTE DIODOS EMISORES DE LUZ "LEDs"

Los Diodos Emisores de Luz (LED) han experimentado en las últimas décadas un notable avance desde un punto de vista fotométrico, debido al incremento del flujo luminoso emitido, así como en sus prestaciones cromáticas. En su concepción estos componentes se orientaron a la utilización como indicadores (on/off) de diversos dispositivos optoelectrónicos, consolas, PC, tarjetas electrónicas, etc. Conforme han ido evolucionando en sus prestaciones, tanto de intensidad luminosa como de cromaticidad, se han ido abriendo posibilidades y expectativas sobre el potencial de estas fuentes de luz para sistemas de señalización.

En particular, las propiedades de cuasimonocromaticidad, direccionalidad de la luz emitida, durabilidad y bajo consumo, propician la directa aplicación de estos emisores en sistemas de señalización vial, donde esta supone una notable innovación tecnológica por su versatilidad en los mensajes variables en señalización vial. Partiendo de estos antecedentes se puede predecir su ya inmediata incorporación en dispositivos de iluminación.

La aparición del LED blanco, basado en el mismo principio de funcionamiento que los fluorescentes, un emisor en el azul o ultravioleta y un compuesto de fósforo que transforma parte de la radiación en visible, sin duda va a acelerar la incorporación en iluminación. Sin embargo todavía es necesario superar algunos inconvenientes como el diseño de matrices compactas de LED's con prestaciones, fotométricas y dimensionales comparables a las fuentes de iluminación convencional; el rendimiento cromático y, también, los problemas térmicos propios de los dispositivos basados en tecnología de semiconductores.

2.2 Funcionamiento de los LEDs.

Para responder esta respuesta correctamente tendremos que empezar diciendo que el led es un diodo que emite luz (Light emitting Diode) y que un diodo es un semiconductor y que los semiconductores están hechos fundamentalmente de silicio. Como veremos mas adelante los led están hechos de una gran gama de elementos de la tabla periódica, pero nos ocuparemos ahora de explicar el funcionamiento del diodo a través del comportamiento del Silicio, ya que este es el material fundamental y más popular de la electrónica moderna.

El silicio es un elemento muy común en la naturaleza, tal es así que se encuentra en la arena de las playas y en los cristales de cuarzo. Si miramos donde se encuentra el Silicio (SI) en la tabla periódica de los elementos lo encontraremos con él numero atómico 14 y sus vecinos inmediatos son el Galio (Ga), Aluminio (Al), Boro (B), Carbono (C), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Arsénico (As) y Germanio (Ge). Recuerden estos elementos porque forman parte de los distintos tipos de tecnologías de leds y son los que determinaran el color de emisión.

El carbono, el silicio y el galio poseen una propiedad única en su estructura electrónica, cada uno posee 4 electrones en su órbita externa lo que les permite combinar o compartir estos electrones con 4 átomos vecinos, formando así una malla cuadrangular o estructura cristalina, de esta forma no quedan electrones libres como en el caso de los conductores que poseen electrones libres en su ultima órbita que pueden moverse a través de los átomos formando así una corriente eléctrica.

Por lo dicho, el silicio en su forma pura es básicamente un aislante. Podemos hacerlo conductor al mezclarlo con pequeñas cantidades de otros elementos, a este proceso se lo denomina “dopaje”. Hay dos tipos de dopaje:

Dopaje N: En este caso el silicio se dopa con Fósforo o Arsénico en pequeñas cantidades. El Fósforo y el Arsénico tienen 5 electrones en su órbita externa que terminan sobrando cuando se combina en una red de átomos de silicio. Este quinto electrón se encuentra libre para moverse, lo que permite que una corriente eléctrica fluya a través del Silicio. Se necesita solo una pequeña cantidad de dopaje o impurezas para lograr esta corriente, por ejemplo al agregar un átomo de impurezas por cada 10^8 (100 millones) átomos de Silicio se incrementa la conductividad en un factor de 10. Los electrones tienen una carga negativa, por eso se llama dopaje tipo N.

Dopaje P: En este caso el silicio se dopa con Boro o Galio en pequeñas cantidades. El Boro y el Galio tienen 3 electrones en su órbita externa por lo que termina faltando un electrón cuando se combina en una red de átomos de Silicio. Este electrón faltante ocasiona que se formen huecos en la red. Estos huecos permiten que se circule una corriente a través del Silicio ya que ellos aceptan de muy buena gana ser “tapados” por un electrón de un átomo vecino, claro que esto provoca que se forme un hueco en el átomo que desprendió dicho electrón, este proceso se repite por lo que se forma una corriente de huecos a través de la red. Es de notar que en todos los casos lo único que se mueve fuera del átomo son los electrones, pero en este caso dicho movimiento provoca un efecto similar o equivalente al movimiento de huecos. Se necesita solo una pequeña cantidad de dopaje o impurezas para lograr esta corriente. Los agujeros tienen una carga positiva, por eso se llama dopaje tipo P.

Tanto el Silicio dopado N como el Silicio dopado P tienen propiedades conductoras pero a decir de verdad no son muy buenos conductores de ahí el nombre de semiconductor.

Por separado ambos semiconductores no dicen mucho, pero cuando se juntan producen efectos interesantes, especialmente entre la juntura de ambos.

Cuando unimos Silicio N y Silicio P, tenemos una juntura semiconductor P-N este es el dispositivo semiconductor más simple y es conocido con el nombre de diodo y es la base de toda la electrónica moderna. El diodo permite la circulación de corriente en un sentido pero no en el sentido contrario.

Cuando conectamos el diodo a una batería con el terminal P al borne negativo y el terminal N al borne positivo (lo conectamos en inversa) tenemos que en el primer caso los huecos son atraídos por los electrones que provienen del terminal negativo de la batería y ese es el fin de la historia. Lo mismo sucede del lado N, los electrones libres son atraídos hacia el terminal positivo. Por lo tanto no circula corriente por la juntura ya que electrones y agujeros se movieron en sentido contrario (hacia los terminales del diodo).

Si damos vuelta el diodo (lo conectamos en directa), tenemos que los electrones libres del terminal N se repelerán con los electrones libres del terminal negativo de la batería por lo que los primeros se dirigirán a la zona de juntura. En el terminal positivo tenemos que los huecos del terminal P se repelerán con los huecos del terminal positivo de la batería por lo tanto los huecos del semiconductor se dirigirán a la juntura. En la juntura los electrones y los huecos se recambian formando así una corriente que fluirá en forma permanente.

Un diodo real cuando se conecta en reversa tiene una pequeña corriente de pérdida del orden de los 10 microamperes que se mantiene aproximadamente constante mientras la tensión de la batería no supere un determinado nivel, luego del cual la corriente crece abruptamente, esta zona se llama zona de ruptura o avalancha. Generalmente esta zona queda fuera de las condiciones normales de funcionamiento. Hay que mencionar que dicha corriente inversa es casi linealmente dependiente de la temperatura.

Cuando el diodo se conecta en directa veremos que sobre sus extremos se produce una caída de tensión del orden de los 0.6 volts para los diodos de silicio normales. Esta caída de tensión es un reflejo de la energía necesaria para que los electrones salten la juntura y es característica de cada material. Este valor es conocido como potencial de salto de banda (band gap).

Se tiene entonces que para sacar un electrón de su órbita necesitamos energía y que esta se pierde en el transcurso de su recorrido dentro del diodo, esta energía se transforma en radiación, básicamente calor u ondas infrarrojas en un diodo normal.

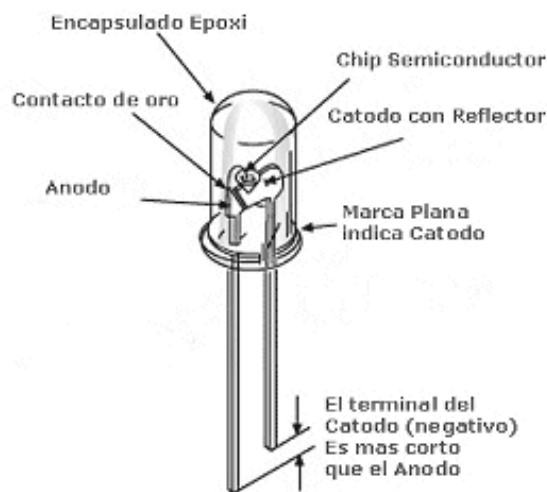
Como se dijo, si la energía que se necesita es pequeña, se tendrá que dicha energía se emitirá en ondas infrarrojas de relativamente baja frecuencia, si el material necesitara mas energía para que se produzca el paso de la corriente, las ondas que emitirá el diodo tendrían mas energía y se pasaría de emitir luz infrarroja a roja, naranja, amarilla, verde, azul, violeta y ultravioleta. Es decir el diodo emitiría luz monocromática en el espectro visible y más allá. Ya tenemos el led.

Por supuesto a más alta frecuencia mayor será la caída de tensión por lo que se pasará de 0.6v de caída para un diodo normal a 1,3 v para un led infrarrojo, 1,8 v. para un led rojo, 2,5 v. para uno verde, y 4,3v. para un led azul y más de 5v. para un led ultravioleta. Estas distintas longitudes de ondas se forman combinando distintas proporciones de materiales, como se menciona anteriormente.

2.3 Partes de los LEDs.

Existen numerosos encapsulados disponibles para los leds y su cantidad se incrementa de año en año a medida que las aplicaciones de los leds se hacen mas especificas. Por ahora se estudiarán las partes constitutivas de un led a través de la figura 1.1 la cual representa tal vez el encapsulado mas popular de los leds que es el T1 $\frac{3}{4}$ de 5mm. de diámetro.

Figura 21. Partes Constitutivas de un Led.



Fuente: www.cueveros.com LEDs.

Como se ve el led viene provisto de los dos terminales correspondientes que tienen aproximadamente 2 a 2,5 cm de largo y sección generalmente de forma cuadrada.

En el esquema se puede observar que la parte interna del terminal del cátodo es más grande que el ánodo, esto es porque el cátodo esta encargado de sujetar al sustrato de silicio, por lo tanto será este terminal el encargado de disipar el calor generado hacia el exterior ya que el terminal del ánodo se conecta al chip por un delgado hilo de oro, el cual prácticamente no conduce calor. Es de notar que esto no es así en todos los leds, solo en los últimos modelos de alto brillo y en los primeros modelos de brillo estándar, ya que en los primeros led de alto brillo es al revés. Por eso no es buena política a la hora de tener que identificar el cátodo, hacerlo observando cual es el de mayor superficie. Para eso existen dos formas más convenientes, la primera y más segura es ver cual es el terminal mas corto, ese es siempre el cátodo no importa que tecnología sea el led. La otra es observar la marca plana que también indica el cátodo, dicha marca plana es una muesca o rebaje en un reborde que tiene los leds. Otra vez este no es un método que siempre funciona ya que algunos fabricantes no incluyen esta muesca y algunos modelos de leds pensados para aplicaciones de cluster donde se necesitan que los leds estén muy pegados, directamente no incluye este reborde.

El terminal que sostiene el sustrato cumple otra misión muy importante, la de reflector, ya que posee una forma parabólica o su aproximación semicircular, este es un punto muy critico en la fabricación y concepción del led ya que un mal enfoque puede ocasionar una perdida considerable de energía o una proyección dispareja.

Un led bien enfocado debe proyectar un brillo parejo cuando se proyecta sobre una superficie plana. Un led con enfoque defectuoso se puede identificar porque proyecta formas que son copia del sustrato y a veces se puede observar un aro mas brillante en el exterior de circulo, síntoma seguro de que la posición del sustrato se encuentra debajo del centro focal del espejo terminal.

Dentro de las características ópticas del led aparte de su luminosidad está la del ángulo de visión, Se define generalmente el ángulo de visión como el desplazamiento angular desde la perpendicular donde la potencia de emisión disminuye a la mitad. Según la aplicación que se le dará al led se necesitará distintos ángulos de visión así son típicos leds con 4,6,8,16,24,30,45,60 y hasta 90 grados de visión. Generalmente el ángulo de visión esta determinado por el radio de curvatura del reflector del led y principalmente por el radio de curvatura del encapsulado. Por supuesto mientras más chico sea el ángulo y a igual sustrato semiconductor se tendrá un mayor potencia de emisión y viceversa.

Otro componente del led que no se muestra en la figura pero que es común encontrarlo en los led de 5mm son los stand-off o separadores, son topes que tienen los terminales y sirven para separar los leds de la plaqueta en aplicaciones que así lo requieren, generalmente si se va colocar varios leds en una plaqueta conveniente que no tenga stand-off ya que de esta forma el encapsulado del led puede apoyarse sobre la plaqueta lo que le dará la posición correcta, esto es especialmente importante en leds con ángulo de visión reducido.

Por ultimo tenemos el encapsulado epoxi que es el encargado de proteger al semiconductor de las inclemencias ambientales y como dijimos ayuda a formar el haz de emisión.

2.4 CLASES DE ENCAPSULADO.

Existen básicamente 4 tipos de encapsulado si lo catalogamos por su color.

2.4.1 Transparente o clear water (agua transparente). Es el utilizado en leds de alta potencia de emisión, ya que el propósito de estos leds es fundamentalmente iluminar, es importante que estos encapsulados no absorban de ninguna manera la luz emitida.

2.4.2 Coloreados o tinted. Similar al anterior pero coloreado con el color de emisión de sustrato similar al vidrio de algunas botellas, se usa principalmente en leds de mediana potencia y/o donde sea necesario identificar el color del led aun apagado.

2.4.3 Difuso o difused. Estos leds tiene un aspecto más opaco que el anterior y están coloreados con el color de emisión, poseen pequeñas partículas en suspensión de tamaño microscópicos que son las encargadas de desviar la luz, este tipo de encapsulado le quita mucho brillo al led pero le agrega mucho ángulo de visión ya que los múltiples rebotes de la luz dentro del encapsulado le otorgan un brillo muy parejo sobre casi todos los ángulos prácticos de visión.

2.4.4 Lechosos o Milky. Este tipo de encapsulado es un tipo difuso pero sin colorear, estos encapsulados son muy utilizados en leds bicolors o multicolores. El led bicolor es en realidad un led doble con un cátodo común y dos ánodos (3 terminales) o dos led colocados en contraposición (2 terminales). Generalmente el primer caso con leds rojo y verde es el más común aunque existen otras combinaciones incluso con más colores.

Es muy importante hacer notar que en todos los casos el sustrato del led es el que determina el color de emisión y no el encapsulado. Un encapsulado con frecuencia de paso distinta a la frecuencia de emisión del sustrato solo lograría filtrar la luz del led, bajando así su brillo aparente al igual que todo objeto colocado delante de él.

2.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS LEDS.

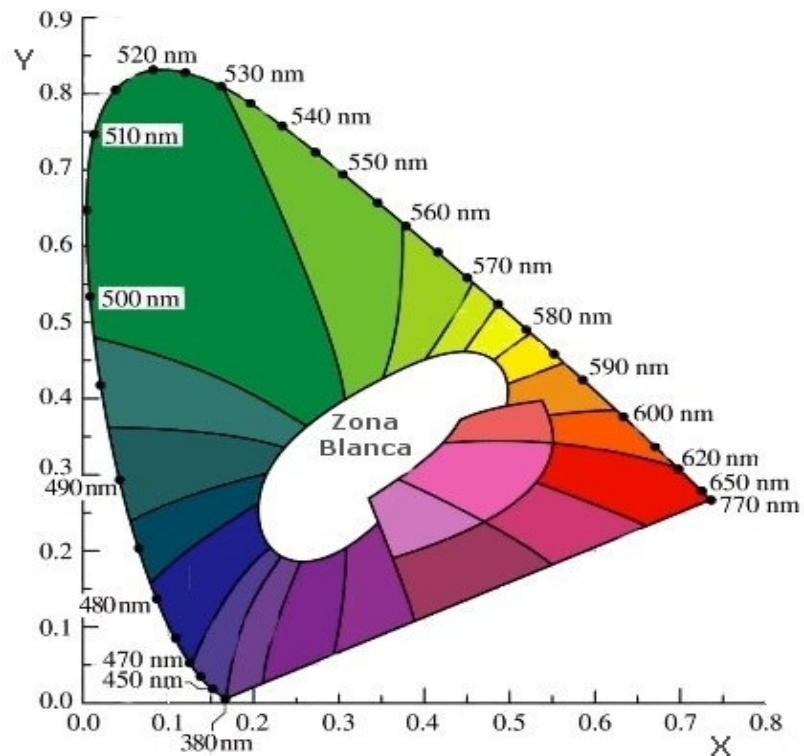
2.5.1 Características Fotométricas. Las características de eficiencia luminosa varían en la tecnología usada por las diferentes compañías para su construcción. Estas compañías han llegado en la actualidad a superar de forma eficiente algunas de las lámparas actuales, llegando a que los Leds sean 10 veces más eficientes que las lámparas incandescentes y dos veces más que las fluorescentes.

Dentro del mercado actual ya podemos encontrar los LEDS con una intensidad luminosa de 0.5 a 12 candelas por LED.

2.5.2 Características cromáticas. Tenemos que la temperatura de color de la radiación de los LEDS blancos es intermedia entre cálida y fría en los más

comunes del mercado, pero en la actualidad ya se encuentran con mejores características y el rendimiento cromático es bastante bueno ($Ra=85$); únicamente y suficiente cuando se necesita una excelente discriminación de colores ($Ra=40$).

Figura22. Diagrama de cromaticidad



Fuente: www.cueveros.com LEDs

2.5.3 Características Eléctricas. En cuanto a las prestaciones eléctricas cabe destacar el corto periodo de encendido de los LED's 10-5 sg, comparado con cualquiera de las fuentes convencionales. También cabe destacar el bajo consumo y su versatilidad en cuanto al diseño geométrico.

2.5.4 Características de duración. La degradación en fuentes LED depende de la temperatura de la unión, de la intensidad de corriente empleada y de la técnica de fabricación de la unión.

A continuación se aprecia como los valores de duración y depreciación de flujo de los LED's son muy favorables respecto a los demás tipos de lámparas.

Las fuentes LEDs presentan fallas solo por la ruptura de la unión p-n teniendo una vida útil de cien mil horas con un 5% de falla a las 50.000 horas y su depreciación de uso solo es del 5%.

Sin embargo, su elevado precio ha empañado la alegría de los investigadores. El usuario tiene que desembolsar alrededor de medio dólar por cada lumen de un LED de luz blanca, en el caso de una lámpara eléctrica sólo son 0,25 y alrededor de 25 centavos de dólar en el caso de un LED de luz roja.

2.5.5 Ventajas de la tecnología led

Figura 23. Iluminación interior con LEDs



Fuente www.cueveros.com LEDs.

- **Máxima autonomía.** Las bombillas incandescentes (incluyendo las de Xenón y Kriptón) pierden el 90% de energía al transformarse en calor. Con el LED, casi la totalidad de la energía se transforma en luz. Una linterna convencional, tras 32 minutos de uso presenta solo el 50% de su potencia y tras 6 horas pierde completamente su capacidad lumínica, mientras que a una linterna con LEDs esto solo le ocurre tras varios días de uso.
- **Ahorro económico.** Debido al bajo consumo y larga duración de los LED, una hora de uso cuesta milésimas de céntimo. Por tanto, podría decirse que la compra de una linterna con LED se amortiza tras el primer día de uso.
- **Reducción de reparaciones.** En caso de utilización ininterrumpida los LED tienen una vida útil de unos 11 años, por lo que ya no son necesarios los repuestos, en comparación con las bombillas convencionales que solo garantizan un uso de 60 horas.
- **Resistencia a los golpes.** El cristal no brilla como un filamento, se encuentra dentro de una lente de plástico transparente (sin cristal), por lo que puede dejarse caer, tirarse o pasar por encima con el coche sin dañarlo.
- **Conservación medioambiental.** El menor consumo de energía disminuye la demanda de pilas, reduciendo la cantidad de residuos tóxicos que estas producen.
- **Resistencia al agua.** Los LEDs son resistentes al agua.

3. FUENTES DE ALIMENTACION

La utilización de los recursos naturales y el desarrollo de procesos con criterios de sostenibilidad, hacen parte de las preocupaciones actuales y de mayor importancia de la humanidad. Sin duda alguna los problemas ambientales que afrontan las diferentes regiones del mundo generan un espacio para la reflexión en torno a la explotación, manejo y uso de los actuales recursos energéticos, en especial por los efectos que estos están causando al medio, al bienestar de la sociedad y a la salud de los habitantes, involucrando entre otros cambios el deterioro al suelo, al agua y al aire de los cuales se vive.

Presentar los beneficios ambientales que trae consigo la implementación de sistemas de aprovechamiento energéticos y conocer las diversas fuentes, formas de producción, transformación y usos de estos recursos energéticos dan la oportunidad para realizar la divulgación del criterio de energías sostenibles así como la promoción de una conciencia de producción medioambientalmente sana.

3.1 LA ENERGIA EN LA ACTUALIDAD

3.1.1 Estado del arte. La evolución de la humanidad ha estado ligada a la utilización de la energía. El conocimiento y aprovechamiento del fuego o del viento marcaron hitos importantes en este devenir. La revolución Industrial, que tanto ha cambiado la forma de vida, se une en sus inicios a la utilización del carbón.

Dentro de este proceso de evolución, el uso masivo del petróleo ha traído una elevada movilidad de automóviles y aviones, que hoy caracteriza a las sociedades mas desarrolladas.

Hasta la Revolución Industrial, las fuentes de energía que empleaba el hombre eran en su mayoría recursos renovables: las fuerza del viento o del agua y sobre todo la energía de los animales y del propio hombre. Desde entonces los combustibles fósiles han irrumpido en el esquema de abastecimiento energéticos y hoy abarcan mas de tres cuartas partes de la energía primaria que consume a nivel mundial.

3.1.2 Energías no renovables. Se definen como aquellas fuentes de energía de origen fósil depositada en la tierra hace cientos de millones de años, o a minerales radioactivos que estaban cuando el planeta se formo; cuando estos se explotan, el capital energético se agota. La reposición de estos elementos es tan lenta en la escala de la vida humana que se puede considerar insignificante, por esta razón, el petróleo, el gas natural, el carbón y los materiales radioactivos como el uranio y el torio son de carácter no renovable.

3.1.3 Energías renovables

- **Definiciones y Generalidades.** Las energías renovables se pueden definir como aquellas fuentes que de forma periódica se ponen a disposición del hombre y que este es capaz de aprovechar y transformar en energía útil para satisfacer sus necesidades. Estas se renuevan de forma continua en contraposición con los combustibles fósiles como petróleo, carbón, gas y materiales radioactivos como el uranio, de los que existen unas determinadas disponibilidades agotables en un plazo mas o menos largo.

Las energías renovables son una fuente de abastecimiento inagotable ya que en su origen proceden la mayoría del sol. Esto no significa que deban asociarse al aprovechamiento directo de la energía solar, sino que el sol produce una serie de fenómenos naturales que a su vez, dan origen a los recursos en los que se basan los diferentes tipos de aprovechamiento de energía renovables.

No solo la alarma medioambiental ha conseguido que se tengan en cuenta las energías renovables como una alternativa al suministro energético, la preocupación por una independencia energética y la escasez de recursos fósiles han sido los grandes precursores.

Las energías renovables son tan antigua como el planeta o el sol, pues aparecieron junto con los ríos, las montañas y la luz. Alguna se viene utilizando desde hace mucho tiempo:

- ♣ Arquitectura solar pasiva, utilizada por los griegos hace 2500 años
- ♣ Molinos de viento, desarrollados hacia el año 1000 A.C
- ♣ Ruedas hidráulicas, inventas en la época de cristo y muy extendida en la edad media
- ♣ Molinos de marea, extendida en épocas pasadas a lo largo de las costas europeas.
- ♣ Calentadores solares, que se remontan a finales del siglo pasado.

• **Tipos de energía renovables.** La energías renovables se derivan esencialmente de la energía que el sol envía de forma continua a la tierra. Estas se pueden recuperar bajo diferentes formas como: radiación solar, viento, movimiento de aguas. La materia orgánica es otra forma de energía que puede aplicarse como ; fitomasa o biomasa según el contenido que se quiera considerar en este aspecto: materia vegetal o derivada de los animales.

- **Energía del sol.** El sol es el recurso energético más abundante del planeta. El flujo solar puede ser utilizado para suministrar calefacción, agua caliente o electricidad. Para ello existen tres modalidades de aprovechamiento.

La arquitectura solar pasiva: que aprovecha al máximo la luz natural, valiéndose de la estructura y los materiales de edificación para capturar, almacenar y distribuir el calor y la luz.

Los sistemas solares activos: que se valen de bombas o ventiladores para transportar el calor desde el punto de captación, hasta el lugar donde se precisa calor o agua caliente

Células fotovoltaicas: que aprovechan la inestabilidad electrónica de elementos como silicio, para provocar con el aporte de luz solar, una corriente eléctrica capaz de ser almacenada.

La energía que suministra el sol es ilimitada, inagotable y limpia aunque queda por investigar las repercusiones medioambientales que pueden surgir en la fabricación de los elementos fotovoltaicos.

- **Energía del viento.** El viento es uno de los recursos renovables más atractivos, a pesar de su naturaleza intermitente y variable. Hasta ahora se había utilizado para diversos usos agrícolas (extracción de agua, molinos, etc.), pero la tecnología ha llevado este recurso a niveles competitivos. Actualmente se usa para la producción de electricidad generada por las aspas de gigantescas turbinas, que transforman la fuerza del viento en energía eléctrica. Para que su productividad sea óptima, han de ser de un tamaño considerable y emplazado en lugares muy expuestos al viento, lo que trae consigo algunas contrapartidas medioambientales como:

- ♣ Interrupción de la armonía paisajística
 - ♣ Repercusiones negativas para las aves que incluso pueden sufrir accidentes mortales.
 - ♣ Producción de ruido, aunque se esta avanzando en este sentido
 - ♣ Interferencia y perturbaciones en emisiones radiofónicas y de TV
 - ♣ Necesidad de aislamiento; si un rotor adquiere una velocidad excesiva y no dispone de dispositivos de desconexión, puede llegar a desintegrarse por los que es conveniente dejar una zona libre de 200-300 metros alrededor del aparato, para evitar accidentes. Por este motivo no es aconsejable instalar grandes aerogeneradores en zonas urbanas o faunisticamente activa.
- **Energía del agua.** Constituye un sistema de los denominados renovables, pero merece estar en un grupo intermedio, a medio camino entre las energías limpias y las contaminantes. Ellos son debidos fundamentalmente al impacto ambiental y humano que causan la presa y embalses en los casos de generación de energía eléctrica.

La energía del agua puede usarse en su forma potencial (presas y embalses), en su forma cinética (caudales de ríos y canales), o en su forma combinada en el mar, donde por efecto del sol calienta el agua y se utilizan deltas de temperatura (energía mareomotermica) o por movimiento de las masas de agua (olas y mareas).

- **Energía de la tierra.** Consiste en la producción de calor y electricidad a partir del vapor natural de la tierra. Sin embargo este recurso experimental tiene que resolver algunos problemas técnicos importantes, como el hecho de necesitar grandes profundidades de 6 a 7 Km., para poder llevarse a cabo.

Pero el aprovechamiento del calor geotérmico carece de repercusiones medioambientales, sin embargo puede variar dependiendo de la localización

- ♣ Las instalaciones comerciales pueden producir una amplia gama de residuos en suspensión, bien en la atmósfera, bien en el agua, entre los que se incluye sales disueltas, mercurio, arsénico, sulfuro de hidrógeno y en ocasiones radón.
- ♣ Las instalaciones de grandes dimensiones pueden causar pequeños movimientos de tierras como consecuencia de los cambios de temperatura bruscos que se producen.
- **Energía de la biomasa.** Constituye en muchos aspectos la opción más compleja de energía renovable, debido fundamentalmente a la variedad de materiales de alimentación, la multitud de procesos de conversión y la amplia gama de sedimentos. Consiste en la transformación de materia orgánica, como residuos agrícolas e industriales, desperdicios varios, aguas negras, residuos municipales, residuos ganaderos, troncos de árbol, restos de cosecha, etc., en energía eléctrica o calórica.

Los métodos principales para convertir la biomasa en energía útil son:

- ♣ Combustión directa
- ♣ Digestión anaerobia
- ♣ Fermentación alcohólica
- ♣ Pirólisis
- ♣ Gasificación

El método de combustión directa es el que más problemas plantea debido a las siguientes consideraciones:

- ♣ La búsqueda de materia biológica (madera) para quemar puede afectar a los ecosistemas naturales hasta el punto de provocar la desaparición del bosque y con él, la fauna
- ♣ La combustión de residuos orgánicos puede acarrear la emisión de determinados elementos tóxicos como las Dioxinas, Furanos y Metales Pesados.

Unos controles estrictos y unos adecuados sistemas de depuración podrían reducir las emisiones pero es más conveniente eliminar los materiales tóxicos en la combustión de residuos. La búsqueda de residuos aptos para el consumo energético puede afectar las posibilidades de reciclado de los elementos presentes en la basura.

Una fuente energética adicional que se puede considerar es la ofrecida por los generadores de corriente continua, máquinas que debido a sus características pueden ser fácilmente implementadas y utilizadas. Los generadores de CD son la respuesta obvia al problema de convertir la energía mecánica a energía eléctrica en forma de corriente directa. Cuando el consumidor de energía eléctrica está geográficamente muy alejado de las líneas de alimentación, se puede subsanar el problema energético con el establecimiento de las energías alternas, explicada anteriormente o con la utilización de un generador de corriente continua. Para el caso colombiano aprovechando la ubicación geográfica y el desarrollo de la tecnología se puede establecer como medio de alimentación para las lámparas formadas por LED WHITE, los sistemas basados en el uso de energía solar, y el generador de corriente continua con la novedad que el par mecánico de funcionamiento será dado de forma manual.

4. SISTEMA FOTOVOLTAICO DOMICILIARIO (SFD)

Un sistema fotovoltaico es una fuente de energía eléctrica en la cual las celdas solares transforman la energía solar directamente en electricidad.

Los sistemas fotovoltaicos pueden ser colocados en todos los lugares donde haya suficiente energía solar, estos no requieren combustibles y por tratarse de dispositivos de estado sólido, carecen de partes móviles, y por consiguiente no requieren mantenimiento. Tampoco producen ruido ni emisiones tóxicas, ni contaminación ambiental, ni polución electromagnética. Se emplean desde hace cerca de 30 años en lugares inhóspito tales como el espacio, desiertos, selvas, regiones remotas, etc.

Los sistemas fotovoltaicos se pueden diseñar para operación autónoma o funcionamiento en sistema híbridos o alternativamente con sistemas de generación convencionales. También pueden operar aislados de redes o interconectados a ellas. La capacidad de los sistemas fotovoltaicos varia desde algunos milivatios pico, hasta decenas de megavatios pico.

4.1. EL EFECTO FOTOVOLTAICO.

El efecto fotovoltaico consiste en la conversión de la energía que transportan los fotones de luz incidente sobre materiales semiconductores, convenientemente tratado, en energía eléctrica. La energía de los fotones permite impulsar los electrones a través de un circuito exterior, realizando un trabajo útil.

La clave para producir una corriente eléctrica útil, está en lograr extraer los electrones liberados fuera del material antes de que estos vuelvan a recombinarse con los huecos (lugares vacíos que dejan los electrones). Una forma de lograr esto es introducir en el material semiconductor elementos químicos que contribuyan a producir un exceso de electrones y de huecos. Dichos elementos que alteran significativamente las propiedades intrínsecas de los semiconductores se denominan donantes y el proceso de su incorporación al semiconductor se llama dopado.

4.1.1. La Célula Fotovoltaica. Una célula fotovoltaica es un material formado por los materiales semiconductores capaces de producir, mediante una unión P-N, una barrera de potencial que haga posible el efecto fotovoltaico. El tamaño de cada célula depende fundamentalmente del proceso de fabricación, varía normalmente desde unos pocos centímetros cuadrados hasta 100 cm^2 o más, y su forma es circular, cuadrada, o derivada de estas dos geometrías.

Las células se interconectan en serie, para que los electrones expulsados de una, sean recogidos por la siguiente, comunicándole energía adicional, a fin de lograr una diferencia de potencial para el circuito exterior que sea adecuado para efectos prácticos, normalmente entre 6 y 24 voltios.

4.1.2. El Panel Solar. Una célula suelta es capaz de proporcionar una tensión de algunas décimas de voltio (típicamente alrededor de medio voltio para las células de silicio) y una tensión máxima de uno o dos voltios. Es preciso conectar entre si en serie un determinado número de células para producir las tensiones de 6, 12 o 24 V aceptadas en la mayor parte de las aplicaciones. Al conjunto así formado convenientemente ensamblado y protegidos contra los agentes externos (las células son muy delicadas), se le denomina **pánel o**

módulo fotovoltaico. A veces la palabra panel se utiliza para designar un conjunto de dos o más módulos ensamblados entre sí.

Las pruebas que cada panel debe pasar satisfactoriamente antes de ser definitivamente destinado al comercio son muy rigurosas, puesto que este elemento estará expuesto durante muchos años a las más duras condiciones de intemperie, que pueden variar de un calor extremado hasta temperaturas de frío glacial, pasando por vientos huracanados, atmósfera húmeda, etc. Es pues necesario garantizar un perfecto comportamiento frente a todos estos agentes, asegurando que el panel generará electricidad con un rendimiento óptimo durante al menos veinte años consecutivos sin necesidad de reparación y con un mínimo de mantenimiento

Entre las pruebas a que se someten los paneles está la de los ciclos térmicos, haciendo variar la temperatura desde -40°C hasta 90°C varios cientos de veces, también está la prueba de los ciclos de humedad y congelación. Igualmente se somete, junto con su estructura de soporte a fuertes vientos alternativamente en uno y otro sentido, observando que no se producen roturas ni fisuras por vibración, o desprendimiento de contactos. Para comprobar la capacidad del panel para soportar altas descargas eléctricas se les somete a una diferencia de potencial de 3000 volts entre el circuito de la célula y el marco metálico, observando que la intensidad de corriente que fluye es despreciable.

4.1.3. Características y tipos de paneles fotovoltaicos. Aunque, las características externas o de construcción como las respuestas eléctricas varían de un tipo de paneles a otros, se describirá un panel clásico, cuyos aspectos más significativos serán válidos para las diversas variantes que existen en el mercado

- **Características físicas.** Los paneles adoptan siempre la forma cuadrada o rectangular, con áreas que van desde aproximadamente 0.1 m^2 hasta 0.5 m^2 . El grueso total sin incluir el marco protector, no suele superar los 3 cm. Son relativamente ligeros (un panel de 0.5 m^2 puede pesar 6 o 7 Kg.) y, aunque rígidos en apariencia, son capaces de sufrir ligeras deformaciones para adaptarse a los esfuerzos mecánicos a que pudiesen verse sometidos.
- **Características eléctricas.** La respuesta de un panel frente a una radiación solar vendrá determinados por las células que lo forman, pudiendo ser descrita mediante varios parámetros, que se definen a continuación:

Corriente de cortocircuito (I_{sc}). Es la intensidad máxima de la corriente que se puede obtener de un panel bajo unas determinadas condiciones (generalmente normalizadas). Correspondería a medir, mediante un amperímetro (de resistencia prácticamente nula) la corriente entre bornes del panel sin ninguna otra resistencia adicional, esto es, provocando un corto circuito. Al no existir resistencia alguna al paso de la corriente, la caída de potencial es cero.

Tensión a circuito abierto (V_{oc}). Es la tensión máxima que se podría medir con un voltímetro, sin permitir que pase corriente alguna entre los bornes de un panel, es decir, en condiciones de circuito abierto (resistencia entre bornes infinitas).

Corriente (I). A una determinada tensión (V). Las dos definiciones anteriores corresponden a casos extremos. En la práctica, lo usual es que un panel produzca una determinada corriente eléctrica que fluye a través del circuito externo que une los bornes del mismo y que posee una determinada resistencia R. si la diferencia de potencial entre los bornes es V, se dice que la corriente de intensidad I se produce a una tensión V.

Potencia Máxima (Pm). En unas condiciones determinadas, la intensidad I tendrá un cierto valor comprendido entre cero e I_{sc} correspondiente a una tensión V que tomara un valor entre cero y V_{oc} . Dado que la potencia es el producto de la tensión y la intensidad, esta será máxima únicamente para un cierto par de valores I - V , en principio desconocidos.

Decimos que un panel trabaja en condiciones de potencia máxima cuando la resistencia del circuito externo es tal que determina unos valores de I_m y V_m de manera que su producto sea máximo. Normalmente un panel no trabaja en condiciones de potencia máxima, ya que la resistencia exterior esta fijada por la característica propia del circuito.

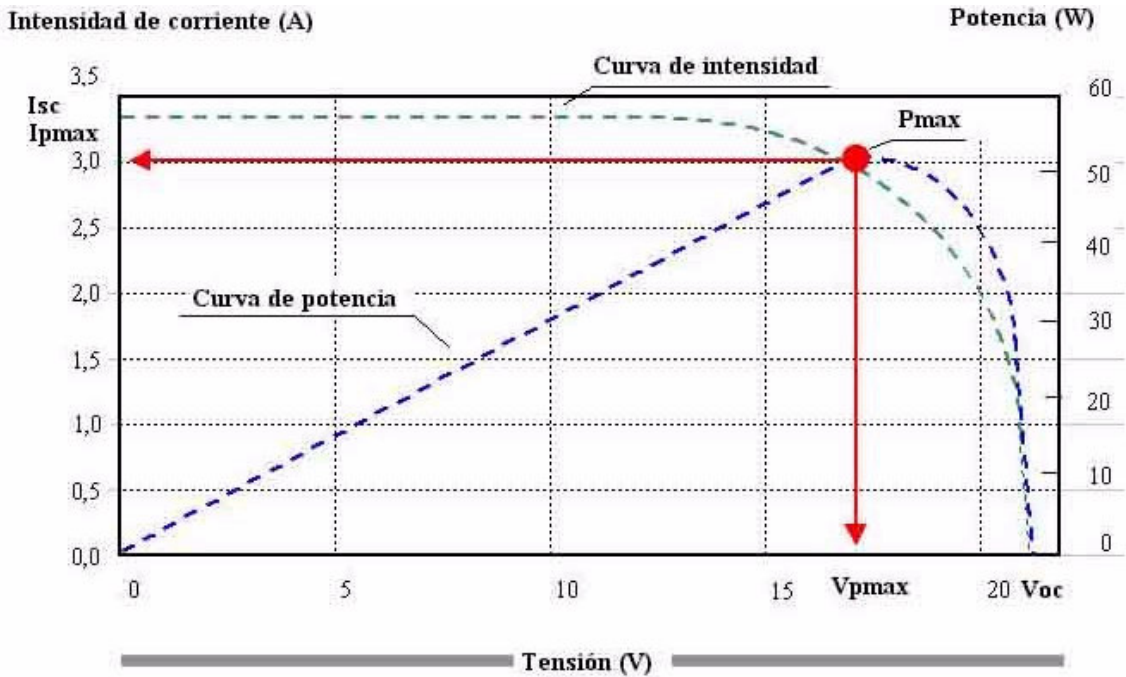
Eficiencia total del panel. Es el cociente entre la potencia eléctrica producida por este y la potencia de la radiación incidente sobre el mismo.

Factor de forma (FF). Es un concepto teórico útil para medir la forma de la curva definida por las variables I y V

$$FF = P_m / (I_{sc}V_{oc}) = I_m V_m / (I_{sc}V_{oc}). \text{ Ecuación 1}$$

Los conceptos anteriormente definidos resultan mas claros si se observa la figura 24, que presenta la curva medida experimentalmente de un típico panel fotovoltaico sometido a unas determinadas condiciones constantes de radiación y temperatura. Variando la resistencia externa desde un valor nulo hasta infinito, se puede medir diversos valores de pares I - V que uniéndolos forman la que se denomina **curva característica de pánel** o curva de intensidad-tensión (curva I - V), la cual presenta un aspecto bastante parecido de unos pánels a otros.

Figura 24 . Curva característica de los paneles solares



Fuente: www.dersa.com Desarrollo de Energías Renovables

Si se modifican la intensidad radiante incidente sobre el panel o la temperatura ambiente, que son las dos variables que mas influencia tienen en la respuesta eléctrica del mismo, la curva i-v también se modifica como se muestra en las figuras 25 donde se varia la intensidad y en la figura 26 se presenta la variación de la temperatura.

Figura 25. Variación de la intensidad

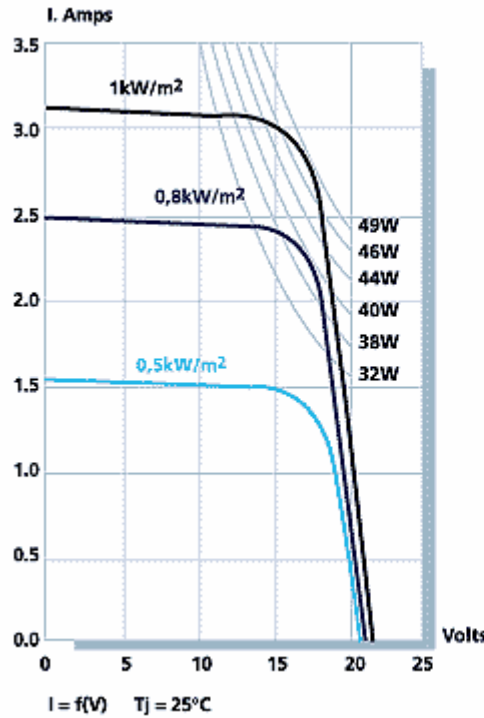
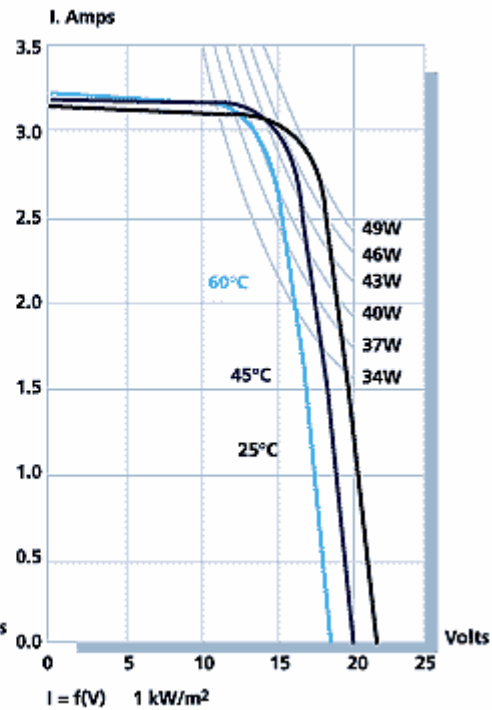


Figura 26. Variación Temperatura



Fuente: www.solartronic.com.

Las condiciones reales de trabajo de los paneles, una vez instalados pueden ser muy diferentes a las del laboratorio, por lo que conviene conocer las variaciones que puedan producirse, a fin de efectuar las pertinentes correcciones en los cálculos.

La intensidad de la corriente eléctrica es aproximadamente proporcional a la intensidad de la radiación incidente, lo cual resulta lógico pues si por ejemplo, se duplica el número de fotones incidentes sobre las células, se duplicará (hasta cierto límite) el número de choques con electrones.

La tensión también aumenta con la radiación, pero siguiendo una curva exponencial muy diferente a la de la corriente.

Si no se conocen las curvas de variación con la temperatura de las magnitudes características del panel (que deben ser suministradas por el fabricante o proveedor de los mismos), resulta útil conocer unas variaciones medias a saber:

El incremento de temperatura es uno de los factores más adversos para los módulos pues si bien la corriente aumenta ligeramente con la temperatura, el voltaje decrece y el efecto neto es una disminución de la potencia. Para compensar esta disminución el módulo debe tener un número suficiente de celdas para que a elevadas temperaturas suministre la tensión de carga requerida.

Tabla 4. Efecto de la temperatura sobre características de módulos (datos suministrados por fabricantes)

Efecto de la temperatura	Cambio relativo
V_{OC}	$-0.37\% / C^0$
I_{SC}	$+0.1\% / C^0$
V_P	$-0.57\% / C^0$
I_P	$+0.07\% / C^0$
W_P	$-0.50\% / C^0$

En principio, se podrían clasificar los paneles atendiendo al tipo de células que contiene. Así, se habla de paneles monocristalino, policristalino y amorfos, o mencionando el material semiconductor utilizado.

Otra posible clasificación tendría en cuenta la potencia que cada panel es capaz de producir.

Existen minipaneles de tan solo 1 o 2 W de potencia, como los que se utilizan para mantener cargada la batería de un automóvil, y también se puede encontrar grandes paneles de 120 W. normalmente, cuando se refieren a un panel de una determinada potencia se entiende que es la potencia nominal, es decir aquella que el fabricante o el organismo encargado de efectuar las medidas asegura que el panel es capaz de suministrar bajo unas determinadas condiciones

La potencia nominal pico es la proporcionada al recibir el panel una radiación de 1000 W/m^2 cuando la temperatura de las células es de 25°C . EL nombre de "pico" hace referencia a que en realidad una intensidad radiante de 1000W/m^2 constituye un pico máximo en las medidas reales de la intensidad radiante (corresponde mas o menos a la obtenida en un día claro con el Sol cercano al cenit). Las potencias nominales más usuales que se pueden encontrar en el mercado son : 5, 10, 20, 35, 40, 60, 80, 100 y 120W

En cuanto a la tensión, según el numero de células que puede ser aproximadamente de 18 o 36, se habla de paneles de 6 o 12 V (V_{oc} estará alrededor de 10 y 20V respectivamente). Los paneles mas utilizados son los de 12V por ser la tensión mas frecuente en corriente continua y coincidir con la tensión de trabajo de la mayoría de los acumuladores de uso de corriente.

4.1.4 Interconexión de paneles. Los paneles están diseñados para formar una estructura modular, siendo posible combinarlo en serie, en paralelo o de forma mixta, a fin de obtener la tensión e intensidad deseadas. Se sabe que al igual que cualquier fuente de fuerza electromotriz, el acoplamiento de dos o más paneles en serie produce una tensión igual a la suma de las tensiones individuales de cada panel, manteniéndose invariable la intensidad. En paralelo, es la intensidad la que aumenta, permaneciendo igual la tensión.

Lo mas frecuente es adquirir paneles de la tensión deseada (paneles de 12 volts son los que mas abundan en el mercado y combinarlos en paralelo de forma que la intensidad total (y por tanto la potencia resultante) sea la necesaria para satisfacer el consumo eléctrico adecuado.

Es importante advertir que los páneles que se interconectan deberán tener la misma curva i-v, a fin de evitar descompensaciones.

Figura 27. Paneles conectados en paralelo.

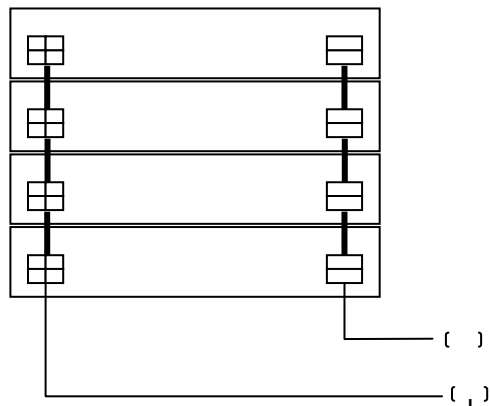
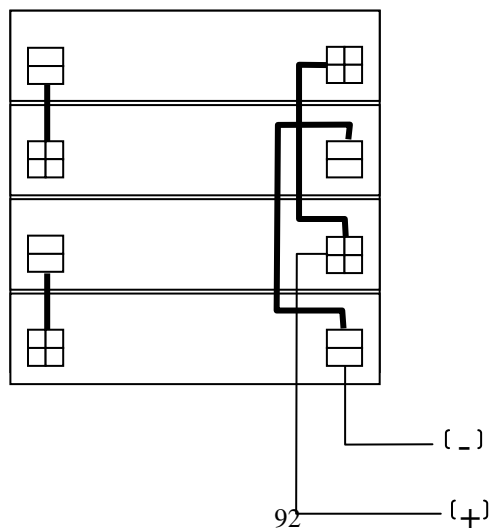


Figura 28. Paneles conectados en serie- paralelo.



4.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN COLOMBIA.

El desarrollo de los sistemas fotovoltaicos ha sido diferente en cada país. El caso de Colombia es sobresaliente en Latinoamérica pues, en la década de los ochenta introdujo los sistemas fotovoltaicos de manera masiva en las telecomunicaciones, desarrollándose un mercado interno que fue el mayor de Sudamérica. La utilización de los sistemas fotovoltaicos en Colombia comenzó en 1979, cuando Telecom consideró su utilización para el programa de telecomunicaciones rurales y adquirió los primeros sistemas fotovoltaicos.

4.2.1 Mercado de los sistemas fotovoltaicos en Colombia. El mercado de los sistemas fotovoltaicos se ha desarrollado de dos formas:

- **El mercado profesional.** Es el de los sistemas de generación para equipos de telecomunicaciones, señalización, adquisición y transmisión de datos, y protección catódica. Puede afirmarse que en todas estas aplicaciones se reconocen ya las bondades de los sistemas fotovoltaicos, desde el punto de vista técnico y económico. Este mercado es principalmente estatal, destacándose Telecom como el mayor comprador de sistemas fotovoltaicos en Colombia.
- **El mercado de los usuarios individuales.** Es el de usuarios que viven principalmente en los campos y requieren de servicios domésticos como iluminación, radio y TV, y en algunos casos, radiotelefonía y pequeños aparatos domésticos. Este mercado ha crecido rápidamente en el país y en muchas regiones rurales los sistemas fotovoltaicos son bien conocidos.

Desde 1979 hasta 1986 el número de sistemas fotovoltaicos en el país alcanzo los 10332 sistemas y los 543 KWp de potencia instalada, la gran mayoría de ellos instalados a usuarios individuales.

Hacia el año 1990 se contaba con cerca de 28000 sistemas instalados equivalentes a 1.8 MWp.

El último estudio realizado en 1994 se mencionan cerca de 39000 sistemas instalados con una potencia de 2.5 MWp. En la actualidad existe un programa gubernamental para mejorar las condiciones del servicio de energía en algunas regiones del país. Dicho programa está incluido en el llamado “Plan Colombia”. Dentro de las estrategias planteadas para llevar el servicio de energía a estas regiones están: la ampliación del sistema de interconexión eléctrica nacional, la implementación de sistemas de fuentes alternativas de energía incluido los sistemas fotovoltaicos. Los criterios para definir el sistema a utilizar en cada una de las regiones están basados en la ubicación geográfica y en los recursos energéticos de cada una de estas regiones denominadas por el gobierno como zonas no interconectadas (ZIN).

4.3 COMPONENTES DE UNA INSTALACION FOTOVOLTAICA

Los sistemas fotovoltaicos pueden diseñarse para alimentar carga DC o AC. Los sistemas DC consisten del panel, diodo de by-pass y de bloqueo, regulador de carga, banco de batería y carga. Los sistemas para las cargas AC incluyen adicionalmente un inversor DC- AC.

Figura 29. Componentes de un sistema DC.

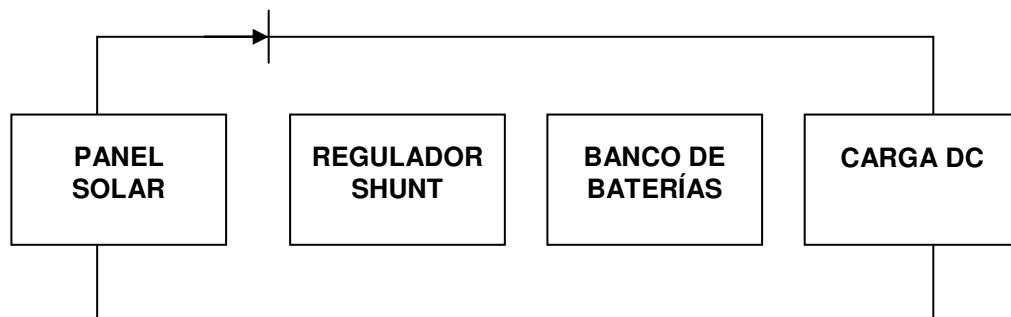
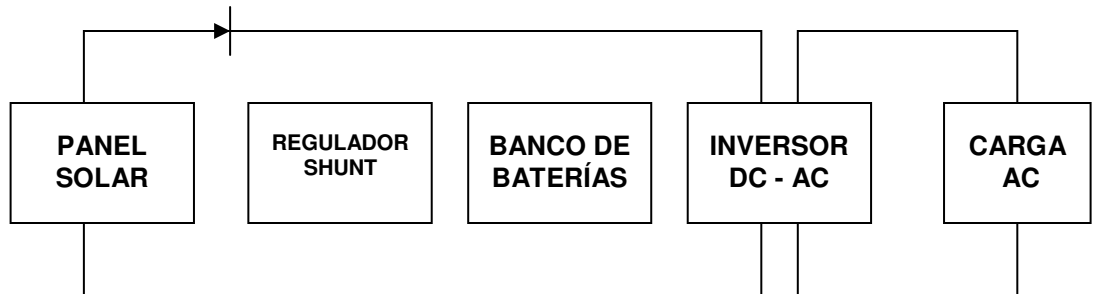


Figura 30. Componentes de un sistema AC.



4.3.1 Acumuladores. Como fácilmente se comprende, la presencia del acumulador es necesaria ya que los paneles solo generan energía eléctrica en los momentos que incide sobre ellos luz (bien sea directa o difusa) pero a menudo dicha energía se requiere precisamente en los momentos en que no existe incidencia luminosa o es demasiado débil.

Además el acumulador cumple también dos importantes misiones:

- Suministrar un potencia instantánea, o durante breves momentos, superior a la que el campo de paneles podría generar aun en los momentos más favorables posibles. Tal es el caso de los arranques de los motores, por ejemplo el de los frigoríficos, que requieren durante unos segundos una potencia varias veces superior a la de su normal funcionamiento.
- Mantener un nivel de tensión estable. Como hemos visto, la tensión de salida del panel varía en función de la intensidad radiante. Lo cual puede no ser adecuado para el funcionamiento de los aparatos. El acumulador proporciona una tensión estable y constante (dentro de un cierto rango) independiente de las condiciones de incidencia luminosa.

Al conectar los bornes del banco de acumuladores a los correspondientes terminales de los paneles (uniendo polos del mismo signo), la tensión de la batería que es aproximadamente constante, determinará la tensión de funcionamiento de los paneles, es decir, en la curva i-v de respuesta eléctrica del panel, la tensión será aquella que la batería le imponga y nunca al revés. Esto significa que al conectar una batería de 12V a un grupo de paneles capaz de suministrar 19V, la tensión de operación de estos será de 12V.

Como la tensión de una batería puede variar más o menos uno o dos volts de su valor nominal según su estado y otros factores, para poder cargar perfectamente una batería de 12V únicamente son necesarios unos 14.5V; este pequeño margen de seguridad es conveniente pues, si la temperatura de trabajo de las células aumenta, la tensión caerá, pero todavía el panel estará en condiciones de cumplir su cometido. Si ajustásemos demasiado la salida máxima teórica de tensión al valor idóneo para cargar la batería en condiciones de temperatura media (por ejemplo 25°C), cuando las condiciones fueran desfavorables el panel no podría generar suficiente energía para introducir corriente en la batería. Este pequeño margen de seguridad supondrá una pequeña pérdida respecto a la potencia máxima que el panel puede teóricamente suministrar y que normalmente se alcanzaría a tensiones algo mayores a las que en realidad trabaja el panel (la tensión que determina la propia batería). Globalmente dicha pérdida puede representar alrededor de un 10% con respecto a la potencia máxima del panel, que de forma más bien optimista, los fabricantes anuncian en su catálogo.

Las clases de baterías que se utilizan para aplicaciones fotovoltaicas son las de níquel-cadmio y las de plomo ácido.

Las primeras son más caras pero ofrecen una excelente fiabilidad y resistencia ya que pueden soportar descargas de hasta el 90% de su capacidad teórica recuperándose totalmente y aguantar temperaturas extremadamente bajas.

El tipo de acumulador mas adecuado para instalaciones fotovoltaicas es el estacionario, apto para servicios semicontinuos o intermitentes sin que se vea en ningún momento forzado a producir intensidades elevadas por cortos periodos de tiempo. Por ejemplo el acumulador de Pb-Sb (plomo antimonio) de placas tubulares es el mas utilizado para instalaciones medias o grandes, ya que admite descargas moderadamente altas, aunque el número de ciclos de carga- descarga, y por tanto la vida útil será mayor cuanto menor sea la profundidad de descarga a la que es regularmente sometido.

Otro tipo de baterías adecuadas para pequeñas instalaciones es la de Pb-Ca (plomo-calcio) que presenta la ventaja de no necesitar mantenimiento y tener baja autodescarga; estas baterías se venden en estructuras compacta tipo monoblocs (como las baterías de automóviles) y su reducido tamaño permite un transporte cómodo, unido esto a su precio relativamente moderado, hace que sean bastante utilizadas en pequeñas instalaciones.

- **Ciclos de carga-descarga de la batería de acumuladores.** Si partimos de una instalación fotovoltaica típica que suministra electricidad para iluminación y otras necesidades básicas de una vivienda, tenemos que durante el día, los paneles generan energía que se empleará, por una parte, en satisfacer los consumos que se efectúen en los momentos coincidentes con los de la producción. La energía sobrante será la que absorberá la batería, a menos que esta se encuentre plenamente cargada, en cuyo caso se disipará en forma de calor o se impedirá el paso de corriente mediante algún dispositivo automático.

Al atardecer y durante la noche, que suelen ser los momentos en los que, debido a necesitarse iluminación artificial, los consumos son mayores, la energía es extraída de la batería, disminuyendo el nivel de carga de esta.

Así, el ciclo carga-descarga se repite diariamente, siempre que la intensidad incidente sea suficiente (días claros o parcialmente nublados)

Cuando se producen dos o más días consecutivos cubiertos de nubes, con una escasa luminosidad, prácticamente todo el consumo se hace a expensas de la energía almacenada en la batería, sin que esta pueda reponer la energía gastada mediante la energía solar.

Terminado el período de condiciones meteorológicas desfavorables y volviendo la intensidad a alcanzar unos valores suficientes, los paneles van cargando la batería hasta su máxima capacidad, operación que tardará varios días en completarse, ya que el consumo diario continúa, haciendo que solo una parte de la energía captada pueda destinarse a ser almacenada. Se completa de esta forma un ciclo autónomo. Llamado así por que la batería depende únicamente de su propia capacidad útil para satisfacer la demanda de energía durante dicho periodo.

La profundidad de descarga en el periodo de autonomía debe ser rigurosamente determinada según el tipo de batería, siguiendo las recomendaciones del fabricante. En ningún caso debe ser superior al 80% (límite para baterías de Ni-Cd y la estacionaria Pb-Sb).

Tabla 5 . Descargas máximas recomendadas (%)

Tipo de batería	Descargas máximas (%)
Plomo-antimonio	80
Plomo/arranque	15-50
Plomo-calcio	60
Níquel-cadmio	90

- **Comportamiento de la batería de acumuladores en una instalación fotovoltaica.** Las intensidades de carga y descarga de una batería en una instalación fotovoltaica son en general muy bajas, por lo que los rendimientos, al haber poca pérdida en calor por efecto Joule y otras causas, son bastantes aceptables, del orden del 90%. Esto quiere decir que de cada 100 Watt que los paneles introducen en la batería se puede esperar razonablemente que esta devuelva al menos 90 Watt utilizables para el consumo.

La tensión en bornes de la batería depende de varios factores los cuales se mencionan a continuación:

Nivel o estado de carga. La tensión disminuye a medida que la batería se descarga, y aumenta, hasta llegar a un máximo (en torno a los 13V para las baterías de 12V de tensión nominal) cuando la batería se carga.

Para obtener una medida fiable de la tensión y por tanto, deducir el estado de carga de la batería, según las curvas de tensión- profundidad de descarga suministrada por el fabricante, sería preciso desconectar la batería para evitar que, durante la medida, estuviese sometida a carga que alterara el resultado de

la misma. Esto no siempre es factible hacerlo, por lo que la indicación del voltímetro cuando la batería esta conectada es una indicación aproximada de su estado de carga.

Velocidad de carga o descarga. Si una batería esta recibiendo una cierta intensidad de carga, la diferencia de potencial entre borne es siempre algo superior a la que tendría si se desconecta la corriente de carga, debido a la resistencia interna de la batería, que siempre supone un obstáculo adicional. Inversamente si la batería esta descargándose, la pequeña caída de potencial debido a su resistencia interna hace que la tensión que se mida en los bornes sea un poco inferior.

Tasa de carga (en baterías de plomo ácido). Cuando las baterías se someten a carga, la corriente recibida disminuye lentamente a medida que la tensión aumenta suavemente hasta que alcanza los 2.3V/celda, tensión a la cual la celda empieza a descomponer el electrolito y a tensiones mayores, la velocidad de descomposición aumenta rápidamente. A esta tensión es necesario interrumpir la carga.

Temperatura de la batería. Al ser de naturaleza química las reacciones internas que tienen lugar en una batería, la temperatura influirá decisivamente sobre las mismas. En efecto, la tensión final recomendado para conseguir que la batería alcance el estado de plena carga debe ser mayor cuanto mas baja sea la temperatura, pues la reacción química se efectuará con mayor dificultad, necesiándose mayor energía para que el proceso se complete. Este hecho es importante, pues según el lugar donde se ubique la instalación, podrá ser necesario corregir la tensión aplicada, en función de la temperatura media que se espera vaya a soportar la batería.

La vida útil de una batería es un parámetro decisivo para elegir un determinado modelo o para evaluar la rentabilidad de una instalación. La vida de una batería se mide en ciclos carga-descarga más bien que en tiempo, al igual que la vida de automóvil se mide en kilómetros recorridos y no en años.

Las instalaciones de energía solar pueden presentar, según los casos, ciclos de periodicidad diaria (iluminación de viviendas). Suponiendo una media de un ciclo por día y si el mantenimiento de la batería es correcto y esta es adecuada para el uso que se le da, la vida útil mínima que debería tener sería de unos 10 años. Las baterías más económicas pueden resultar a la larga más caras, al tener que reemplazarlas en pocos años.

No solamente el número de ciclos influye en la vida de una batería, sino la **Profundidad de descarga media** que se produce en cada uno de ellos. Si esta es moderada, como corresponde, y solo ocasionalmente (durante los ciclos autónomos) se alcanzan comportamientos adecuados; el número de ciclos que soportará la batería será muy grande, llegando a superar el tiempo previsto de vida útil.

Otro factor que influye en la vida útil y en el rendimiento de una batería es la temperatura a la que regularmente va a estar sometida. Si esta es demasiado alta, la reacción química se acelera demasiado y se acorta su tiempo de vida. Si por el contrario, la temperatura es baja, la vida se prolonga pero corre el riesgo de congelación, causando daños irreparables a la batería.

La temperatura mínima histórica del lugar donde vaya a ubicarse la instalación (disminuida en 5⁰C como margen de seguridad) marcará un límite absoluto a la profundidad de descarga que puede tolerarse, y que puede ser inferior a la que se recomendó por otras razones. Este factor debe ser tenido en cuenta por el

proyectista, pues su olvido ha sido causa de muchas averías en instalaciones, al congelarse la batería produce una descarga excesiva.

Cuadro 1. Necesidad de emplear baterías.

Factores en pro	Factores en contra
Demanda de potencia en periodos sin sol	Elevado costo inicial
Cargas que requieren corrientes de arranque elevadas	Requerimiento adicional de espacio
Demanda a tensión constante	Dificultad de proteger la batería de condiciones climáticas externas
Capacidad de almacenar energía generada en exceso a la demanda, reduciendo así las pérdidas por energía	Pérdidas de energía debidas a la ineficiencia de las baterías

4.3.2 Convertidores. Son dispositivos capaces de modificar la tensión y características de la corriente eléctrica que reciben, transformándola de manera que resulte más apta para los usos específicos a que vaya destinada en cada caso.

Los convertidores que reciben corriente continua a una determinada tensión y la transforman en corriente continua pero a un voltaje diferente, reciben la denominación de convertidores CC-CC, y los que transforman corriente continua en alterna se denominan CC-CA.

Las especificaciones mínimas que deben acompañar un convertidor CC-CC son. Las tensiones nominales de entrada y salida, el rendimiento, la sobrecarga admisible y la resistencia a cortocircuito

Los convertidores CC-CA (a veces denominados inversores) permiten transformar la corriente continua de 12V o 24V que producen los paneles y almacena la batería, en corriente alterna de 125V o 220V, como la que normalmente se utiliza en los lugares donde llega la red eléctrica pública convencional. Esto permite usar los aparatos eléctricos habitualmente diseñados para funcionar con este tipo de corriente. La contrapartida que esta transformación lleva acarreada es la inevitable pérdida de energía en el propio convertidor, el cual tiene un rendimiento que en determinadas circunstancias de trabajo es bastante pequeño.

Es importante exigir que el convertidor tenga unas determinadas especificaciones que lo hagan apto para su empleo en instalaciones solares:

- ♣ Capacidad de resistir potencia punta, como la producida en los arranques de los motores, durante breves momentos sin que se colapse el dispositivo inversor.

- ♣ Una eficiencia razonable. Se debe exigir, como mínimo, que el rendimiento de un convertidor senoidal sea del 70% trabajando a una potencia igual al 20% de la nominal y del 85% cuando trabaje a una potencia superior al 40% de la nominal.

- ♣ Estabilidad de la tensión. Debe mantener una tensión de salida para el circuito de consumo aproximadamente constante, con independencia de la potencia demandada en cada momento. Son admisibles variaciones hasta de un 5%

- ♣ Baja distorsión armónica. Este parámetro se refiere a la calidad de la onda producida. Los componentes parásitos de dicha onda son parcialmente eliminados mediante filtros electrónicos, aunque durante este proceso se pierde algo de potencia útil.
- ♣ Posibilidad de poder ser combinado en paralelo. Esto permite un posible crecimiento de la instalación y de la potencia de consumo.
- ♣ Arranque automático. Deben ser capaces de conectarse automáticamente cuando detecten una determinada energía por encima de un nivel umbral previamente fijado.
- ♣ Seguridad. Deberán estar dotados de protección contra cortocircuitos, sobrecarga e inversión de polaridad, así como un mecanismo de desconexión por falta de carga.

Todos los tipos de convertidores tienen un pequeño consumo adicional (especificado por el fabricante) que hay que tener en cuenta en los cálculos además de provocar unas pérdidas por rendimiento de alrededor del 15%.

4.3.3 Reguladores. Los paneles fotovoltaicos se diseñan para que puedan producir una tensión de salida de algunos volts superior a la tensión que necesita una batería para cargarse. Esto se hace así para asegurar que el panel siempre estará en condiciones de cargar la batería, incluso cuando la temperatura de la célula sea alta y se produzca una disminución de la tensión generada.

El inconveniente de esta ligera sobretensión es que al llegar la batería a su estado de plena carga, no alcanzara el potencial máximo que el panel teóricamente puede lograr y este seguirá intentando inyectar energía a través de los bornes de la batería, produciendo una sobrecarga perjudicial para la misma, la cual, si no es evitada, puede llegar a destruirla.

El regulador tiene la misión de regular la corriente que absorbe la batería con el fin de que en ningún momento pueda esta sobrecargarse peligrosamente, pero al mismo tiempo, evitando en lo posible que deje de aprovechar energía captada por los paneles. Para ello, el regulador mediante dispositivos electrónicos, debe detectar y medir constantemente la tensión que será una indicación del estado de carga de la batería y si este llega al valor previamente establecido correspondiente a la tensión máxima admisible, actuar de forma que impida que la corriente siga fluyendo hacia la batería, o bien que fluya únicamente la justa para mantenerla en estado de plena carga, pero sin sobrepasarse.

- **Necesidad del regulador.** El regulador, como elemento de seguridad y protección de la batería, siempre es recomendable, sin embargo existen unos casos en que puede resultar prescindible.

En instalaciones en que la relación entre la potencia de los paneles y la capacidad de la batería es muy pequeña (caso de baterías sobredimensionada por razones de seguridad), la corriente de carga difícilmente podrá llegar a producir daños en la batería

Una regla empírica que marca el límite entre la necesidad o no de utilizar regulador es la siguiente: si la potencia del campo de paneles en watts es menor que una centésima de la capacidad de la batería medida en watts-hora, puede prescindirse del regulador.

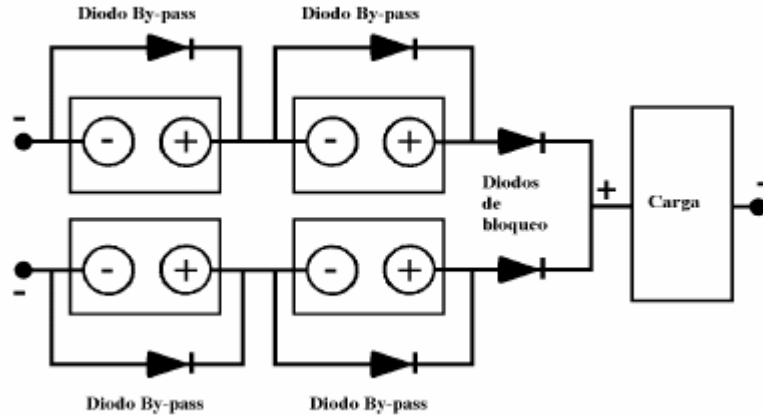
4.3.4 Diodos by-pass y de bloqueo.

- **Diodos By-Pass.** Se emplean para proteger módulos individuales del daño que puede ocurrir por efecto del sombreado parcial sobre un módulo.

Cuando se presenta el sombreado parcial, la célula o grupos de células afectadas no conducen interrumpiendo la corriente en todo el módulo y en el tramo de módulos en serie.

Los diodos cortocircuitan el módulo permitiendo el flujo de corriente lo cual trae consecuencias de descompensación de tensión, pero que son menos graves que la interrupción de la corriente.

Figura 31 .Instalación de diodos by-pass en un sistema Fotovoltaico.



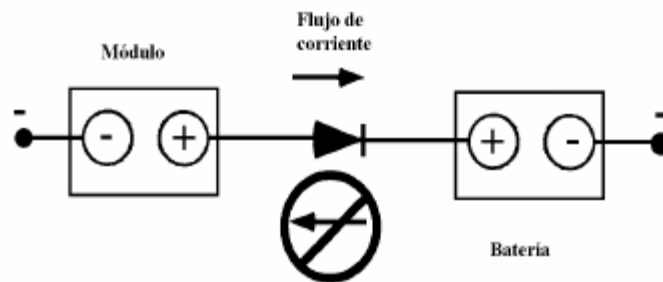
Fuente: Estudio del régimen del brillo solar en Colombia. Bogota: Universidad Nacional, 1990

- **Diodos de bloqueo.** Los diodos de bloqueo previenen la descarga de la batería a través de los módulos durante la noche y la inversión de corriente que puede ocurrir en un arreglo de varias series en paralelo, cuando una de estas series es parcialmente sombreada.

Estos se emplean en sistemas con baterías y módulos conectados en series.

En sistemas con baterías conectadas a los módulos, durante la noche, la tensión en los bornes genera una corriente inversa en el módulo que disipa potencia y descarga la batería. El diodo bloquea este flujo de corriente.

Figura 32. Instalación de diodos de bloqueo en un sistema fotovoltaico simple.



Fuente: Estudio del régimen del brillo solar en Colombia. Bogota: Universidad Nacional, 1990

4.4 ANALISIS SOLAR PARA EL MEDIO COLOMBIANO

Las diferentes aplicaciones de la energía solar requieren como información básica la disponibilidad del recurso. El desarrollo de este capítulo tiene por interés compilar esta información caracterizando la energía solar sobre puntos importantes del territorio colombiano durante todos los meses del año.

4.4.1 Fundamentos, Características, Medición y Métodos de Estimación.

Se estudiarán las características de la radiación solar, los factores que la afectan, su medición y los métodos de estimación de la energía solar sobre las superficies.

4.4.2 Medición de la radiación y brillo solar. Los instrumentos empleados en la medición de la radiación y brillo solar son los siguientes:

- ♣ Pirheliómetros para la medición de la radiación solar directa.
- ♣ Piranómetros para la medición de la radiación solar global.
- ♣ Instrumentos para la medición de la duración del brillo solar, esto es, para medir el tiempo durante el cual el sol no está oculto por las nubes (miden el número de horas al día durante el cual la intensidad de la radiación solar directa es superior a 120 W/m^2).

- **Pirheliómetros.** Son instrumentos empleados para medir la intensidad a incidencia normal de la radiación solar directa emitida por el disco solar. El pirheliómetro de incidencia normal se emplea en Colombia en pocas estaciones climáticas. El sensor consiste de una termopila de cobre-constantan con una superficie caliente de nueve milímetros de diámetro. La lectura se puede realizar con un voltímetro digital; este instrumento requiere de un seguidor de sol, es decir un dispositivo que le permite seguir el sol durante su movimiento diurno.

- **Piranómetros.** El instrumento mas ampliamente utilizado en Colombia por el IDEAM, el cual tiene la capacidad de registrar la información y es de bajo costo. La precisión de los valores de la radiación global que se obtienen con este instrumento es del orden de $\pm 10\%$. Actualmente se emplean piranómetros con celdas solares. Tienen la gran ventaja de tener una respuesta instantánea a los cambios de radiación y ser más baratos. Sin embargo tiene el problema de la selectividad de la respuesta y deben ser compensados en temperatura.

- **Estimación de la radiación solar sobre superficies horizontales.** La determinación de las características de la radiación solar en una localidad se puede hacer de manera directa, instalando aparatos de medición debidamente calibrados y durante largos períodos de tiempo.

Los promedios horarios, diarios, mensuales, etc, se calculan estadísticamente. Cuando lo anterior no es posible se recurre a métodos indirectos

- **La Radiación solar global disponible en una localidad.** Esta se caracteriza por los siguientes promedios:

Promedio diario mensual para el mes j y el año k:

$$H_{jk} = (1/i) \sum (H_{ijk}) \text{ desde } i=1 \text{ hasta } i$$

Promedio diario mensual multianual par el mes j

$$H_j = (1/n) \sum (H_{ijk}) \text{ desde } k=1 \text{ hasta } n$$

Promedio diario anual multianual:

$$H = (1/12) \sum (H_{ijk}) \text{ desde } j=1 \text{ hasta } 12$$

En donde H_{ijk} es la radiación global del día i-esimo del mes j-esimo del año k-esimo, i es le numero del día del mes j y n es el número de años considerados.

Radiación solar global empleando métodos indirectos. Los métodos indirectos son de dos tipos.

- ♣ Métodos computacionales que simulan con modelos físicos las diferentes interacciones de la radiación solar con la atmósfera (dispersión, absorción y reflexión) y con los cuales se puede obtener el valor de la radiación en la superficie terrestre a partir del valor de la radiación solar.

- ♣ Métodos empíricos que estiman el valor de la radiación solar a partir de modelos estadísticos elaborados con información de otras variables climatológicas. El brillo solar es el estimador más significativo de la radiación solar. Debido al gran número de estaciones que miden esta variable en el mundo, se ha podido elaborar mapas de la distribución espacial y temporal de la disponibilidad de la energía solar

En las tablas siguientes se muestran los valores de la radiación solar global promedio diario de las estaciones ubicadas en las áreas metropolitanas de las principales ciudades del país y las estaciones más importantes del departamento de Santander. Es de resaltar que el país cuenta con 264 estaciones de información de radiación y brillo solar a lo largo de todo el territorio nacional y que también existe un programa desarrollado por la Universidad Nacional que permite estimar la radiación y el brillo solar de localidades donde no hay estaciones.

5. MAQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA

Los Motores y Generadores eléctricos, son un grupo de aparatos que se utilizan para convertir la energía mecánica en eléctrica, o a la inversa respectivamente, por medios electromagnéticos. A una máquina que convierte la energía mecánica en eléctrica se le denomina generador, alternador o dínamo, y a una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica se le denomina motor.

Dos principios físicos relacionados entre sí sirven de base al funcionamiento de los generadores y de los motores. El primero es el principio de la inducción descubierto por el científico e inventor británico Michael Faraday en 1831. Si un conductor se mueve a través de un campo magnético, o si está situado en las proximidades de un circuito de conducción fijo cuya intensidad puede variar, se establece o se induce una corriente en el conductor. El principio opuesto a éste fue observado en 1820 por el físico francés André Marie Ampère. Si una corriente pasaba a través de un conductor dentro de un campo magnético, éste ejercía una fuerza mecánica sobre el conductor.

La máquina dinamoeléctrica más sencilla es la dinamo de disco desarrollada por Faraday, que consiste en un disco de cobre que se monta de tal forma que la parte del disco que se encuentra entre el centro y el borde quede situada entre los polos de un imán de herradura. Cuando el disco gira, se induce una corriente entre el centro del disco y su borde debido a la acción del campo del imán. El disco puede fabricarse para funcionar como un motor mediante la aplicación de un voltaje entre el borde y el centro del disco, lo que hace que el disco gire gracias a la fuerza producida por la reacción electromagnética.

El campo magnético de un imán permanente es lo suficientemente fuerte como para hacer funcionar un solo dínamo pequeño o motor. Por ello, los electroimanes se emplean en máquinas grandes. Tanto los motores como los generadores tienen dos unidades básicas: el campo magnético, que es el electroimán con sus bobinas; y la armadura, que es la estructura que sostiene los conductores que cortan el campo magnético y transporta la corriente inducida en un generador, o la corriente de excitación en el caso del motor. La armadura es por lo general un núcleo de hierro dulce laminado, alrededor del cual se enrollan en bobinas los cables conductores.

La corriente continua presenta grandes ventajas, entre las cuales está su capacidad para ser almacenada de una forma relativamente sencilla. Esto, junto a una serie de características peculiares de los motores de corriente continua, y de aplicaciones de procesos electrolíticos, tracción eléctrica, entre otros, hacen que existen diversas instalaciones que trabajan basándose en la corriente continua.

Los generadores de corriente continua son las mismas máquinas que transforman la energía mecánica en eléctrica. No existe diferencia real entre un generador y un motor, a excepción del sentido de flujo de potencia. Los generadores de corriente continua se clasifican según el método que usan para proporcionar corriente de campo que excite los imanes del mismo. Un generador de excitación en serie tiene su campo en serie respecto a la armadura. Un generador de excitación en derivación, tiene su campo conectado en paralelo a la armadura. Un generador de excitación combinado tiene parte de sus campos conectados en serie y parte en paralelo. Los dos últimos tipos de generadores tienen la ventaja de suministrar un voltaje relativamente constante, bajo cargas eléctricas variables. El de excitación en serie se usa sobre todo para suministrar una corriente constante a voltaje variable.

Un magneto es un generador pequeño de corriente continua con un campo magnético permanente.

Un dínamo es una máquina eléctrica que produce energía eléctrica en forma de corriente continua aprovechando el fenómeno de inducción electromagnética. Para ello está dotada de un armazón fijo (estator) encargado de crear el campo magnético en cuyo interior gira un cilindro (rotor) donde se crearán las fuerzas electromotrices inducidas.

- ♣ **Estator.** Consta de un electroimán encargado de crear el campo magnético fijo conocido por el nombre de inductor.

- ♣ **Rotor.** Es un cilindro donde se enrollan bobinas de cobre, que se hace girar a una cierta velocidad cortando el flujo inductor y que se conoce como inducido.

5.1. FUNDAMENTOS DE LAS MÁQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA

La mayoría las máquinas de corriente continua son semejantes a las máquinas de corriente alterna ya que en su interior tienen corrientes y voltajes de corriente alterna. Las máquinas de corriente continua tienen corriente continua sólo en su circuito exterior debido a la existencia de un mecanismo que convierte los voltajes internos de corriente alterna en voltajes corriente continua en los terminales. Este mecanismo se llama colector, y por ello las máquinas de corriente continua se conocen también como máquinas con colector.

5.1.1 Partes básicas de las máquinas de corriente continua reales. La máquina de corriente continua consta básicamente de las partes siguientes:

- **Inductor.** Es la parte de la máquina destinada a producir un campo magnético, necesario para que se produzcan corrientes inducidas, que se desarrollan en el inducido. El inductor consta de las partes siguientes:

Pieza polar. Es la parte del circuito magnético situada entre la culata y el entrehierro, incluyendo el núcleo y la expansión polar.

Núcleo. Es la parte del circuito magnético rodeada por el devanado inductor.

Devanado inductor. Es el conjunto de espiras destinado a producir el flujo magnético, al ser recorrido por la corriente eléctrica.

Expansión polar. Es la parte de la pieza polar próxima al inducido y que bordea al entrehierro.

Polo auxiliar o de conmutación. Es un polo magnético suplementario, provisto o no, de devanados y destinado a mejorar la conmutación. Suelen emplearse en las máquinas de mediana y gran potencia.

Culata. Es una pieza de sustancia ferromagnética, no rodeada por devanados, y destinada a unir los polos de la máquina.

- **Inducido.** Es la parte giratoria de la máquina, también llamado rotor. El inducido consta de las siguientes partes:

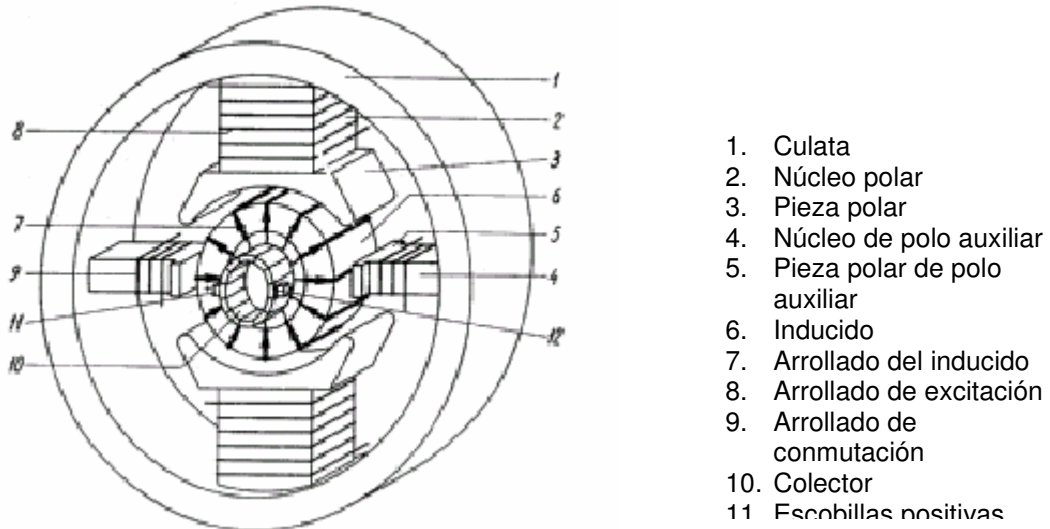
Devanado inducido. Es el devanado conectado al circuito exterior de la máquina y en el que tiene lugar la conversión principal de la energía.

Colector. Es el conjunto de láminas conductoras (delgas), aisladas unas de otras, pero conectadas a las secciones de corriente continua del devanado y sobre las cuales frotan las escobillas.

Núcleo del inducido. Es una pieza cilíndrica montada sobre el cuerpo (o estrella) fijado al eje, formada por un núcleo de chapas magnéticas. Las chapas disponen de unas ranuras para alojar el devanado inducido.

- **Escobillas.** Son piezas conductoras destinadas a asegurar, por contacto deslizante, la conexión eléctrica de un órgano móvil con un órgano fijo.
- **Entrehierro.** Es el espacio comprendido entre las expansiones polares y el inducido; suele ser normalmente de 1 a 3 mm, lo imprescindible para evitar el rozamiento entre la parte fija y la móvil.
- **Cojinetes.** Son las piezas que sirven de apoyo y fijación del eje del inducido.
- **Diagrama de una máquina de corriente continua.** Los componentes de la máquina de corriente continua se pueden apreciar claramente en la figura 33.

Figura 33. Partes internas de la maquina



Fuente: www.monografias.com Máquinas Eléctricas

La parte de 1 a la 5 forma el inductor. En conjunto las partes 2 y 3 se designan por polo inductor.

La parte 6 constituye el inducido, al que va arrollado un conductor de cobre formando el arrollamiento del inducido.

Alrededor de los núcleos polares, va arrollando, en forma de hélice, el arrollamiento de excitación (8). Análogamente cada núcleo de los polos de conmutación lleva un arrollamiento de conmutación (9). La parte 10 representa el conmutador o colector, que esta constituido por varias láminas aisladas entre sí, formando un cuerpo cilíndrico.

El arrollamiento del inducido está unido por conductores con las láminas del colector; inducido y colector giran conjuntamente. Sobre la superficie del colector rozan unos contactos a presión mediante unos muelles. Dichas piezas de contacto se llaman escobillas. El espacio libre entre las piezas polares y el inducido se llama entrehierro.

5.1.2 Clasificación de Generadores de Corriente Continua

- **Generador con excitación independiente.** En este tipo de generador, la tensión en los bornes es casi independiente de la carga de la máquina y de su velocidad, ya que la tensión se puede regular por medio del reóstato de campo, aunque naturalmente, dentro de ciertos límites, porque la excitación del campo inductor no puede aumentar más allá de lo que permite la saturación.

Cuando en la red están acopladas baterías de acumuladores se cierran primero los interruptores de alimentación de las baterías, pero el interruptor general del generador, se cerrará solamente cuando éste haya alcanzado una tensión en bornes igual a la tensión del sistema, para lo que ha de disponerse de un voltímetro que mida esta tensión; si no se tomase ésta precaución, las baterías descargarían sobre el generador el cual, funcionando como motor, tendería a arrastrar a la máquina motriz. Si el generador está provisto de un interruptor automático de mínima (lo que es conveniente, para evitar que las baterías se descarguen sobre él), es necesario conectarlo antes de la puesta en marcha y desconectarlo cuando la máquina está todavía en funcionamiento, antes de la parada de ésta.

- **Generador con excitación en paralelo (shunt).** El generador con excitación shunt suministra energía eléctrica a una tensión aproximadamente constante, cualquiera que sea la carga, aunque no tan constante como en el caso del generador con excitación independiente. Cuando el circuito exterior está abierto, la máquina tiene excitación máxima porque toda la corriente producida se destina a la alimentación del circuito de excitación; por lo tanto, la tensión en bornes es máxima. Cuando el circuito exterior está cortocircuitado, casi toda la corriente producida pasa por el circuito del inducido y la excitación es mínima, la tensión disminuye rápidamente y la carga se anula. Por lo tanto, un cortocircuito en la línea no compromete la máquina, que se desexcita automáticamente, dejando de producir corriente. Esto es una ventaja sobre el generador de excitación independiente en donde un cortocircuito en línea puede producir graves averías en la máquina al no existir éste efecto de desexcitación automática.

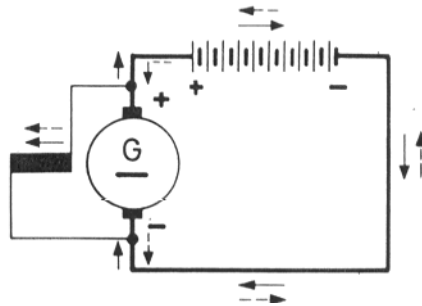
Respecto a los generadores de excitación independiente, los generadores shunt presentan el inconveniente de que no pueden excitarse si no están en movimiento, ya que la excitación procede de la misma máquina.

Los generadores shunt se recomiendan cuando no haya cambios frecuentes y considerables de carga o bien cuando haya elementos compensadores, tales como generadores auxiliares, baterías de acumuladores, entre otros.

Si existen acumuladores como reserva o para servicios auxiliares también se recomienda este tipo de generador, ya que la máquina no corre el peligro de que se invierta la polaridad del circuito de excitación; en efecto, cuando el generador carga la batería la corriente tiene el sentido de la flecha de línea continua, y atraviesa la batería desde el polo positivo al polo negativo. Si por una causa accidental (por ejemplo, una pérdida de velocidad en el generador), disminuye la tensión de la máquina y queda inferior a la de la batería, la

corriente suministrada por la batería, atraviesa la máquina en sentido opuesto, entrando por el borne positivo y saliendo por el negativo, pero en el circuito de excitación circula en el mismo sentido de la corriente producida cuando la máquina funcionaba como generador; en consecuencia, la máquina funciona ahora como motor, y continúa girando en el mismo sentido que tenía antes, cuando funcionaba como generador. De lo dicho, puede deducirse fácilmente, que el generador shunt puede acoplarse en paralelo sin peligro con otros generadores, aún en el caso de que por causa de una avería accidental en el regulador de la máquina motriz, un generador sea conducido como motor por otro generador.

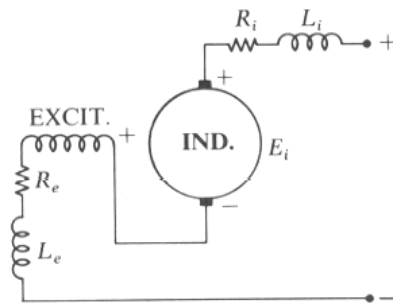
Figura 34. Carga de una batería de acumuladores con un generador de excitación shunt



Fuente: www.monografias.com Máquinas Eléctricas

- **Generador con excitación en serie.** La excitación de un generador en serie se lleva a cabo cuando los devanados de excitación y del inducido se conectan en serie y por lo tanto la corriente que atraviesa el inducido en este tipo de generador es la misma que la que atraviesa la excitación. Este último devanado, está constituido por pocas espiras con hilo conductor de gran sección, pues la f.e.m. necesaria para producir el campo principal se consigue con fuertes corrientes y pocas espiras.

Figura 35. Conexión con excitación en serie.



Fuente: www.monografias.com Máquinas Eléctricas

- **Generador con excitación compound.** El generador con excitación compound tiene la propiedad de que puede trabajar a una tensión prácticamente constante, es decir, casi independiente de la carga conectada a la red, debido a que por la acción del arrollamiento shunt la corriente de excitación tiende a disminuir al aumentar la carga, mientras que la acción del arrollamiento serie es contraria, o sea, que la corriente de excitación tiende a aumentar cuando aumente la carga. Eligiendo convenientemente ambos arrollamientos puede conseguirse que se equilibren sus efectos siendo la acción conjunta una tensión constante cualquiera que sea la carga. Incluso, se puede obtener dimensionando convenientemente el arrollamiento serie, que la tensión en bornes aumente si aumenta la carga, conexión que se denomina hipercompound y que permite compensar la pérdida de tensión en la red, de forma que la tensión permanezca constante en los puntos de consumo.

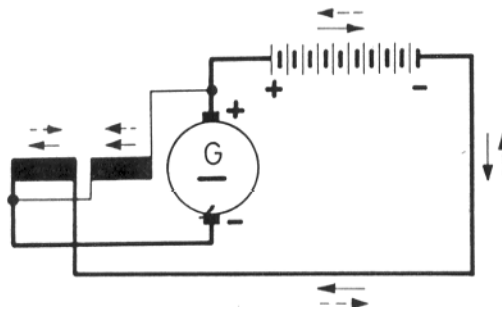
El generador compound tiene la ventaja, respecto al generador shunt, de que no disminuye su tensión con la carga, y, además, que puede excitarse aunque no esté acoplado al circuito exterior, tal como vimos que sucedía en el generador shunt. Durante la puesta en marcha, funciona como un generador shunt una vez conectado al sistema, la tensión en bornes del generador shunt,

tendería a disminuir si no fuera por la acción del arrollamiento serie, que compensa esta tendencia. Es decir, que el arrollamiento serie sirve para regular la tensión del generador, en el caso de que la resistencia exterior descienda más allá de cierto límite.

Un generador compound no puede utilizarse para cargar baterías de acumuladores.

En la Figura 36 se observa que si la contra tensión de la batería es mayor que la tensión en bornes del generador, la corriente en el circuito tiene el sentido indicado por la flecha de puntos, y por lo tanto, pasa en sentido contrario por la excitación en serie; si esta corriente es mayor que la correspondiente al arrollamiento shunt, estando también invertida la polaridad del inducido, mientras que el sentido de rotación permanece invariable, el generador está en serie con la batería lo que facilita la descarga peligrosa.

Figura 36. Carga de una batería de acumuladores con un generador de excitación compound.



Fuente: www.monografias.com Máquinas Eléctricas

- **Regulación de la Tensión en Generadores de Corriente Continua.**

La necesidad de mantener la tensión en bornes de un generador dentro de unos márgenes determinados surge en los generadores con excitación en paralelo o mixta. Esto se debe a que este tipo de generadores son utilizados como fuentes de tensión constante en los sistemas de potencia con corriente continua, y se hace necesario que la tensión en los mismos varíe lo menos posible cuando lo hace la carga conectada a los mismos.

La tensión en bornes de un generador en paralelo viene dada por:

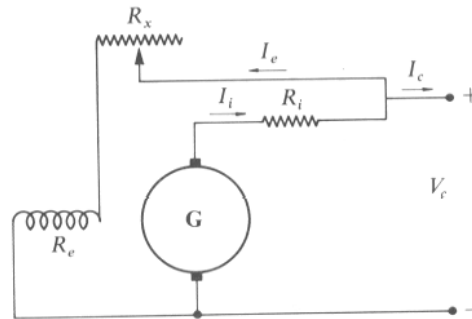
$$V_c = kn\phi - R_i I_i$$

$$kn\phi = \text{f.e.m.}$$

La tensión V_c varía básicamente, o porque la carga conectada se modifica, y por tanto varía I_i , o porque la velocidad de arrastre del generador (n) no es constante, por ambas cosas a la vez. Para mantener la tensión constante en un valor, o dentro de un margen, se hace necesario actuar sobre ϕ .

Aumentando ϕ se compensarán las caídas de tensión, y disminuyendo ϕ se compensarán las elevaciones de tensión. Esta variación se consigue haciendo pasar más o menos intensidad por el devanado de excitación. Una forma fácil de conseguirlo es intercalando una resistencia variable en la rama del devanado de excitación, como se indica en la Figura 37. Cuanto mayor sea el valor de R_x , más pequeña será la intensidad de excitación I_e , y viceversa para valores pequeños o nulos de R_x , la corriente I_e aumentará.

Figura37. Esquema del funcionamiento del sistema de regulación de tensión mediante R_x



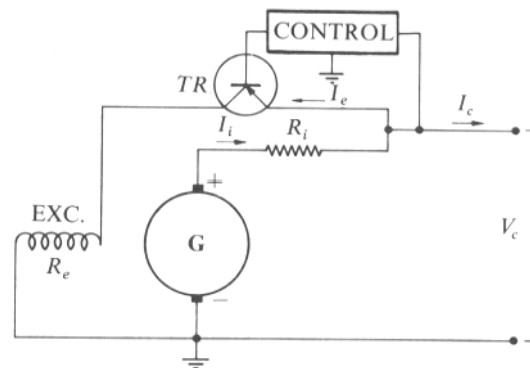
Fuente: www.monografias.com Máquinas Eléctricas

La variación de R_x en los reguladores de tensión reales de los generadores de corriente continua se consigue de una manera automática con el siguiente procedimiento, denominado regulación electrónica.

El sistema electrónico de regulación de tensión de generadores de corriente continua consiste en controlar la intensidad media de excitación por dispositivos de estado sólido, tal como un transistor de potencia. En la Figura 38 se representa un esquema sencillo de este procedimiento. La corriente de excitación es controlada por el transistor TR, según la tensión de base. El circuito de control toma señal de la tensión de salida y, según sea su valor, proporciona la tensión de base adecuada para que la corriente de excitación sea la necesaria para mantener la tensión constante. Este sistema, al no contener partes móviles, es, a la vez robusto y de mantenimiento nulo. Únicamente hay que procurar la refrigeración adecuada del transistor para asegurar su correcto funcionamiento.

La regulación que se obtiene es mucho más precisa que en los casos anteriores, pudiendo llegar a ser del orden del $\pm 1\%$ de la tensión nominal. Este sistema es el que se está utilizando con mayor promoción en las instalaciones, tanto de automóviles, como de aviones. Los circuitos de control y el transistor van cubiertos en un mismo bloque, siendo sólo visibles, exteriormente, los terminales correspondientes.

Figura 38. Esquema de sistema de regulación de tensión de un generador por transistor.



Fuente: www.monografias.com Máquinas Eléctricas

5.1.3 Pérdidas y eficiencia

- **Pérdida I^2R de cobre de armadura.** Cuando no se puede medir directamente la resistencia de estos devanados se puede aplicar la tabla de especificaciones que suministran los fabricantes. A 75°C la resistividad de cobre es $8.25 \times 0.000679 \Omega/\text{pulg}$. Por lo tanto, para un devanado de armadura de Z conductores, cada uno con una longitud de $\text{MLT}/2$ (la mitad de una vuelta de longitud media de la bobina), cada uno con un área de sección transversal de A y dispuestos en varios circuitos paralelos, la resistencia es:

$$R^a = Z \frac{MLT * 8,25 \cdot 10^{-7}}{2A(\text{circuitos})^2} \text{ ohms}$$

La MLT (vuelta de longitud media) se encuentra mejor por diseño, pero un valor aproximado es:

$$MLT = 2[(1.35) (\text{paso polar}) + (\text{longitud de rotor}) \times 3].$$

También hay pérdidas de corriente parásita en las bobinas del rotor, pero éstas pueden mantenerse al mínimo por el entramado de conductor; en la pérdida de carga se incluye una tolerancia para estas pérdidas.

- **Pérdidas I^2R de campo de compensación, de conmutación y serie.** Las pérdidas I^2R se encuentran fácilmente cuando se conoce la resistencia de las bobinas. Su MLT se encuentra en diagramas. A 75 °C.

$$R = T \frac{MLT}{A} \frac{8,25 \cdot 10^{-7}}{(\text{circuitos})^2} p \text{ ohms}$$

En donde R es la resistencia de campo en ohms, T es el número de vueltas por bobina, p es el número de polos, MLT es la longitud media de vuelta y A es el área del conductor. El total de estas pérdidas oscila entre 60 y 100% de la I^2R de armadura para máquinas compensadas y es menor que 50% para máquinas no compensadas.

- **Pérdidas I^2R de carbones.** Esta pérdida es ocasionada por la corriente de carga que pasa por la caída de voltaje de contacto entre los carbones y el conmutador. La caída de contacto se supone que es un voltio.

$$\text{Pérdida } I^2 R \text{ del carbón} = 2 (\text{amperes de línea}) \text{ watts}$$

- **Pérdida de carga.** La presencia de corriente de carga en los conductores de armadura resulta en distorsiones de flujo alrededor de las ranuras, en el entrehierro y las caras polares. Estas distorsiones causan pérdidas en los conductores y en el hierro que son difíciles de calcular y medir. Se ha fijado un valor estándar en 1% de la salida de máquina.
- **Pérdida de campo en derivación.** Los cálculos de calentamiento se relacionan sólo con la pérdida $I^2 R$ cobre de campo. Se acostumbra, sin embargo, cargar la máquina con cualesquiera pérdidas de reóstato al determinar la eficiencia.

$$\text{Pérdida de reóstato y campo en derivación} = I_f V_{ex} \text{ (watts)}$$

En donde I_f es la corriente total de campo y V_{ex} es el voltaje de excitación.

- **Pérdida de núcleo.** El flujo en cualquier porción de la armadura pasa por $p/2.c/r$ (ciclos por revolución) o por $(p/2)[(r/\text{min})/60]$ Hz.

Las pérdidas de hierro están formadas por la pérdida de histéresis, que es igual a $K.\beta^{1.6}fw*0.5$ watts, y la pérdida de corriente de remolino, que es igual a $K_e.(\beta ft*2.5)^2 w*0.5$ watts. K es la constante de histéresis del hierro usado, K_e es una constante inversamente proporcional a la resistencia eléctrica del hierro, β es la densidad máxima de flujo en líneas por pulgada cuadrada, f es la frecuencia en hertz, w es el peso en gramos, y t es el grueso de las laminaciones del núcleo en centímetros.

La pérdida de remolino se reduce al usar hierro con resistencia eléctrica tan alta como sea factible. El hierro de muy alta resistencia presenta una tendencia a tener baja permeabilidad de flujo y a ser mecánicamente quebradizo y costoso; raras veces se justifica su uso en máquinas de corriente continua.

La pérdida se mantiene a un valor aceptable mediante el uso de laminaciones delgadas de núcleo, de 0.017 a 0.025 in de grueso.

Aun así, hay otras pérdidas en el núcleo que pueden diferir grandemente incluso en máquinas idénticas y que no se prestan a cálculos. Estas pérdidas son:

- ♣ Pérdida debida al limado de ranuras: Cuando se han ensamblado las laminaciones, se encontrará en algunos casos que las ranuras son ásperas y deben limarse para evitar cortar el aislamiento de bobina. Esto introduce relieves en las laminaciones y tiende a poner en cortocircuito la resistencia interlaminar.

- ♣ Las pérdidas en el cepo (o manguito) sólido, placas de extremo de núcleo y soportes de bobina de flujos de fuga pueden ser considerables.

- ♣ Las pérdidas debidas a distribución no uniforme de flujo en el núcleo de rotor son difíciles de anticipar. Al calcular la densidad de núcleo, se acostumbra suponer distribución uniforme sobre la sección del núcleo. Sin embargo, el flujo toma la trayectoria de menor resistencia y se concentra tras los dientes hasta que la saturación la obliga a pasar en las trayectorias más largas y menos usadas que se encuentran abajo. Como resultado de la concentración, la pérdida de núcleo, que es aproximadamente proporcional al cuadrado de la densidad, es mayor que lo calculado.

Por lo tanto, no es posible predeterminar la pérdida total del núcleo mediante el uso de fórmulas fundamentales. En consecuencia, los cálculos de pérdida de núcleo para nuevos diseños se basan por lo general en los resultados de pruebas en máquinas similares construidas bajo las mismas condiciones.

- **Pérdida por fricción de carbones.** Esta pérdida varía con la condición de la superficie del conmutador. Una máquina típica tiene una pérdida de alrededor de $8 \text{ W}/(\text{in}^2 \text{ de superficie de contacto de carbón})(1000 \text{ ft}/\text{min})$ de velocidad periférica cuando se usa una presión normal de carbón de $2 \frac{1}{2} \text{ lb}/\text{in}^2$.

$$\text{Fricción de carbón} = (8) (\text{área de contacto}) (\text{velocidad periférica}/1000)$$

- **Fricción y resistencia al viento.** La mayor parte de las máquinas de corriente continua grandes usan cojinetes de metal babbitt y muchas máquinas pequeñas utilizan cojinetes de bolas o rodamientos, aun cuando ambos tipos de cojinetes se pueden usar en máquinas de cualquier tamaño. Las pérdidas de fricción de cojinetes dependen de la velocidad, la carga del cojinete y la lubricación. Las pérdidas por resistencia al viento dependen de la construcción del rotor, su velocidad periférica y las restricciones de la máquina al movimiento del aire. Las dos pérdidas se concentran en la mayor parte de los cálculos debido a que no es práctico separarlas durante las pruebas de las máquinas.

5.2. APLICACIONES DE LOS GENERADORES

El campo de aplicación del generador con excitación independiente, es general, siempre que se disponga de una línea independiente de corriente continua. Sin embargo, debe hacerse la advertencia de que estas máquinas “nunca deben trabajar en cortocircuito”, pues existe el peligro de quemarlas; esto procede, según puede comprenderse fácilmente de la independencia entre el circuito inducido y el circuito de excitación. Básicamente, los generadores con excitación independiente tienen, dos aplicaciones típicas: una, como amplificador-multiplicador; y la otra, como tacómetro.

Los generadores con excitación serie ya no se emplean en las centrales. Se emplearon hace ya algún tiempo para la alimentación de grandes circuitos de lámparas de arco, pero estas lámparas han sido sustituidas por otros tipos más modernos, como por ejemplo, las lámparas de xenón. Los generadores con excitación en serie tienen aplicación en aquellas actividades en las que se precise una intensidad prácticamente constante, como puede ser en equipos de soldaduras y en determinados sistemas de alumbrados.

Los generadores compound, tienen aplicación en las centrales para tracción eléctrica que precisan de una tensión constante y en todos aquellos casos en que se haya de contar con variaciones bruscas de carga, como sucede en los talleres con grúas de gran potencia, laminadores, etcétera; suponiendo que no se disponga de sistemas compensadores, y que se desee la mayor constancia posible para la tensión en las barras colectoras. También puede emplearse en pequeñas instalaciones que precisen de tensión constante, sustituyendo al generador shunt, para evitar una vigilancia continua a causa de las variaciones de carga; sin embargo, hay que tener en cuenta que, en este caso, la autorregulación no es perfecta por lo que, en instalaciones de mayor importancia en que se desee una tensión constante sin vigilancia, debe sustituirse el generador compound por otros procedimientos.

Los generadores con excitación mixta (compound) son utilizados en el sistema de generación de energía eléctrica de cc en aviones polimotores, en los que existe un generador para cada motor y se realiza un acoplamiento en paralelo de los mismos para atender a toda la energía eléctrica necesaria.

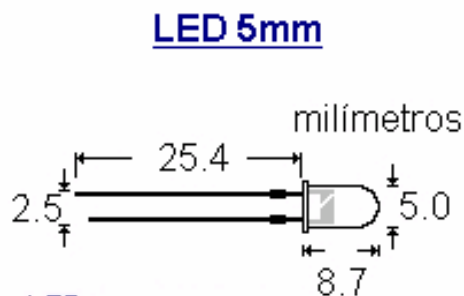
6. CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO DE LAMPARA.

Para iluminar espacios carentes de luz es necesaria la presencia de fuentes de luz artificiales, las lámparas, y aparatos que sirvan de soporte y distribuyan adecuadamente la luz, es decir, las luminarias. De esta forma es posible vencer las limitaciones que la naturaleza impone a las actividades humanas.

6.1 CONFORMACION DE LA MATRIZ DE LEDs .

En cuanto a la geometría de este sistema de iluminación consta de una matriz rectangular de 16 por 3 leds de 5 mm con indicaciones físicas como vemos en la figura 39.

Figura 39. Configuración física.



Fuente. www.electronica.com LEDs.

A continuación de la matriz se haya dispuesta una pantalla con el fin de evitar reflexiones de luz no deseadas en los elementos que compone la lampara (efecto fantasma).

6.2 CONFORMACION ELECTRICA.

Como nuestro prototipo esta constituido principalmente de leds blancos debemos tener en cuenta que estos elementos tienen una caída de voltaje típica de 1.5 a 4.0 voltios para corrientes entre 10 y 50 miliamperios. El valor exacto de la caída de voltaje depende de la corriente ,color, tolerancia, etc., del led. El led utilizado para este diseño tiene las siguientes características ver Tabla 5.

Tabla 5. Especificaciones del led.

REF.	INTENCIDAD DE LUZ EN MILICANDELAS.	AMPLITUD FOCAL.	TEMPERATURA DE COLOR.	INTENCIDAD MAXIMA EN MILIAMPERIOS.	TENSION MEDIA TENCION MAXIMA.	COORDENADA CROMATICA X.	COORDENADA CROMATICA Y.
L-314LWC	1500mC	30°	8000K	30mA	3.4/4.0V	0.27	0.28
L-314LBC	1500mC	20°	8000K	20mA	3.5/4.0V	0.31	0.32
L-314VEC	2000mC	45°	8000K	30mA	3.5/4.0V	0.29	0.29

Se tomó en cuenta este elemento ya que los otros dos elementos emiten luz de color no aptas para iluminación de la compañía PARA light.

6.3 LINEAMIENTO PARA EL DISEÑO.

Un punto importante para este proyecto es la brillantez de los leds pues esta depende de la corriente . Idealmente la mejor forma para controlar la brillantez es excitar el elemento con una fuente de corriente . lo mas parecido a una fuente de corriente es un elevado voltaje de alimentación y una resistencia grande en serie, en este caso la corriente LED esta dada por la ecuación:

$$I = \frac{V_s - V_{LED}}{R_s}$$

Cuanto mayor es el voltaje de la fuente menor es el efecto V_{LED} ; en otras palabras un voltaje V_s grande reduce el efecto de la variación de un voltaje LED.

En el dispositivo L-314LWC que es un LED blanco con una tensión media de 3.4 voltios y una tensión máxima de 4 voltios para una corriente de aproximadamente, 30 mA. vamos a excitar este LED con una fuente de 12 voltios y la resistencia propia del elemento, donde se pudo observar una calidad excelente de brillantes y un funcionamiento en su rango normal. El conjunto completo de leds que forma la lámpara prototipo tiene una potencia consumida de 9 vatios.

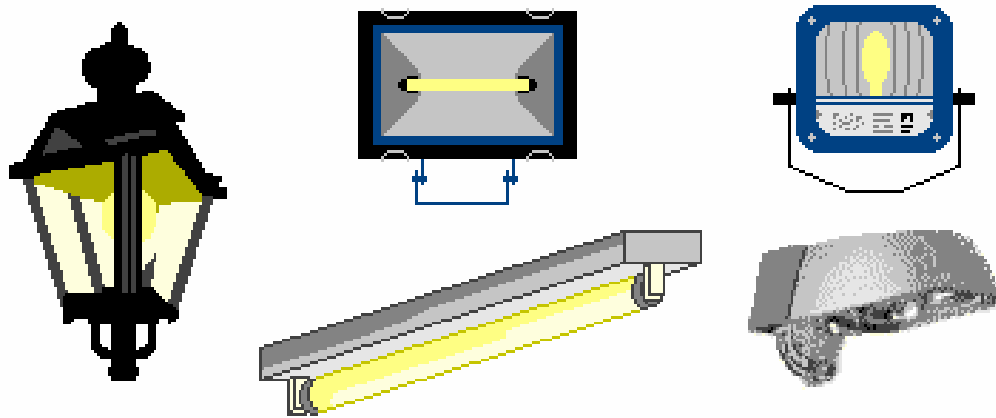
Hay que resaltar que este dispositivo también puede usarse para corriente alterna montándosele un pequeño transformador 120VAC /12 VDC.

6.4 SELECCIÓN DE LA LUMINARIA.

A nivel de óptica, la luminaria es responsable del control y la distribución de la luz emitida por la lámpara. Es importante, pues, que en el diseño de un sistema óptico se cuide la forma y distribución de la luz, el rendimiento del conjunto lámpara-luminaria y el deslumbramiento que pueda provocar en los usuarios.

Otros requisitos que debe cumplir las luminarias es que sean de fácil instalación y mantenimiento. Para ello, los materiales empleados en su construcción han de ser los adecuados para resistir el ambiente en que deba trabajar la luminaria y mantener la temperatura de la lámpara dentro de los límites de funcionamiento. Todo esto sin perder de vista aspectos no menos importantes como la economía o la estética.

Figura 40. Ejemplo de luminarias.



Fuente. www.luminarias.com Lámparas y luminarias.

Para la selección de la luminaria solo se tomó en cuenta un punto, el de las características ópticas de la lámpara ya que esta formada por leds y estos presentan muy buena resistencia a los medios y a otros aspectos exteriores que hicimos referencia en el capítulo 2.

Escogimos la luminarias según el porcentaje del flujo luminoso emitido por encima y por debajo del plano horizontal que atraviesa la lámpara. Es decir, dependiendo de la cantidad de luz que ilumine hacia el techo o al suelo. Según esta clasificación se distinguen seis clases. Ver tabla 6.

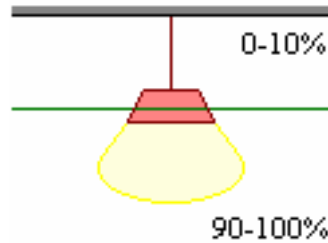
Tabla 6. Clasificación de las luminarias.

	Directa	Semi-directa	General difusa	Directa-indirecta	Indirecta	Semi-indirecta
Techo	0-10%	10-40%	40-60%	40-60%	60-90%	90-100%
Suelo	90-100%	60-90%	40-60%	40-60%	10-40%	0-10%

Fuente. www.luminarias.com. Lámparas y luminarias.

Se seleccionó la luminaria directa para construir nuestra lámpara. (ver figura 41).

Figura 41. Distribución de luz.



Fuente. www.luminarias.com Lámparas y luminarias.

La perspectiva real del prototipo desarrollado en este trabajo se visualiza en las fotos digitales que se encuentran en el anexo B.

6.5 COMPARACIÓN DE FUENTES LUMINOSAS.

Las prestaciones de cualquier fuente luminosa se dividen en cuatro grupos: fotométricas, colorimétricas, eléctricas y de duración.

En las características fotométricas se incluye el flujo luminoso, medido en lúmenes y la eficiencia luminosa en (lm/w). En la tabla 7.

Tabla.7. Características fotometricas.

PROCESO	TECNOLOGIA ELECTRICA	TIPO	POTENCIA w	FLUJO Lm	EFICACIA Lm/W
INCANDECENCIA	LAMPARA DE FILAMENTO CALENTADO POR CORRIENTE ELEC.	INCANDECENTE.	1-2000	6-4000	8-20
		INCANDECENTES CON HALOGENOS.	3-10000	3-220000	18-22
FLUORECENCIA	LAMPARA DE DESCARGA ELCTRICA CON RECUBRIMIENTO EN FOSFORO	FLUORECENTES TUBULARES.	4-215	1000-15500	40-93
		FLUORECENTES COMPACTAS	5-36	250-2900	50-82
ELECTROLUMINICENCIA	LAMPARAS DE DESCARGA ELECTRICA.	VAPOR DE MERCURIO.	50-2000	1800-125000	40-58
		HALOGENUROS METALICOS.	75-3500	5000-300000	60-95
		SODIO ALTA PRESION.	50-1000	3500-130000	66-130
		SODIO BAJA PRESION.	18-180	1800-33000	100-183
ELCTROLUMINICENCIA	LAMPARAS QUE SE LE APLICA CORRIENTE CONTINUA A UN CRISTAL SEMICONDUCTOR TIPO P-N	LED	0.102-0.120	200-300	34-50

*modulo con 48 LEDS .

Se puede deducir en esta tabla, que las características fotométricas de los LEDs son comparables con las de las prestaciones mínimas de lámparas de incandescencia, teniendo en cuenta que en el mercado, con el avance de la tecnología de los últimos dos años han aumentado sustancialmente, previendo casi su inmediata sustitución a lámparas incandescentes y una sustitución parcial en lámparas fluorescentes en iluminaciones interiores.

Respecto a las prestaciones cromáticas de la fuentes de luz, lógicamente se debe hablar de temperatura de color e índice de rendimiento de color, como se ve en la tabla 8.

Tabla 8. Prestaciones cromáticas.

	INCANDESCENCIA	FLUORESCENCIA	L DE DESCARGA	LED (BLANCO).
Temp. Color	2700 K	2700-6000 K	2700-4000 K	8000 K
Ra	100	85-92	80	76-85

Se aprecia como la temperatura de color de la radiación LED blanca es intermedia entre cálida y fría y el rendimiento cromático bastante bueno, únicamente insuficiente cuando se necesita una excelente discriminación de colores. Aunque la tecnología actual ha dado pasos agigantados en este aspecto como vemos en el la tabla anterior.

En cuanto a las prestaciones eléctricas cabe destacar el corto periodo de encendido de los LEDs 10^{-5} sg, comparado con cualquiera de las fuentes convencionales. También cabe destacar el bajo consumo y su versatilidad en cuanto al diseño geométrico.

En la determinación de la duración de cualquier tipo de lámpara es importante conocer los factores que influyen en ella y las causas de los fallos, es decir los motivos por los que normalmente dejen de funcionar. Así mismo deben tenerse muy presentes las causas de la depreciación del flujo luminoso, la Tabla 9 muestra las características de durabilidad de diferentes lámparas.

Tabla 9. Características de durabilidad.

	FALLO	DEPRECIACION	DURACION h	DEPREC . FLUJO
INCANDESCENCIA	ROTURA DE FILAMENTO.	EVAPORACION WOLFRAMIO.	1000	15%
FLUORESCENCIA	MATERIAL EMISOR.	DEGRADACION MATERIAL FLUORECENTE	24000	20%
LAMPARAS DE DESCARGA.	COMPONENTES ELECTRONICOS	DERADACION DEL MATERIAL	60000	30%
LED	ROTURA UNION P-N	TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO.	100000*	5%

- 5% de fallos a las 50.000h.

La degradación en fuentes LED depende de la temperatura de la unión, de la intensidad de corriente empleada y de la técnica de fabricación de la unión. En la tabla se aprecia como los valores de duración y depreciación de flujo de los LEDs son muy favorables respecto a los demás tipos de lámparas dando una gran iniciativa para el estudio futuro del remplazo de muchas de estas lámparas por esta nueva tecnología.

7. DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICO Y GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA CON PAR MANUAL. EJEMPLO DE CALCULOS PARA VIVIENDA RURAL EN EL MUNICIPIO DE SURATA, SANTANDER.

El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico consiste en determinar su capacidad a fin de que satisfaga la demanda de energía. En sistemas aislados, sin sistemas auxiliares de suministro de energía, el sistema fotovoltaico debe atender la demanda con una alta confiabilidad, puesto que en este caso el sistema consiste de la serie: arreglo fotovoltaico, regulador de carga/descarga, banco de baterías y demanda, la confiabilidad del sistema es el producto de la confiabilidad de cada uno de los elementos y por consiguiente, la pobre confiabilidad de uno de ellos implica la pobre confiabilidad de todo el sistema.

7.1. CRITERIO DE PARTIDA.

Lo primero que se debe hacer es definir perfectamente los objetivos de una instalación, atendiendo a las necesidades reales de los futuros usuarios y a sus requerimientos concretos. Para ello, el proyectista debe recabar información de la utilización prevista, no solo inicialmente sino durante los años futuros.

Desde el primer momento, puede darse al usuario la opción de efectuar una instalación modular, prevista de forma que resulte fácil ir añadiendo paneles y acumuladores a medida que las necesidades de este crezcan. Esto resulta algo más caro, pero puede ser interesante siempre que el usuario prevea esta posibilidad. Todos los datos referentes a los consumos previstos deberán recopilarse y anotarse, a fin de proceder a una primera evaluación de los mismos.

Si no se conoce la potencia real de los aparatos, es preciso indagar a través del fabricante o proveedor de los mismos, teniendo además en cuenta que una cosa es la potencia teórica y otra la consumida en la práctica, normalmente esta última es superior debido a la pérdida por rendimiento.

Una vez determinada, teórica o experimentalmente, las potencias consumida por cada aparato, es preciso estimar, y esto ha de hacerse de acuerdo con el usuario, los tiempos medios de utilización diarios y semanales de cada uno de ellos.

En los casos más simples, en los que el consumo es más o menos homogéneo a lo largo del año, pueden establecerse unos tiempos medios diarios que se suponen constantes. En otros supuestos habrá que anotar las irregularidades periódicas o estacionales que pudieran producirse.

7.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MÉTODO DE DIMENSIONAMIENTO.

El método de dimensionamiento se fundamenta en el balance de energía:

La energía generada debe ser igual a la energía demandada más las pérdidas de energías propias de los sistemas fotovoltaicos

Estas pérdidas se producen generalmente por:

- ♣ Pérdidas por de energía en cables de conducción
- ♣ Pérdidas de energía en los módulos por efecto de la temperatura que alcanzan los módulos durante su operación.
- ♣ Pérdidas en el ciclo de carga-descarga de las baterías
- ♣ Pérdidas de energía por autodescarga de las baterías.
- ♣ Pérdidas del regulador de carga e inversores.

7.2.1. Determinación de la demanda o carga. Consiste en conocer las características de la demanda: equipos, potencia requerida, horas/día de operación, demanda diaria de energía, demanda total semanal de energía.

Para los equipos AC se considera también el pico de demanda que se presenta cuando, por ejemplo se prende un motor. Es necesario conocer la carga máxima pico, así como también la carga máxima continua AC para especificar el inversor. La eficiencia del inversor se supondrá del 83% por lo que el factor multiplicador es 1.2. Dato suministrado por el fabricante.

7.2.2. Especificaciones de la tensión de operación. La tensión de operación del sistema es generalmente múltiplo de 12V. Para cargas pequeñas, la tensión es 12V, mientras que para aplicaciones especiales y demandas mayores se emplean tensiones superiores a los 24V. Es importante tener en cuenta la tensión de operación de los equipos individuales.

7.2.3. Determinación de la energía disponible en la localidad. Con frecuencia se emplea la energía solar diaria promedio anual, determinada a partir de la información local o de mapas de radiación. Con el fin de aumentar la confiabilidad del sistema es mejor emplear como dato de radiación solar disponible el correspondiente al mes de más baja energía solar.

7.2.4. Determinación de la capacidad del generador fotovoltaico. Se determina el número de grupos de módulos en paralelo y el número de módulos en serie, necesarios para generar la energía requerida; La capacidad del generador se determina de acuerdo con la carga a utilizar.

7.2.5. Determinación de la capacidad del banco de baterías. Se determina la capacidad total del banco de baterías, su número, su conexión. Se introduce como condiciones financieras típicas de una familia que esté en capacidad de asumir los costos de un sistema fotovoltaico y que al no contar con los servicios de la red pública obtenga un beneficio significativo. El sistema debe proporcionar una independencia en el suministro de energía y autonomía total de funcionamiento durante las 24 horas del día.

Normalmente, las principales aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos están orientadas a satisfacer las necesidades energéticas de locaciones en las cuales no es posible acceder a la red pública o, si existe, la calidad del servicio no es aceptable, por ejemplo, pueblos donde no hay electrificación y, pueblos que tienen el servicio unas cuantas horas al día.

7.3. CÁLCULO TIPO.

7.3.1. Sistema DC. Se realiza el estudio con base en una carga conformada por cinco lámparas con tecnología WLED, y una grabadora con lo cual se le brinda a los usuarios un mejoramiento del nivel de vida.

7.3.2. Datos de la carga.

Tabla 10. Datos de carga.

Equipo DC	Cantidad	Carga (W)	Horas uso/día	Carga(W-h/día)
Luminaria	5	9	5	225
Grabadora	1	10	5	50
Total	6	19	10	275

7.3.3. Datos generales.

Tabla 11. Datos generales.

Tensión DC nominal del sistema	12	(V)
Radiación solar de la localidad	3.81	Kwh/m ² /día
Factor de seguridad	1.18	
Días de reserva	3	

7.3.4. Datos de placa, del modulo seleccionado (SIEMENS SM75).

Suministrado por el fabricante.

Tabla 12. Datos de placa del modulo.

Tensión DC nominal	17	(V)
Potencia	75	(W)
Corriente pico	4.4	(A)

7.3.5. Datos de la batería seleccionada (DINASTY MPS 12-88).

Tabla 13. Datos batería.

Tensión DC nominal	12	(V)
Capacidad nominal	88	(A-h)
Profundidad de descarga	0.8	

7.3.6. Carga DC total diaria. Este valor se obtiene multiplicando la potencia nominal de cada electrodoméstico que funciona con DC por las horas de uso al día que se estiman para su uso y sumando posteriormente el total; este queda expresado en vatios-horas/día: 275 W-h/día.

7.3.7. Corriente pico del generador fotovoltaico.

- **Carga DC total diaria.** Es la suma total de las cargas DC que se utilizan en el sistema = 275 (W-h/día).
- **Tensión DC del sistema.** Puede 12 o 24 V para sistemas pequeños y 36, 48,.....120V para sistemas grandes. Para este caso será 12 (V).
- **Carga diaria en corriente DC.** Es el cociente entre la carga DC total diaria y la tensión del sistema, se expresa en amperios-horas/día: $(275 \text{ W-h/día}) / 12 \text{ (V)}: 22.916666 \text{ (A-h/día)}$.
- **Factor de seguridad.** Recoge las pérdidas del sistema y depende entre otras, las perdidas por temperatura y auto descarga de baterías. Usualmente es de 1.18.
- **Carga en corriente DC diaria corregida.** Es el producto entre la carga diaria en corriente DC y el factor de seguridad (amperios-horas/día): $22.916666 * 1.18 = 27.0416 \text{ (A-h/día)}$.
- **Radiación solar.** Es la radiación solar global promedio diario correspondiente al mes mas desfavorable de la localidad donde se realizará la instalación, se puede remitir a las tablas que se encuentran en el capítulo 4 para obtener los valores de radiación de la ciudad que necesitamos. Para estos cálculos esta radiación se expresa en horas lo cual se consigue dividiendo los

valores de las tablas que están expresados en $\text{KWh/m}^2/\text{dia}$ entre 1000 W/m^2 (1KW/m^2) que es la referencia de los fabricantes para determinar la potencia de los paneles: 3,81 (horas).

- **Corriente pico del sistema fotovoltaico.** Es la carga en corriente DC diaria corregida dividida entre la radiación solar: $27.0416 \text{ (A-h)} / 3.81 \text{ (horas)} = 7.09755 \text{ (A)}$.

7.3.8. Dimensionamiento del generador fotovoltaico.

- **Corriente pico del módulo seleccionado.** Es la corriente entregada por el fabricante en el catalogo: 4.4 (A).
- **Grupos de módulos en paralelo.** Es el cociente entre la corriente pico del sistema fotovoltaico y la corriente pico del módulo seleccionado. De ser necesario su valor se redondea al número entero siguiente; $7.09755 \text{ A} / 4.4 \text{ A} = 1.6130$; entonces el número de módulos en paralelo es: 2.
- **Tensión DC nominal del módulo.** Es la tensión dada por el fabricante: 17 V.
- **Numero de módulos serie.** Es el cociente entre la tensión del sistema y la tensión nominal del modulo. De ser necesario su valor se redondea al numero entero siguiente: $12\text{V}/17\text{V}$; el numero de módulos en serie es= $0,7058839$ y aproximándolo al numero entero: 1.
- **Número total de módulos.** Es el producto entre los arreglos de módulos en paralelo y el número de módulos en serie: $2*1=2$.

7.3.9 Dimensionamiento del banco de baterías.

- **Días de reserva.** Es el mayor número de días continuos que se espera estén los módulos sin recibir energía: 3.
- **Capacidad nominal del banco de baterías.** Es el producto entre la carga DC total diaria corregida y los días de reserva: $27.041667 \text{ (A-h)} * 3 = 81.125 \text{ (A-h)}$.
- **Profundidad de descarga.** Es la determinada por el fabricante: 0.8.
- **Capacidad corregida del banco de baterías.** Es la capacidad nominal del banco de baterías dividida entre la profundidad de descarga: $81.125 \text{ (A-h)} / 0.8 = 101.40625 \text{ (A-h)}$.
- **Capacidad nominal de la batería.** Es la determinada por el fabricante 88 (A-h).
- **Grupos de baterías en paralelo.** Es el cociente entre la capacidad corregida del banco de baterías y la capacidad nominal de la batería seleccionada. De ser necesario se redondea al número entero inmediatamente mayor:
 $101.40625 \text{ (A-h)} / 88 \text{ (A-h)} = 1.1523$, aproximándolo 2.
- **Tensión DC nominal baterías.** Es la determinada por el fabricante: 12 V.
- **Numero de baterías en serie.** Es el cociente entre la tensión nominal del sistema y la tensión nominal de la batería seleccionada. De ser necesario se redondea al número entero inmediatamente mayor: $12\text{V} / 12\text{V} = 1$.

- **Número total de baterías.** Es el producto del número de arreglos de baterías en paralelo por el número de baterías en serie: $2 \times 1 = 2$.

7.3.10. Dimensionamiento con una sola batería. Si mantenemos los datos generales del problema, como la radiación solar en la zona y el generador fotovoltaico pero se quiere emplear una sola batería que suministre la carga necesaria; el cálculo sería el siguiente:

- **Datos de la carga.** 275 Wh/día.
- **Carga DC total diaria corregida.** 27.041667 (A-h).
- **Datos de la batería seleccionada (DINASTY MPS 12-130).**

Tabla 14. Datos batería.

Tensión DC nominal	12	(V)
Capacidad nominal	130	(A-h)
Profundidad de descarga	0.8	

- **Días de reserva.** 3.
- **Capacidad nominal del banco de baterías.** Es el producto entre la carga DC total diaria corregida y los días de reserva: $27.041667 \text{ (A-h)} \times 3 = 81.125 \text{ (A-h)}$.
- **Profundidad de descarga.** Es la determinada por el fabricante: 0.8.

- **Capacidad corregida del banco de baterías.** Es la capacidad nominal del banco de baterías dividida entre la profundidad de descarga: $81.125 \text{ (A-h)} / 0.8 = 101.40625 \text{ (A-h)}$.
- **Capacidad nominal de la batería.** Es la determinada por el fabricante 130 (A-h).
- **Grupos de baterías en paralelo.** Es el cociente entre la capacidad corregida del banco de baterías y la capacidad nominal de la batería seleccionada. De ser necesario se redondea al número entero inmediatamente mayor:
 $101.40625 \text{ (A-h)} / 130 \text{ (A-h)} = 0.78$ aproximándolo 1.
- **Tensión DC nominal baterías.** Es la determinada por el fabricante: 12 V.
- **Número de baterías en serie.** Es el cociente entre la tensión nominal del sistema y la tensión nominal de la batería seleccionada. De ser necesario se redondea al número entero inmediatamente mayor: $12 \text{ V} / 12 \text{ V} = 1$.

7.4 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA CON GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA CON PAR MANUAL

Al igual que los SFD, se debe definir los objetivos de una instalación, atendiendo a las necesidades reales de los futuros usuarios y a sus requerimientos concretos. Todos los datos referentes a los consumos previstos deberán recopilarse y anotarse con el fin de evaluarlos. Una vez determinado teórica o experimentalmente, las potencias consumidas por cada elemento, es

preciso estimar con el usuario los tiempos medios de utilización diario de cada uno de ellos.

7.4.1. Descripción General del Método de Dimensionamiento. Se basa en suplir la capacidad en (A-h) del sistema, determinando el número de baterías que pueda suministrar la carga, teniendo en cuenta las pérdidas del sistema.

Estas pérdidas se producen por:

- ♣ Pérdidas por regulación en cables de conducción
 - ♣ Pérdidas en el ciclo carga-descarga de las baterías
 - ♣ Pérdida de energía por autodescarga de las baterías.
-
- **Determinación de la demanda o carga.** Consiste en conocer las características de la demanda: equipos, potencia requerida, horas/día de operación, demanda diaria de energía, demanda total semanal de energía.

 - **Especificaciones de la tensión de operación.** La tensión de operación del sistema es generalmente múltiplo de 12V.

 - **Determinación de la capacidad del Generador.** Dependiendo de la energía requerida se estima la máquina que pueda suplir esta necesidad. Se debe originar el suficiente par mecánico para producir la energía necesaria, la duración del par en el generador depende del tiempo que demoren las baterías en cargarse. La energía originada por la máquina debe ser superior a la demandada por el sistema.

 - **Determinación de la capacidad del banco de baterías.** Se determina la capacidad total del banco de baterías, su número, su conexión.

7.4.2. Cálculo tipo.

- **Datos de la carga.**

Tabla 15. Datos de la carga.

Equipo DC	Cantidad	Carga (W)	Horas uso/día	Carga(W-h/día)
Luminaria	1	9	6	54
Total	1	9	6	54

Energía demandada: 54 (W-h/día).

- **Datos generales.**

Tabla 16. Datos generales.

Tensión DC nominal	12 Volt
Factor Seguridad	1.18
Días de reserva	3

- **Datos de la carga diaria en corriente DC.** Es el cociente entre la energía demandada y la tensión del sistema: $54 \text{ (W-h/día)} / 12 \text{ Volt} = 4.5 \text{ (A-h/día)}$.

Aplicando el factor de seguridad a la carga diaria en corriente DC:

$1.18 * 4.5 \text{ (A-h/día)} = 5.31 \text{ (A-h/día)}$.

- **Días de reserva.** Es el número de días en los cuales las baterías pueden funcionar sin ser recargadas, para nuestro caso supondremos que es de un día.
- **Capacidad del banco de baterías.** Es el producto entre la carga DC total diaria corregida por el factor de seguridad y los días de reservas: $5.31 \text{ (A-h/día)} \cdot 1 \text{ día} = 5.31 \text{ (A-h)}$.
- **Capacidad corregida.** Del banco de baterías: es la capacidad del banco de baterías dividida entre la profundidad de descarga, para nuestro caso las profundidades de descargas características de las baterías son de 0.7, es decir:
 $5.31 \text{ (A-h)} / 0.7 = 7.5857 \text{ (A-h)}$.
- **Batería seleccionada.** Se escoge la batería que tenga una capacidad superior a la necesitada por el sistema. La batería seleccionada YUASA.

Tabla 17. Datos de placa.

Tensión DC nominal	12	(V)
Capacidad nominal	5	(A-h)
Profundidad de descarga	0.7	

- **Generador seleccionado.** Se debe escoger una maquina que permita cargar rápidamente la batería, y cuyas características de par, sean alcanzable a través del esmeril, es decir que la velocidad que ofrece el esmeril sea adecuada para el buen funcionamiento del generador
 El esmeril suministra velocidades que oscilan entre 280 – 360 rpm, la oscilación se presenta porque el par que se suministra en forma manual no es constante.

Datos del generador: el generador debe ser capaz de cargar la batería, datos de placa del generador marca AMELTEC.

Tabla 18. Datos de placa del generador.

Tensión	30	(V)
Corriente	1	(A)
Velocidad Nominal	201	(RPM)
Potencia	30	(W)

Al suministrarle par al generador a través del esmeril, la tensión de salida es igualmente oscilante, pero lo suficientemente alta para poder cargar las baterías, la tensión varía entre 12 - 15 Volt,

- **Tiempo de carga de la batería.** Cargando la batería con estos valores el tiempo aproximado de restablecimiento de su carga es de 30 minutos, si la batería se usa durante 6 horas al día, alimentando la lámpara conformada por los leds.

7.4.3. Dimensionamiento del banco de baterías.

- **Capacidad nominal de la batería.** Determinada por el fabricante 5 (A-h).
- **Baterías en paralelo.** Es el cociente entre la capacidad del banco de baterías y la capacidad de la batería seleccionada: $7.5857 \text{ (A-h)} / 5 \text{ (A-h)} = 1.5171$, aproximadamente 2.

- **Tensión DC nominal de baterías.** Suministrado por el fabricante: 12 volt.
- **Baterías en serie.** Cociente entre la tensión del sistema y la tensión nominal de la batería seleccionada: $12V / 12V = 1$.
- **Número total de baterías.** Es el producto entre el número de baterías en paralelo por el número de baterías en serie: $2 * 1 = 2$

CONCLUSIONES

La nueva tecnología de iluminación basada en LEDs es una gran alternativa en el siglo XXI. Debido a su rápida evolución, es previsible que en un breve plazo de tiempo se disponga de fuentes de aplicación en sistemas de iluminación con elevados niveles luminosos.

La iluminación con LEDs no ha llegado a una etapa en que un solo dispositivo pueda producir la suficiente iluminación para un salón entero, por lo tanto se hace necesario cambiar la concepción de la gente, para que consideren en tener un número mayor de lámparas más pequeñas y dar a conocer la economía de estos sistemas de iluminación.

En la actualidad las prestaciones fotométricas, cromáticas y direccionales de los LEDs hace de ellos fuentes de luz capaces de sustituir en numerosas aplicaciones a las lámparas de incandescencia. Siendo los LEDs fuentes con prestaciones muy favorables en su durabilidad y depreciación, con bajo mantenimiento.

La implementación de esta tecnología nos trae excelentes ahorros de energía ya que muchas de las lámparas actuales son capaces de convertir solo una tercera parte de la energía en luz mientras que el resto se disipa en calor. En el caso de los LEDs se invierten los papeles ya que estos son capaces de convertir en luz más del 90% de la energía suministrada.

Los graves impactos medioambientales generados por el uso indiscriminado de recursos energéticos fósiles, la escasez de los mismos y la preocupación por una independencia energética han conseguido que se tenga nuevamente en cuenta a las energías renovables, como una alternativa al suministro energético mundial.

La falta de políticas que propendan por el uso racional y eficiente de la energía a nivel nacional y en algunos casos a nivel internacional, ha generado de cierta manera los problemas ambientales que hoy se tienen y por ende marginado notablemente la investigación y el desarrollo de las energías renovables como una alternativa medioambientalmente sana.

Colombia pese a estar en una posición geográfica estratégica en cuanto a distribución de vientos y radiación solar, no ha desarrollado una infraestructura fuerte en el aprovechamiento de estos recursos como alternativa energética, tal vez las políticas energéticas del país, los asuntos de comercialización, la abundancia de agua en otros tiempos y factores de orden público han relegado la implementación de estos recursos de forma productiva.

La radiación solar es un parámetro para determinar la cantidad de paneles que se requieren para suplir una demanda determinada; Colombia presenta unos valores de radiación solar estable y aceptablemente altos a lo largo del año lo cual es favorable para el diseño e instalación de sistemas fotovoltaicos.

Una de las condiciones más desfavorables que debe soportar los SFD, es la ausencia de radiación solar durante varios días continuos a causa del invierno, lo cual es compensado con un sobredimensionamiento de los elementos del sistema lo que permite la autonomía suficiente. En Colombia este inconveniente no es tan importante pues aun en invierno los paneles pueden captar la energía de tal manera que se pueda dimensionar el sistema de forma más económica.

El elemento mas delicado de la instalación fotovoltaica es el banco de baterías cuya vida útil depende principalmente del control permanente que se haga de su estado de carga. El módulo solar no requiere de mantenimiento y su vida útil es regularmente de veinte años.

Las maquinas de DC tiene aplicaciones muy difundidas en sistemas electromecánicos, debido a la relativa facilidad con la que se puede controlar sus aspectos dinámicos mediante niveles variables de voltaje de DC aplicado a la terminales de su armadura y/o de su campo. Sin embargo la tecnología actual de estado sólido permite la generación de voltajes de AC de frecuencia variable de niveles importantes de potencia, lo que ocasiona el empleo de maquinas de AC en aplicaciones que alguna vez se consideraron casi exclusivamente como del dominio de las de DC. Se debe recordar también que los estudios comparativos de características y costos de los motores se basan en la combinación del motor y su equipo de control, ya que este último juega una parte importante para determinar el desempeño del motor en condiciones específicas y representa decididamente una parte apreciable del costo total inicial.

Cuando se compra e instala un generador (DC o AC), autoexcitado que ha estado mucho tiempo sin trabajar, se puede presentar el caso de tener que suministrar algo de corriente de excitación con una fuente externa, ya que la magnetización residual puede haber desaparecido. Si la maquina trabaja durante algunos días, se restablece la magnetización residual y por consiguiente la autoexcitacion.

BIBLIOGRAFIA

HARPER, Enriquez. ABC de Baja Tensión. Editorial LIMUZA 2000

CENSOLAR. Energía Solar (Sistemas Fotovoltaicos). Madrid: Progensa 1993

RODRIGUEZ G. HUMBERTO. Estudio del régimen del brillo solar en Colombia. Bogota: Universidad Nacional, 1990

UNIDAD DE PLANEACION MINERO ENERGETICA (UPME). Guía de especificaciones de sistemas fotovoltaicos para la energización rural dispersa en Colombia. Documento ANC-0603-12-01. Bogota 2003.

A.E. FITZGERALD. Maquinas eléctricas. Quinta edición; McGraw-Hill.

S. CHAPMAN. Maquinas eléctricas.

WENSTING HOUSE MANUAL DE ALUMBRADO Mc Graw Hill. Última Edición

MALBINO. Principios de Electrónica, Mc Graw Hill, Tercera Edición

SYLVANIA. Boletín de Información Técnica números 0-324, 0-341, 0-342, 0-343.

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN. Desarrollo de circuitos para el uso eficiente de la energía en sistemas de alimentación de lámparas de descarga para iluminación. Dr.-Ing. Juan Manuel Hernández Cid Junio de 2001

WEBSITES.

[http://www.codeso.com.](http://www.codeso.com)

<http://www.bpsolar.com>

<http://www.sky.net.co>

www.vishay.com

www.cueveros.com

[www.amazings.com.](http://www.amazings.com)

<http://artedur.net/>

.

ANEXO A.

ESPECIFICACIONES PARA LA IMPLEMENTACION DE SISTEMAS FOTVOLTAICOS DOMICILIARIOS EN COLOMBIA.

Los sistemas fotovoltaicos de pequeña y mediana escala que se venden e instalan en Colombia presentan algunas fallas inherentes en parte a insuficiente información técnica entre los comercializadores, la desinformación entre los usuarios y a la inexistencia de organismo de apoyo que debería estar colaborando, ejerciendo alguna veeduría sobre estas instalaciones eléctricas. Los problemas se originan debido a situaciones como:

- Se ha estimulado una cultura facilista de que cualquier usuario va a la tienda compra lo que le ofrece el vendedor, llega a su casa y realiza la instalación de energía solar ignorando los principios de instalación.
- El estado esta completamente ausente en la verificación de este tipo de instalaciones.
- Hay poca información, de anuncios y de divulgación de la forma como se debe utilizar la energía solar.
- Muchos comercializadores comercializan dispositivos baratos sin ningún tipo de reconocimiento y/o de homologación.

Las tres partes implicadas en el buen desempeño de los sistemas fotovoltaicos deberían estar unidos para lograr unos propósitos que a todos convengan. Estos propósitos son: **sistemas fotovoltaicos confiables, seguros y duraderos**. **Confiables** significa que prestaran el servicio para el cual han sido

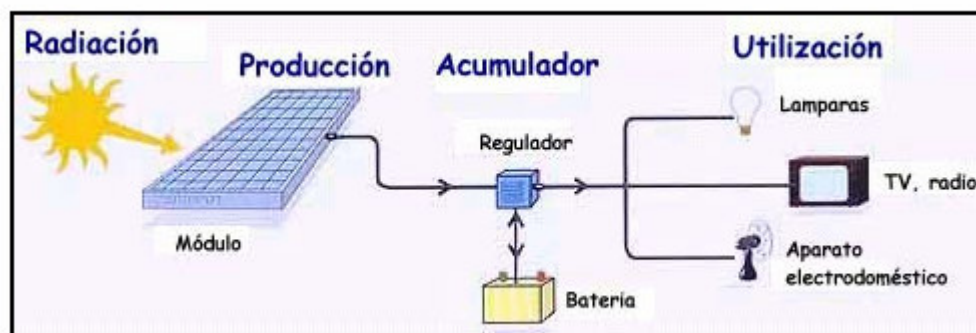
diseñados y dimensionados; **seguros**, significa que no pondrán en ningún riesgo ni a usuarios ni a viviendas; **duraderos**, que tendrán el desempeño esperado por los fabricantes y los usuarios durante todo el periodo de vida para el cual fueron fabricadas.

ASPECTOS TECNICOS

Características y Condiciones Generales.

Componentes del sistema. Un SFD esta formado por los siguientes componentes principales: un módulo o un campo fotovoltaico, una batería, un regulador de carga, un inversor, la carga y accesorios para la instalación.

Figura. Esquema de un sistema fotovoltaico.



Fuente: UPME. Unidad de Planeación Mineroenergética

Descriptivamente, el sistema funciona así: el campo de módulos fotovoltaicos convierte en corriente eléctrica directa la energía solar que recibe durante el día. Dicha corriente transporta la energía eléctrica en la batería para ser utilizada en el momento que el usuario lo requiera. La energía eléctrica que los módulos fotovoltaicos envían a la batería y que esta suministra a la carga pasa por el regulador, cuya función es proteger a los otros elementos del sistema contra sobrecargas o descargas excesivas, altas corrientes y bajos voltajes.

Condiciones de diseño.

Las condiciones de diseño de SFD deberían involucrar aspectos tales como:

- Ser compatible con las características e intensidades del recurso solar disponibles.
- Dimensionarse de acuerdo a la carga requerida.
- Dimensionar los límites mínimos de suministro de potencia y los tiempos máximos de autonomía en el almacenamiento.
- Diseñarse para soportar la acción del ambiente local (por ejemplo salinidad, contaminación, entre otras)

Descripción general de los componentes

Módulo fotovoltaico. Constituido por un conjunto de celdas solares interconectadas adecuadamente entre sí, con la función de generar energía eléctrica de corriente directa transformando la energía electromagnética del sol. Su geometría es plana y debería estar debidamente protegido contra la acción del ambiente en el que trabaja. Un conjunto de módulos interconectados dentro de un sistema, constituye el campo fotovoltaico del sistema.

Batería. Se encarga de almacenar en forma electroquímica la energía eléctrica fluctuante (no constante) que recibe del módulo o campo fotovoltaico y proporcionarla a los elementos de consumo como lámparas y radios. La batería cumple la función de:

- Amortiguar las fluctuaciones de corta duración en la energía que recibe del generador fotovoltaico.
- Prolonga el lapso de tiempo de suministro de energía eléctrica por encima de los periodos de generación.
- Da autonomía al SFD, en los eventuales intervalos en los que no ocurra generación (bien porque no hay sol, bien por ocurrencia de falla).
- Determina la tensión a la que deberían operar los elementos de consumo

Es conveniente utilizar las baterías especialmente diseñada para trabajar en los regímenes que imponen las intermitencias del suministro (recurso solar) y del consumo de energía. Aunque las baterías de tipo automotriz tienen un desempeño aceptable, no son recomendadas para ser usadas con SFD.

Regulador de Carga. Son los dispositivos diseñados para:

- Proteger la batería contra posibles sobrecargas causadas por excedentes provenientes del modulo y/o campo fotovoltaico.
- Evitar la sobrecarga en la batería por exceso de consumo, para proteger los dispositivos de consumo.
- Eliminar las corrientes que puedan fluir desde la batería hacia el modulo fotovoltaico, cuando este no recibe energía solar.
- Proporcionar elementos de monitoría.

Inversor. Es el dispositivo electrónico que convierte la corriente directa proveniente de la batería (por ejemplo, 12 Vdc) en energía eléctrica alterna (por ejemplo, 120 Vac). Generalmente, la alternancia producida en el inversor es del tipo onda cuadrada de 60 Hz, con deformidades (indeseables) o picos de voltaje lo que supone una utilización prudente, especialmente con cargas provistas de tarjetas de memoria.

Accesorios (soporte de módulos, de batería, interruptores, y accesorios para la instalación). El SFD especificado incluye los siguientes accesorios:

- Soporte para el modulo o para el campo fotovoltaico.
- Soporte o gabinetes para baterías.
- Interruptores.
- Accesorios como los conectores, contactos, grapas, etc.

Requisitos de fabricación

Módulos fotovoltaicos. Se recomienda que los módulos fotovoltaicos sean fabricados de acuerdo con los establecidos en las normas NTC 2883, NTC 4404.

Tantos para el usuario, como para cualquier entidad se le hacen las siguientes recomendaciones.

- Los módulos deberían ser nuevos y de reciente fabricación. Sus especificaciones eléctricas nominales deberían ajustarse a lo que requiere la instalación proyectada.

- Deben inspeccionarse para verificar que no se aprecian daños en su presencia física, como vidrios rotos o figurados, marcos abollados, celdas quebradas, humedad interior, corrosión u oxidación en sus contactos.
- El marco o chasis debería proveer las facilidades que permitan su fácil instalación mecánica al soporte, además debería proveer el sitio en el cual se realice adecuadamente una instalación a tierra.
- Las partes eléctricas externas integrantes del módulo deberían presentar una sujeción tal que no haya posibilidad a que aflojen, se giren o se desprendan o a que eventualmente faciliten un cortocircuito no intencional.
- El diseño, estructura y materiales deberían ser tales que sus características ópticas, fotoeléctricas, mecánicas y termofísicas no se alteren en un lapso de tiempo no inferior a 20 años.

Baterías. Se recomiendan que las baterías sean fabricadas de acuerdo con lo establecido en la norma IEC 61427 u otras normas aplicables. Las recomendaciones se orientan a la batería de plomo-ácido que pueden ser abiertas o selladas.

- Deben estar debidamente certificadas por una entidad autorizada.
- Deberían ser nuevas y libres de daños físicos al momento de instalarse.
- La batería debería tener una capacidad de almacenamiento (en A-h) acorde con las características del dimensionamiento que requiera el

lugar o zona. Para satisfacer esa capacidad debería utilizarse el menor número de baterías.

- Tener un régimen de autodescarga no mayor de 3% por mes.
- Tener un régimen de energía no menor de 35 KWh/ Kg.

Regulador. El regulador debe ser fabricado de acuerdo con lo establecido en la norma UL 1741. Recomendaciones:

- Deben tener fusible con ampacidad suficiente para proteger el sistema en caso de descargas excesivas.
- Estar protegidos contra polaridad invertida.
- Contar con elementos de bloqueo contra corrientes de sentido inverso..
- Debe operar en ambientes cuya humedad relativa supere 90% y con temperaturas desde -5⁰C hasta 60⁰C

Inversor. Estar fabricado con las normas UL 1741 y tener en cuenta las siguientes recomendaciones.

- Una regulación de frecuencia de +- 5%.
- Un consumo interno no mayor de 2W.
- Operar en ambientes cuya humedad relativa supere 90% y con temperaturas desde -5⁰C hasta 60⁰C.

- Disponer de protección contra sobrevoltaje.
- Ofrecer una tensión de salida con una desviación de $\pm 5\%$ de la tensión de salida nominal.

Accesorios. El soporte del módulo o del campo fotovoltaico es importante para ubicar estos de manera estable. El soporte debería facilitar la ventilación adecuada de los módulos, para minimizar el natural calentamiento de estos por la radiación solar. El soporte debe ser una estructura metálica liviana, rígida y que provea facilidades para orientar al módulo y dar el ángulo de inclinación apropiado y fijo con el obvio propósito de optimizar la captación de la radiación solar

Condiciones de operación.

Los SFD deberían adecuarse técnicamente a las variadas condiciones ambientales y geográficas de Colombia.

Colombia está ubicada geográficamente así: en latitud, su extremo sur (Leticia) está a $4^{\circ},09'$ en latitud sur y su punto más norte (la isla Santa Catalina, en el Caribe) está a $13^{\circ},23'$ en latitud norte. Su extremo occidental está a $81^{\circ},43'$ con respecto al meridiano de Greenwich, correspondiente a la isla de San Andrés en el mar Caribe, mientras su extremo oriental se halla a $66^{\circ},50'$ con respecto al mismo meridiano.

Desde el punto de vista de la disponibilidad del recurso solar, Colombia posee los extremos establecidos por regiones como la Guajira en la que se tiene los máximos valores promedio diario anual aproximadamente de 6 kWh/ m^2 , con escasos eventos de más de dos días seguidos de nubosidad, hasta los más bajos promedios al año como los del Choco con valores 3 kWh/ m^2 , con más

de cinco días continuos de alta nubosidad. El resto del territorio colombiano muestra promedios diarios anuales entre los límites anteriores, centrándose hacia los 4.5 KWh/ m², con números de días de nubosidad continua no mayor a tres.

Marcados

Modulo fotovoltaico. Deben mostrar la siguiente información

a) Aspectos corporativos:

- Nombre del fabricante, y/o distribuidor o entidad responsable por el desempeño del producto
- El modelo.
- Fecha de manufactura.

b) Especificaciones eléctricas de desempeño: potenciales eléctricos (voltajes) de circuito abierto, de operación y máximo permisible del sistema, corriente de cortocircuito, de operación al voltaje especificado en funcionamiento y potencia máxima.

c) Aspectos operativos: identificación de polaridad en terminales y/o conductores eléctricos.

d) Indicar el tipo de alambre que debería utilizarse para la instalación o interconexión en el campo fotovoltaico

e) El marco o chasis debe mostrar claramente el punto de conexión a tierra, además del símbolo

Baterías

a) Aspectos corporativos

- Nombre del fabricante, y/o distribuidor o entidad responsable por el desempeño del producto.
- El modelo.
- Fecha de manufactura.

b) Especificaciones eléctricas de desempeño: tipo de batería, clasificación eléctrica y su capacidad en Ah, el potencial o voltaje de operación

c) Facilidades operativas: en la cercanía de los bornes de conexión de la batería

Reguladores.

a) aspectos corporativos:

- Nombre del fabricante, y/o distribuidor o entidad responsable por el desempeño del producto.
- El modelo

b) Especificaciones eléctricas de desempeño: tipo de control que efectúa, los valores extremos o límites en sus parámetros de control así como la corriente y el potencial de operación

c) Deben estar identificadas las polaridades y los diversos terminales de conexión

Inversores.

El etiquetado debe tener la siguiente información

a) aspectos corporativos:

- Nombre del fabricante, y/o distribuidor o entidad responsable por el desempeño del producto.
- El modelo

b) Especificaciones eléctricas de desempeño: tipo inversión que efectúa (inversor dc a ac), los valores extremos o límite en sus parámetros de desempeño como potencial dc de entrada (12Vdc) así como la corriente potencial ac, frecuencia, tipo de onda fundamental (onda cuadrada) y potencia máxima que entrega (115Vac, 60Hz)

c) Deben estar identificadas las polaridades y los diversos terminales de conexión

Servicio que debería suministrar el proveedor o distribuidor.

Para la entrega de los SFD el proveedor o contratista debería realizar la instalación y prueba en el sitio, fecha y término que el usuario indique. Deberían quedar en óptimo estado de operación a juicio del personal encargado de aprobar la instalación. Se deben efectuar los servicios de mantenimiento que sean necesarios y tener la disponibilidad de repuesto de tal forma que si se reporta un daño, el problema se solucione a la mayor brevedad

Bases bajo las cuales el distribuidor o proveedor debería capacitar a personal técnico y/o usuario final. El proveedor debe suministrar capacitación al usuario final sobre los aspectos relacionados con servicios que presta el sistema, forma normal de operación, limitaciones del sistema, diagnóstico de problemas, reemplazo de baterías, entre otra series de mantenimientos.

Recomendaciones para el mantenimiento preventivo.

Las condiciones de operación de los SFD, en Colombia exigen que se haga mantenimiento preventivo y seguimiento a las partes que lo componen para cumplir con los propósitos fijados: confiabilidad, seguridad y larga vida.

Dependiendo de la condición climática de la zona, se debería hacer un procedimiento de observación y de prevención de fallas. Se recomienda que al menos dos veces por año. O en el peor de los casos se revise preventivamente el SFD una vez por año; dentro de las consideraciones que se deben tener para estas revisiones están:

Conexión a tierra.

Si el sistema esta dotado de conexión a tierra, es lo primero que se debería revisar, en cuyo caso se recomienda.

- Revisar los contactos en los módulos.
- El cable no debería mostrar deterioro por oxidación o por causa mecánicas.

- La conexión a la varilla de tierra debe quedar en perfectas condiciones de sujeción y de limpieza.
- Revisar bajo los mismos criterios todas las puestas a tierra del sistema.

Estructura de soporte.

Si el campo fotovoltaico está montado sobre madera o postes de madera se recomienda tener en cuenta:

- No haya agrietamiento en la estructura que ponga en peligro la estabilidad del montaje.
- Revisar el cuerpo de la estructura, pero especialmente la base con el fin de observar que no se haya diluido o desaparecido el tratamiento de curado de la madera.
- Revisar que no haya crecimiento de hongos, pasto o maleza en la inmediata cercanía.
- Limpiar, apretar tuercas y aplicar alguna sustancia anticorrosiva.

Si el campo está sobre una estructura metálica.

- Revisar todo el cuerpo para verificar que no haya partes dobladas, flojas o corroídas.
- Revisar todos los puntos de sujeción de los módulos a la estructura, limpiarlos y aplicar anticorrosivo.

Módulos fotovoltaicos.

- Observar la cubierta de los módulos para verificar el estado de limpieza de su superficie. No debe haber roturas o agrietamientos en la cubierta transparente, en caso contrario se debe informar al distribuidor.
- Observar que en la vecindad del sistema no hayan árboles u objetos de construcción que generen sombras sobre el campo fotovoltaico.
- Revisar las conexiones eléctricas y el cableado del campo fotovoltaico.
- Medir el potencial de circuito abierto y evaluar la pertinencia del valor mostrado. De observar algún síntoma dudoso o adverso comunicar al distribuidor.

Regulador.

- Revisar el extremo del cable que llega al regulador de carga, el interruptor que desconecta el campo fotovoltaico; medir el potencial que llega del campo fotovoltaico a los contactos del regulador.
- Revisar los puntos de sujeción del controlador al muro o columna.
- Revisar los contactos y los cables que salen de la batería.
- Medir el potencial en los contactos de salida a la batería.

Baterías.

Para el mantenimiento de la batería se deberían observar todas las normas de seguridad personal para evitar los riesgos eléctricos y químicos.

- Revisar que no haya humedad dentro del contenedor, si la hay eliminarla e investigar porque se originó, para hallar la solución final al problema.
- Revisar la caja de la batería. No debe tener deformidades en caso contrario informar al proveedor.
- Medir el potencial entre bornes, el cual debería estar dentro de los límites establecidos.
- Observar que no haya sulfatación en los bornes.
- Revisar los cables de conexión y sus respectivas terminales.

Inversor.

- Revisar las tomas de ac. Deben estar fijas y no presentar desajuste.
- Revisar el extremo de los cables que llegan a la caja de conexión y sus contactos.
- En operación el inversor no debería presentar ruidos fuertes por vibraciones.
- Observar que no presente calentamiento por encima del valor especificado por el fabricante.

- Observar que no produzca interferencia electromagnética sobre equipos de radio y TV.
- Medir el potencial ac que entrega a los elementos de consumo ac el cual debería estar dentro del rango especificado.

RECOMENDACIONES PARA LOS USUARIOS EN CASO DE FALLAS DEL SISTEMA.

Es conveniente y necesario que tengan presente algunas acciones básicas y fundamentales en caso de falla del sistema.

En caso de presentarse una falla en el suministro de energía en algún ramal de consumo, debería tener en cuenta el siguiente procedimiento:

a) Si es un ramal de consumo de 115 Vac

- Verificar que el inversor esté encendido.
- Revisar el enchufe o toma de 115 Vac, para verificar que si hay buen contacto en los terminales.
- Si la falla persiste, revisar el fusible de entrada, si está quemado reemplazarlo.
- En caso que el inversor no encienda y sus fusibles están bien, revisar las conexiones de suministro que vienen de la caja de conexiones; revisar fusibles de ese circuito, los contactos y extremo de los cables. Si se encuentra alguna falla corregirla.

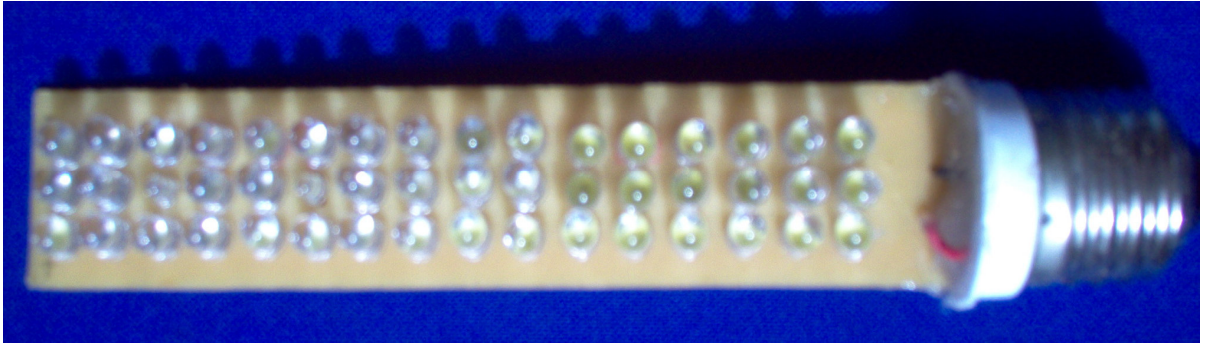
- Si la falla persiste, solicitar servicio técnico e informar al proveedor.

b) si la falla de suministro es total:

- En el regulador de carga revisar el fusible de consumo. Si esta quemado reemplazarlo. De paso revisar el cable y los contactos que van desde el regulador a la caja de conexiones. Si hay algún contacto flojo ajustarlo; si se observa cable cortado corregirlo.
- Si no es el fusible del regulador, revisar si el testigo de carga de la batería indica falla. Si efectivamente muestra falla en la batería, se debería evitar el consumo por uno o dos días para recuperar la carga en la batería.
- Revisar en el regulador que el indicador de corriente desde el modulo fotovoltaico este indicando funcionamiento correcto en ese circuito.
- Si indica falla, revisar contactos de cables y cables en el circuito del modulo.
- Si todo se observa funcionando correctamente, pero el controlador de carga sigue indicando falla en el circuito del módulo FV, se debe solicitar servicio técnico.

ANEXO 2.

MATRIZ DE LEDS

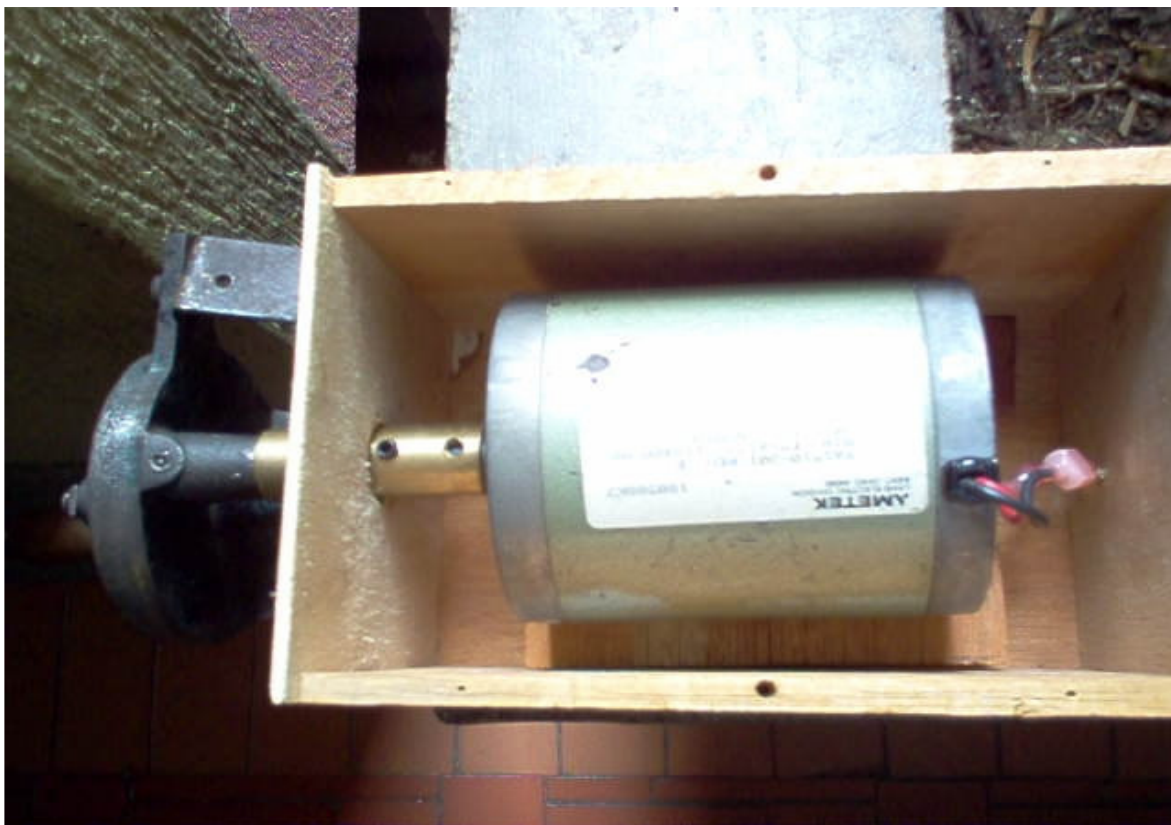


PROTOTIPO DE LAMPARA





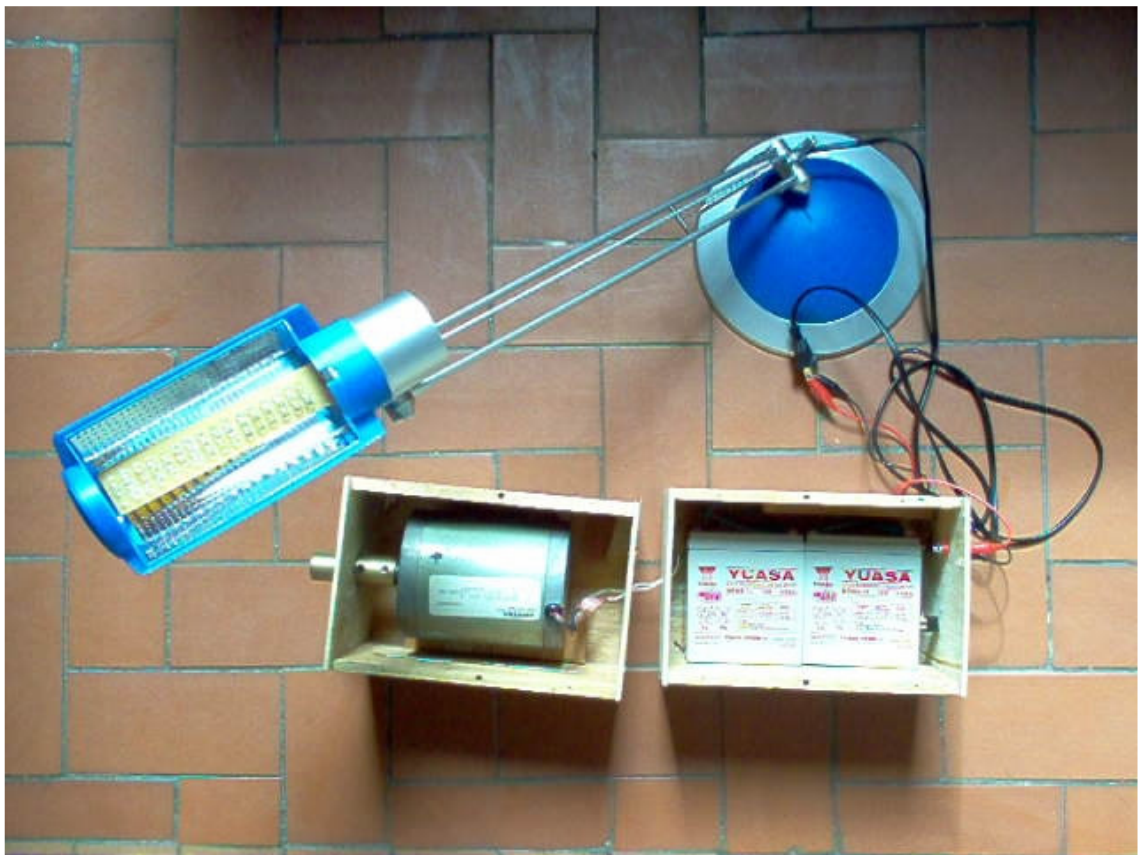
GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA CON PAR MANUAL.



ACUMULADORES



SISTEMA DE ILUMINACION COMPLETO



ANEXO C

CUADRO 12 RADIACION SOLAR EN LAS PRINCIPALES CIUDADES DEL PAIS (Kwh/ ^2/dia)

Departamento	Ciudad	Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Anual
Cundinamarca	Fontibon	Apto. Dorado	4,89	4,99	4,54	4,29	4,06	3,93	4,44	4,41	4,48	4,21	4,22	4,47	4,41
Cundinamarca	Pto Salgar	Apto. Palanquero	4,7	4,38	4,4	4,71	5,03	4,88	5,33	5,27	5,26	4,76	4,65	4,6	4,83
Antioquia	Medellín	Apt. Olaya Herrera	4,78	4,94	4,76	4,76	4,51	4,96	5,47	5,33	4,98	4,39	4,34	4,37	4,8
Antioquia	Bello	Tulio Ospina	4,8	5	4,81	4,82	4,51	5	5,56	5,35	4,92	4,4	4,39	4,4	4,83
Atlántico	Soledad	Apto. E. Cortizo	5,8	6,25	5,94	5,85	5,46	5,31	5,66	5,51	4,89	4,89	4,96	5,43	5,5
Bolívar	Cartagena	Apto. Crespo	6,01	6,29	6,12	5,92	5,61	5,53	5,76	5,68	5,18	4,86	5,06	5,7	5,64
Magdalena	S/marta	San Lorenzo	3,77	3,86	4,05	3,93	3,8	3,9	4,31	4,15	3,58	3,28	3,14	3,44	3,77
Valle	Cali	Univalle	4,9	4,95	5,03	4,79	4,4	4,51	5,1	5,05	4,94	4,52	4,33	4,56	4,76
Valle	Palmira	ICA-Palmira	5,08	5,06	4,92	4,85	4,39	4,47	4,95	4,88	4,8	4,71	4,54	4,7	4,78

CUADRO 13 RADIACION SOLAR EN LAS PRINCIPALES CIUDADES DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER (Kwh/ m^2/dia)

Departamento	Ciudad	Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Anual
Santander	Bucaramanga	UIS	4,8	4,34	4,09	4,29	4,44	4,03	4,34	4,45	4,33	4,22	4,24	4,44	4,33
Santander	Lebrija	Apto. Palonegro	5,34	5,1	4,89	4,91	4,8	4,68	5,02	5,07	5,09	4,87	4,67	4,85	4,95
Santander	Lebrija	La Esperanza	4,73	4,66	4,45	4,46	4,58	4,65	5	4,94	4,8	4,34	4,18	4,21	4,58
Santander	B/bermeja	Apto. Yarguies	5,54	5,23	4,8	5,02	5,07	5,12	5,7	5,58	5,37	5,05	4,77	4,95	5,18
Santander	Surata	Cachiri	4,33	4,61	4,69	4,26	4,11	4,18	4,56	4,33	4,27	3,81	4,15	4,15	4,29
Santander	Vélez	Campo capote	5,06	4,82	4,45	4,87	4,94	5,05	5,45	5,41	5,31	4,98	4,68	4,72	4,98
Santander	San Vicente	Diviso aguablanca	4,46	4,37	4,13	4,41	4,7	4,65	5,07	4,95	4,8	4,38	4,06	4,24	4,52
Santander	Mogotes	Escuela. Agrónoma	5,49	5,39	5,05	4,76	4,87	4,72	5,2	5,24	5	4,77	4,93	5,1	5,04
Santander	Sabana torres	Villa de leyva	5,56	5,24	4,84	4,99	4,98	5,11	5,56	5,59	5,34	4,96	4,71	5,02	5,16