

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES  
AVANZADOS, S. C.**

**POSGRADO**

Estudio de factibilidad de iluminación con tecnología  
LED conectado con panel fotovoltaico.

Tesis que como requisito para obtener el grado de

**MAESTRO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

Presenta:

Israel Benjamín Arroyo Luna  
Odón Cortés Vázquez

Director de Tesis  
Dra. Hilda Esparza Ponce

Tehuacán Puebla, Junio 2013.

# *Agradecimientos*

Agradezco antes que a nadie a mi padre celestial que me ha colocado en este camino y me ha bendecido grandemente. A mis padres Galdina Luna Ortega y Juan Arroyo Lara que me han forjado y heredado tantos valores. A mi esposa Claudia Flores López por haber soportado el proceso completo del postgrado, de la escuela y de la vida diaria. Agradezco a mi hija Fátima Yahvé Arroyo Flores que me recuerda la tenacidad y el esfuerzo con que todos debemos transitar por la vida. Agradezco a mi Universidad Tecnológica de Tehuacán por haberme dado la oportunidad de cursar el presente postgrado.

*Israel Benjamín Arroyo Luna*

Primeramente agradezco a Dios por darme la vida y la sabiduría para llegar a este nivel de preparación.

Agradezco a mi esposa e hijos por estar conmigo en la lucha por un pedañito más. Agradezco a mi madre y hermanos por su siempre apoyo incondicional por verme realizado en mi vida personal.

Agradezco a mis compañeros de trabajo por enseñarme lo valioso que es ser profesor y preocuparse por el aprendizaje de los alumnos.

A mis autoridades les agradezco por el diseño de programas que apoyan a los profesores para lograr una excelencia académica.

Agradezco a mi rector el Dr. Francisco Valencia Ponce por su siempre entusiasmo por lograr y buscar profesores de calidad y darme el apoyo de estudiar una maestría.

Al Ing. Raúl López Huerta por darme la oportunidad de pertenecer a la universidad Tecnológica de Tehuacán.

*Odón Cortés Vázquez.*

# INDICE

---

INTRODUCCIÓN .....	7
Objetivo general .....	9
Objetivos específicos .....	10
Justificación .....	11
Hipótesis .....	12
CAPITULO 1 .....	13
1.0 GENERALIDADES DE ENERGÍA SOLAR .....	13
1.1 Fuentes renovables de energía .....	13
1.2 Evolución Histórica de las fuentes renovables de energía .....	14
1.3 Energía solar .....	16
1.4 Tecnología y usos de la energía solar .....	19
CAPITULO 2 .....	22
2.0 MEDICIÓN DEL RECURSO SOLAR .....	22
2.1 SOLARIMETRÍA .....	22
2.2 LA RADIACIÓN SOLAR .....	22
2.3 GEOMETRÍA SOLAR .....	24
CAPITULO 3 .....	26
3.0 FUNDAMENTOS DE LOS ELEMENTOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	26
3.1 COMPONENTES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	26
3.1.1 PANEL FOTOVOLTAICO .....	27
3.1.2 LAS BATERIAS .....	46
3.1.3 EL REGULADOR FOTOVOLTAICO .....	52

3.1.4 EL INVERSOR FOTOVOLTAICO .....	55
3.2 LOS FUNDAMENTOS DEL LED.....	59
3.2.1 FUNCIONAMIENTO DEL LED.....	60
3.2.2 CREANDO EL DIODO .....	63
3.2.3 ENCAPSULADO DE LOS LEDS .....	65
3.2.4 ENCAPSULADOS.....	2
CAPITULO 4 .....	10
4.0 ANÁLISIS DE LAS NECESIDADES DE ILUMINACIÓN .....	10
4.1 EFECTOS DE LA LUZ EN LAS PERSONAS. ....	10
4.2 INFLUENCIA DE LA ILUMINACIÓN EN LA SALUD. ....	11
4.3 FOTOTERAPIA ARQUITECTÓNICA.....	12
4.4 FACTORES QUE DETERMINAN EL CONFORT VISUAL.....	12
4.5 NIVELES DE ILUMINACIÓN.....	14
4.6 FACTORES QUE AFECTAN A LA VISIBILIDAD DE LOS OBJETOS .....	15
4.7 TIPOS DE ILUMINACIÓN. ....	18
4.8 ORIENTACIÓN DE LA ILUMINACIÓN.....	19
CAPITULO 5 .....	20
5.0 SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED.....	20
5.1 CONCEPTOS BASICOS .....	20
5.1.1 UNIDADES Y MAGNITUDES DE ILUMINACIÓN .....	20
5.1.2 LUMEN.....	20
5.1.3 CANDELA. ....	21
5.1.4 LED.....	22
5.1.5 ILUMINACION LED.....	22
5.1.6 BENEFICIOS DE LA ILUMINACIÓN CON LED'S.....	23
CAPITULO 6 .....	27
DESARROLLO Y CALCULO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED CON PANEL FOTOVOLTAICO. ....	27
6.1 CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO .....	27
6.2 DISPONIBILIDAD DE RECURSO SOLAR .....	30
6.3 CARACTERISTICAS DE LA LUMINARIA.....	33
6.4 CALCULO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED.....	34
6.5 DETERMINACION DE LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS DE USO DIARIO.....	39

6.6 DETERMINACION DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA .....	40
6.6.1 ENERGÍA NECESARIA DIARIA. ....	40
6.6.2 CÁLCULO DE LA ENERGÍA DIARIA SUMINISTRADA POR EL PANEL ELEGIDO. ....	40
6.6.4 CÁLCULO DEL ACUMULADOR.....	41
6.6.5 ELECCIÓN DEL REGULADOR DE CARGA.....	42
6.6.6 ELECCIÓN DEL INVERSOR .....	44
6.6.7 CÁLCULO DE LAS PROTECCIONES Y SECCIÓN DE LOS CONDUCTORES.....	44
6.6.8 CÁLCULO DE SOMBRAS Y DISTANCIA ENTRE PANELES .....	45
6.6.9 ESTRUCTURA DEL SISTEMA INTEGRADO.....	47
6.6.10 CÁLCULO DE LA ENERGÍA GENERADA POR LA INSTALACIÓN.....	48
Conclusiones .....	51
Anexos .....	52
Bibliografía y referencias.....	53

# INDICE DE TABLAS

---

Fig. 1 Radiación solar.....	17
Fig. 2 Imagen del prototipo <i>Helios</i> , avión no tripulado de la NASA propulsado mediante energía solar fotovoltaica.....	19
Fig. 3 Estación de carga en Río de Janeiro atendiendo versiones modificadas del Toyota Prius y del Honda Insight. Esta estación utiliza electricidad renovable de origen solar. ....	19
Fig. 4 La instalación de centrales de energía solar en el mundo.....	20
Fig. 5 Flujo de energía solar.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Fig. 6 La constante solar. Es la cantidad de energía que se recibe por segundo del sol en un metro cuadrado.....	23
Fig. 7 La geografía del planeta, determina la insolación que existe en él.....	24
Fig. 8 Ángulo óptimo de inclinación del colector para un sistema fototérmico solar.....	24
Fig. 9 Límites prácticos para la orientación de un colector.....	25
Fig. 10 Ejemplo vista panel fotovoltaico.....	28
Fig. 11 Estructura panel fotovoltaico.....	30
Fig. 12 Elementos de un panel fotovoltaico.....	31
Fig. 13 Detalle hoja de características Cortesía de ATERSA.....	32
Fig. 14 Detalle hoja de características Cortesía de ATERSA.....	34
Fig. 15 Detalle hoja de características Cortesía de ATERSA.....	35
Fig. 16 Elementos de un panel fotovoltaico.....	36
Fig. 17 Comportamiento del panel fotovoltaico.....	37
Fig. 18 Célula solar fotovoltaica.....	38
Fig. 19 Curva característica I.V.....	39
Fig. 20 Característica I-V de iluminación.....	41
Fig. 21 Circuito equivalente de la célula solar real.....	43
Fig. 22 Influencia de la temperatura.....	44
Fig. 23 Detalle Célula Solar.....	44
Fig. 24 Tecnologías de las Células solares.....	45
Fig. 25 ATERSA Ejemplo de batería fotovoltaica.....	46
Fig. 26 Asociación de las baterías.....	47
Fig. 27 Reacción química en las baterías.....	48
Fig. 28 ATERSA Ejemplo de batería estacionaria.....	49
Fig. 29 ATERSA Ejemplo de batería estanca.....	50
Fig. 30 Colocación de las baterías.....	50
Fig. 31 Regulador fotovoltaico.....	52
Fig. 32 Los reguladores con funciones de prevención de la sobrecarga y las sobredescargas.....	53
Fig. 33 <i>Regulador serie y paralelo</i> .....	54

Fig. 34	ATERSA Ejemplo inversores .....	55
Fig. 35	Inversor de UNIVER .....	56
Fig. 36	Convertidor DC/AC Cortesía M.A Ejido. Instituto Energía Solar. Madrid.....	58
Fig. 37	Diodo LED.....	62
Fig. 38	De diodos a Leds .....	64
Fig. 39	Partes constitutivas de un LED.....	65
Fig. 40	Evolución de los leds.....	3
Fig. 41	Led de montaje normal y superficial. ....	5
Fig. 42	Led en diferentes colores. ....	7
Fig. 43	Triangulo de Maxwell o Diagrama de Cromaticidad CIE .....	8
Fig. 44	Niveles de iluminación en función de las tareas realizadas.....	14
Fig. 45	Contrastes de color.....	15
Fig. 46	Distribución de las zonas visuales en el puesto de trabajo.....	17
Fig. 47	Valoración de las intensidades medidas en candela. ....	22
Fig. 48	<i>Compuestos empleados en la construcción de led's</i> .....	23
Fig. 49	Tabla técnica comparativa de Lámparas LED vs Ahorradoras e Incandescentes.	25
Fig. 50	Localización de San Pablo Tepetzingo .....	28
Fig. 51	Parte frontal del edificio de electromecánica industrial vista hacia el sureste. ....	29
Fig. 52	Parte frontal del edificio de electromecánica industrial vista hacia el noreste. ....	29
Fig. 53	Lado Sur del techo del edificio en donde se colocarán los paneles solares. ....	30
Fig. 54	Irradiación global media por mes para el estado de Puebla.....	30
Fig. 55	Distribución de áreas del edificio de Electromecánica Industrial. ....	31
Fig. 56	Representación de la distribución de las luminarias. ....	32
Fig. 57	Representación de la distribución de las luminarias, perspectiva del alumno. ....	32
Fig. 58	Luminaria CLC-45HFSO 60X60 12 WATTS.....	33
Fig. 59	Hoja de datos de CLC-45HFSO 60X60 12 WATTS.....	34
Fig. 60	Lista de coordenadas de distribución de luminarias. ....	35
Fig. 61	Resumen de distribución de iluminación.....	36
Fig. 62	Distribución de iluminación mediante Dialux. ....	37
Fig. 63	Entrada de datos en el software Dialux para comprobación.....	37
Fig. 64	Distribución de iluminación mediante Software Dialux. ....	38
Fig. 65	Especificaciones del acumulador. ....	41
Fig. 66	Especificaciones del regulador de carga.....	42
Fig. 67	Especificaciones del regulador de carga.....	43
Fig. 68	Especificaciones del inversor.....	44
Fig. 69	Distancia entre paneles.....	45
Fig. 70	Diagrama unifilar de la instalación fotovoltaica de sistema aislado. ....	47
Fig. 71	Produccion mensual de energía eléctrica. ....	49
Fig. 72	Datos proporcionados por el particular solarhouse.....	50

# INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el sector energético se ha convertido en una condición para el crecimiento económico de los países, debido a la estrecha relación que existe entre el crecimiento del producto interno bruto y la demanda de energía de cada país. El incremento en el nivel de vida de la población, ha generado un aumento persistente de la demanda energética. La naturaleza finita de los recursos ha obligado a buscar una mayor eficiencia en la producción y el uso de la energía; así como a desarrollar el potencial del uso de fuentes de energía no fósiles. Bajo este contexto, el uso de las energías renovables aparece como un elemento que contribuye a aumentar la seguridad energética del país, al diversificar su matriz energética ante la expectativa del encarecimiento y la volatilidad de las fuentes convencionales de energía, así como a mitigar las emisiones de gases efecto invernadero y las graves consecuencias del cambio climático provenientes del uso de energéticos fósiles.

Países como Alemania, Brasil, Dinamarca, España, Canadá y Reino Unido han desarrollado tecnologías que les han permitido utilizar diversas fuentes renovables, fundamentalmente para la generación de energía eléctrica y aunque su participación en la producción mundial aún es pequeña, estas energías representan una opción para el suministro eléctrico mundial. El análisis de las experiencias internacionales muestra que las energías renovables son un tema prioritario en las agendas energéticas, tanto en los países industrializados como en las economías en desarrollo, gracias a sus efectos positivos en las esferas ambiental, económica y social. Las energías renovables son precursoras del desarrollo y comercialización de nuevas tecnologías, de la creación de empleo, de la conservación de recursos energéticos no renovables, de la reducción de la dependencia de energéticos importados mediante el aprovechamiento energético de recursos locales, y de la reducción de gases de efecto invernadero y de partículas que pueden dañar el ambiente y la salud pública.

El potencial solar de México es el tercero más grande del mundo. Se estima que el potencial solar bruto del país es de 5 kWh/m<sup>2</sup> diarios, que corresponde a 50 veces la generación eléctrica nacional, a lo cual podemos mencionar que usar paneles o celdas solares es una excelente opción para obtener un ahorro sustancial.



## LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO

Actualmente, México cuenta con alrededor de 1,924.8 MW de capacidad instalada de generación eléctrica con base en energías renovables, que incluye la capacidad destinada al servicio público, cogeneración y auto abastecimiento, representando el 3.3% de la capacidad instalada en el servicio público del país.

En la siguiente tabla se muestra la capacidad instalada total, a partir de fuentes renovables, por tipo de tecnología utilizada:

Capacidad y Generación Eléctrica en México por Tipo de Energía (2008)**					
Tecnología	Desarrollador	CAPACIDAD		GENERACIÓN	
		Anual (MW)	% Total	Anual (GWh)	% Total
Eoloeléctrica	CFE	85.250	0.15%	231.505	0.09%
Eoloeléctrica	Permisarios	0.000	0.00%	0.000	0.00%
<b>Total Eoloeléctrica</b>		<b>85.250</b>	<b>0.15%</b>	<b>231.505</b>	<b>0.09%</b>
Pequeña hidroeléctrica	CFE	270.128	0.46%	1309.525	0.53%
Pequeña hidroeléctrica	LFC	23.330	0.04%	52.988	0.02%
Pequeña hidroeléctrica*	Permisarios	83.492	0.14%	228.053	0.09%
<b>Total Hidroeléctrica</b>		<b>376.950</b>	<b>0.65%</b>	<b>1590.566</b>	<b>0.64%</b>
Geotermoeléctrica	CFE	964.500	1.66%	7057.768	2.86%
Biomasa y biogás*	Permisarios	498.116	0.86%	819.345	0.33%
<b>Total</b>		<b>1924.816</b>	<b>3.31%</b>	<b>9699.184</b>	<b>3.93%</b>
Total servicio público y permisarios	58105.537	100%	246785	100.00%	
<b>Participación Renovables</b>			<b>3.31%</b>		<b>3.93%</b>

\* Incluyen proyectos Híbridos.

\*\*Proyectos en operación al cierre del 2008.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Comisión Reguladora de Energía y la Comisión Federal de Electricidad. Unidades Generadoras en Operación, 2008, Sistema Eléctrico Nacional (Servicio Público), 20ª Edición, CFE, Marzo de 2009.

# Objetivo general

Realizar un estudio de factibilidad con un sistema de iluminación LED y fuente de energía a base de celdas fotovoltaicas, que solvete el consumo energía eléctrica en la Universidad Tecnológica de Tehuacán reduciendo el costo de facturación

# Objetivos específicos

Determinar las características de iluminación requeridas en las aulas del área de electromecánica industrial.

Determinar las características de operación de cada elemento que integra el sistema fotovoltaico.

Determinar el consumo del sistema actual a base de lámparas ahorradoras y la propuesta LED.

Realizar la comparativa económica entre la instalación actual contra la propuesta LED así como determinar la viabilidad económica.

# Justificación

En la Universidad Tecnológica de Tehuacán se imparte la carrera de Energías Renovables por lo que se debe considerar a la institución como ejemplo para utilizar algún tipo de energía alternativa y tiene el compromiso de promoverlas en su mismo entorno, en el social y en el industrial, impulsando el desarrollo energético alternativo de la región.

Diseñar e implementar un sistema de iluminación con fuente de energía a base de foto celdas que brinde el conocimiento para académicos y alumnos para diseñar e implementar sistemas similares.

Reducir el consumo de energía eléctrica mostrando el consecuente ahorro al utilizar el sistema de suministro eléctrico fotovoltaico y utilización de tecnología de iluminación LED.

Contar con un sistema fotovoltaico que muestre la aplicación de este tipo de fuentes de energía alternativa para difundir su implementación y uso en los ámbitos institucional, social e industrial.

Contribuir mediante un sistema que se gaste en la eficiencia y responsabilidad a la reducción de consumo energético a base de hidrocarburos fósiles y su consecuente efecto en la atmósfera terrestre.

# Hipótesis

La implementación de un sistema de iluminación LED con fuente de suministro a base de celdas fotovoltaicas en la Universidad Tecnológica de Tehuacán contribuirá a la reducción en el costo de la energía eléctrica consumida aprovechando las nuevas tecnologías.

# CAPITULO 1

## 1.0 GENERALIDADES DE ENERGÍA SOLAR

### 1.1 Fuentes renovables de energía

Con frecuencia se emplean indistintamente los términos “fuentes no convencionales”, “fuentes alternas” y “fuentes renovables” de energía.

En realidad no son sinónimos, existen algunas diferencias en su significado. Por ejemplo, el uranio es una fuente alterna, es no convencional y es no renovable. Las fuentes renovables por excelencia son la energía solar y sus manifestaciones como el viento, que es producto de un calentamiento desigual de la Tierra por parte de la radiación solar; la hidráulica, que tiene su origen en la evaporación, también por la acción del calor solar, del agua de los océanos, lagos y ríos, encharcamientos, etcétera, y su posterior condensación y caída en forma de lluvia; la biomasa, que es materia orgánica que está formada por arbustos, árboles, pastos, cultivos, residuos orgánicos, etcétera, que se nutrieron con la participación de la energía del Sol; el oleaje marino, que es a su vez ocasionado por el viento, entre otras. La energía geotérmica y la de las mareas también se consideran renovables, aunque son quizás, junto con los combustibles nucleares, las únicas fuentes energéticas que no tienen su origen en el Sol. Aún el petróleo y sus derivados, así como el carbón mineral, se formaron durante millones de años a partir de la fosilización de biomasa.

## 1.2 Evolución Histórica de las fuentes renovables de energía

Durante milenios el hombre basó su consumo energético en las fuentes renovables de energía: desde su origen empleó biomasas para cocinar sus alimentos y calentarse; hace más de 6,500 años ya empleaba la energía del viento para propulsar embarcaciones y posteriormente la empleó para moler sus granos y para irrigar sus campos de cultivo. Se tienen referencias sobre proyectos del emperador Hammurabi para irrigación empleando la energía eólica que data del 1700 A.C. Posteriormente los persas, los chinos, los holandeses, etcétera, emplearon con éxito a través de los siglos la energía del viento. En la actualidad existen aún en operación algunos centenarios de aéreo bombas del tipo multipala, del cual se fabricaron más de seis millones, después de su invención en 1854. Fue el descubrimiento de grandes yacimientos de combustibles fósiles, y el desarrollo de las tecnologías que permitían su explotación, la causa de que cayeran en desuso estos pequeños sistemas descentralizados de aprovechamiento de las FRE, y de que se establecieran en su lugar sistemas altamente centralizados, que si bien ofrecían energía abundante y barata para el desarrollo industrial, trajeron consigo la implantación de patrones de consumo irracional de ésta, el deterioro del medio ambiente y el crecimiento desbordado de las ciudades, con la secuela de problemas que éste implica, junto con el abandono gradual del sector rural. A partir de entonces, la evolución de los sistemas de aprovechamiento de las FRE se ha caracterizado por una sucesión de períodos de entusiasmo seguidos por otros de estancamiento, que han dependido de los costos y disponibilidad de los recursos fósiles. Así por ejemplo al período de gran entusiasmo comprendido entre los inicios de los 50's y mediados de los 60's, en el que se funda la Sociedad

Internacional de Energía Solar (ISES) en 1954 y se efectúa la conferencia mundial de la ONU sobre fuentes nuevas de energía en 1961, siguió un período de estancamiento ocasionado por los bajos precios del petróleo. El embargo petrolero árabe de 1973, que recientemente cumplió 25 años de haberse realizado, originó como reacción en los países industrializados afectados, el establecimiento de programas y políticas orientadas a la sustitución del petróleo como fuente energética con base en gran medida en las FRE, con lo que se impulsó nuevamente su investigación y desarrollo. Paralelamente se buscó la diversificación de proveedores de petróleo, y el ahorro de energía en la industria, el transporte, etc. Tanto éxito tuvieron las medidas de ahorro (y se sigue avanzando en este sentido, como ejemplo: la eficiencia de los automóviles se ha duplicado), que la demanda de energía en esos países se vio drásticamente detenida, ocasionando esto a su vez, una tendencia a la baja en los precios del petróleo y una nueva disminución de los presupuestos oficiales para investigación y desarrollo de FRE. A 25 años de distancia, actualmente el consumo per cápita de petróleo en los EUA es muy inferior al correspondiente a 1973, pero las importaciones de crudo por parte de ese país, se han incrementado en forma neta a niveles récord muy superiores a los de aquel año<sup>1</sup>, seguramente por lo bajo que está su precio en el mercado internacional, gracias a políticas y acciones enfocadas a ese fin. En ese breve período, se lograron desarrollar sistemas confiables, eficaces y altamente rentables desde el punto de vista económico. Ejemplo de ellos son los aerogeneradores empleados ya por millares; los diversos sistemas de calefacción para uso doméstico, la producción de miles de metros cuadrados de módulos fotovoltaicos y la producción de metanol y su empleo como combustible a partir de biomásas.



## 1.3 Energía solar

La energía solar es la energía obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol.

La radiación solar que alcanza la Tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la Antigüedad, mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando con el tiempo desde su concepción. En la actualidad, el calor y la luz del Sol puede aprovecharse por medio de captadores como células fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos, que pueden transformarla en energía eléctrica o térmica. Es una de las llamadas energías renovables o energías limpias, que puede hacer considerables contribuciones a resolver algunos de los más urgentes problemas que afronta la Humanidad.

Las diferentes tecnologías solares se clasifican en pasivas o activas en función de la forma en que capturan, convierten y distribuyen la energía solar. Las tecnologías activas incluyen el uso de paneles fotovoltaicos y colectores térmicos para recolectar la energía. Entre las técnicas pasivas, se encuentran diferentes técnicas enmarcadas en la arquitectura bioclimática: la orientación de los edificios al Sol, la selección de materiales con una masa térmica favorable o que tengan propiedades para la dispersión de luz, así como el diseño de espacios mediante ventilación natural.

En 2011, la Agencia Internacional de la Energía se expresó en los siguientes términos: "el desarrollo de tecnologías solares limpias, baratas e inagotables supondrá un enorme beneficio a largo plazo. Aumentará la seguridad energética de los países mediante el uso de una fuente de energía local, inagotable y, aun más importante, independiente de importaciones, aumentará la sostenibilidad, reducirá la contaminación, disminuirá los costes de la mitigación del cambio climático, y evitará la subida excesiva de los precios de los combustibles fósiles. Estas ventajas son globales, de esta manera, los costes para su incentivo y desarrollo deben ser considerados inversiones; deben ser realizadas de forma sabia y deben ser ampliamente difundidas".

La fuente de energía solar más desarrollada en la actualidad es la energía solar fotovoltaica. Según informes de la organización ecologista Greenpeace, la energía solar fotovoltaica podría suministrar electricidad a dos tercios de la población mundial en 2030.

Actualmente, y gracias a los avances tecnológicos, la sofisticación y la economía de escala, el coste de la energía solar fotovoltaica se ha reducido de forma constante desde que se fabricaron las primeras células solares comerciales, aumentando a su vez la eficiencia, y su coste medio de generación eléctrica ya es competitivo con las fuentes de energía convencionales en un creciente número de regiones geográficas, alcanzando la paridad de red. Otras tecnologías solares, como la energía solar termoelectrica está reduciendo sus costes también de forma considerable.

### Radiación solar.

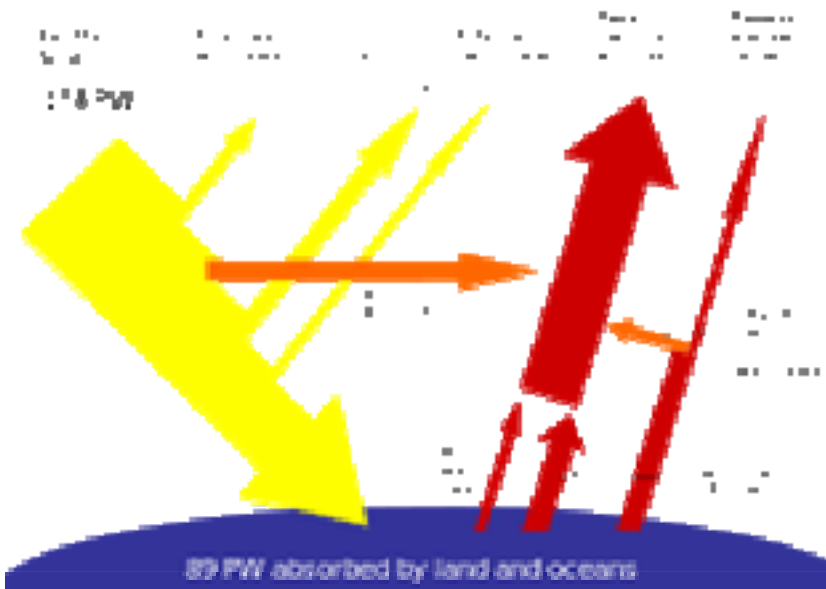


Fig. 1 Radiación solar.

Aproximadamente la mitad de la energía proveniente del Sol alcanza la superficie terrestre.

La Tierra recibe 174 peta vatios de radiación solar entrante (insolación) desde la capa más alta de la atmósfera. Aproximadamente el 30% es reflejada de vuelta al espacio mientras que el resto es absorbida por las nubes, los océanos y las masas terrestres. El espectro electromagnético de la luz solar en la superficie terrestre está ocupado principalmente por luz visible y rangos de infrarrojos con una pequeña parte de radiación ultravioleta.

La potencia de la radiación varía según el momento del día; las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas

condiciones de radiación el valor es de aproximadamente  $1000 \text{ W/m}^2$  en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiancia.

La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas las direcciones.

La irradiancia directa normal (o perpendicular a los rayos solares) fuera de la atmósfera, recibe el nombre de constante solar y tiene un valor medio de  $1366 \text{ W/m}^2$  (que corresponde a un valor máximo en el perihelio de  $1395 \text{ W/m}^2$  y un valor mínimo en el afelio de  $1308 \text{ W/m}^2$ ).

La radiación absorbida por los océanos, las nubes, el aire y las masas de tierra incrementan la temperatura de éstas. El aire calentado es el que contiene agua evaporada que asciende de los océanos, y también en parte de los continentes, causando circulación atmosférica o convección. Cuando el aire asciende a las capas altas, donde la temperatura es baja, va disminuyendo su temperatura hasta que el vapor de agua se condensa formando nubes. El calor latente de la condensación del agua amplifica la convección, produciendo fenómenos como el viento, borrascas y anticiclones. La energía solar absorbida por los océanos y masas terrestres mantiene la superficie a  $14 \text{ }^\circ\text{C}$ . Para la fotosíntesis de las plantas verdes la energía solar se convierte en energía química, que produce alimento, madera y biomasa, de la cual derivan también los combustibles fósiles.

## 1.4 Tecnología y usos de la energía solar



Fig. 2 Imagen del prototipo *Helios*, avión no tripulado de la NASA propulsado mediante energía solar fotovoltaica.



Fig. 3 Estación de carga en Río de Janeiro atendiendo versiones modificadas del Toyota Prius y del Honda Insight. Esta estación utiliza electricidad renovable de origen solar.

Clasificación por tecnologías y su correspondiente uso más general:

- Energía solar activa: para uso de baja temperatura (entre 35 °C y 60 °C), se utiliza en casas; de media temperatura, alcanza los 300 °C; y de alta temperatura, llega a alcanzar los 2000 °C. Esta última, se consigue al incidir los rayos solares en espejos, que van dirigidos a un reflector que lleva a los rayos a un punto concreto. También puede ser por centrales de torre y por espejos parabólicos.
- Energía solar pasiva: Aprovecha el calor del sol sin necesidad de mecanismos o sistemas mecánicos.
- Energía solar térmica: Es usada para producir agua caliente de baja temperatura para uso sanitario y calefacción.

- Energía solar fotovoltaica: Es usada para producir electricidad mediante placas de semiconductores que se alteran con la radiación solar.
- Energía solar termoelectrica: Es usada para producir electricidad con un ciclo termodinámico convencional a partir de un fluido calentado a alta temperatura (aceite térmico).
- Energía solar híbrida: Combina la energía solar con otra energía. Según la energía con la que se combine es una hibridación:
  - Renovable: biomasa, energía eólica.
  - No renovable: Combustible fósil.
- Energía eólico solar: Funciona con el aire calentado por el sol, que sube por una chimenea donde están los generadores.

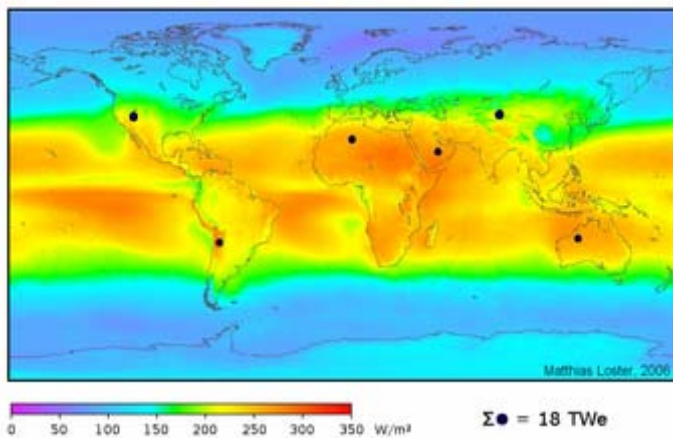


Fig. 4 La instalación de centrales de energía solar en el mundo.

La instalación de centrales de energía solar en las zonas marcadas en el mapa podría proveer algo más que la energía actualmente consumida en el mundo (asumiendo una eficiencia de conversión energética del 8%), incluyendo la proveniente de calor, energía eléctrica, combustibles fósiles, etcétera. Los colores indican la radiación solar promedio entre 1991 y 1993 (tres años, calculada sobre la base de 24 horas por día y considerando la nubosidad observada mediante satélites).

Otros usos de la energía solar y ejemplos más prácticos de sus aplicaciones:

- Huerta solar.
- Central térmica solar, como:
  - la que está en funcionamiento desde el año 2007 en Sanlúcar la Mayor (Sevilla), de 11 MW de potencia que entregará un total de 24 GWh al año.

- y la de Llanos de Calahorra, cerca de Guadix, de 50 MW de potencia. En proyecto Andasol I y II.
- Potabilización de agua.
- Cocina solar.
- Destilación.
- Evaporación.
- Fotosíntesis.
- Secado.
- Arquitectura sostenible.
- Cubierta Solar.
- Acondicionamiento y ahorro de energía en edificaciones.
  - Calentamiento de agua.
  - Calefacción doméstica.
  - Iluminación.
  - Refrigeración.
  - Aire acondicionado.
  - Energía para pequeños electrodomésticos.

# CAPITULO 2

## 2.0 MEDICIÓN DEL RECURSO SOLAR

### 2.1 SOLARIMETRÍA

Para iniciar con las mediciones solarimétricas, es necesario conocer la forma en la que se comporta el Sol y las diferentes formas de energía que de él emanan.

### 2.2 LA RADIACIÓN SOLAR.

#### LOS RAYOS SOLARES.

Cuando una persona observa los haces luminosos del Sol que inciden en la misma, siente dos tipos de manifestaciones, la primera y tal vez la más evidente, es la de deslumbramiento, por la luz que penetra su retina. Por otro lado, se siente calor, aumento de la temperatura, sin embargo, existen además de estas dos maneras en las que el Sol se expresa, otras formas de energía que provienen de él.

La radiación, es un fenómeno físico consistente en la producción de ondas electromagnéticas que poseen energía y que se mueven en el espacio hacia todas direcciones. La fuente emisora de estas ondas es el Sol, y es la tierra que las recibe al estar en su camino. De todos los rayos que se producen en el sol, el 47% son luminosos, el 46% son infrarrojos y el 7% son ultravioleta.

La característica que poseen estos rayos solares se observa en sus longitudes de onda, las cuales son diferentes y que determinan sus propiedades energéticas y destructivas, así pues los rayos infrarrojos tienen longitudes de onda largas y energía moderada, mientras que los rayos ultravioletas poseen longitudes de onda muy pequeñas y cargas energéticas altas, de ahí que actualmente existan muchos

estudios para conocer sus efectos, así como de la cada vez mayor incidencia de los mismos en la tierra por falta de ozono en las capas atmosféricas.

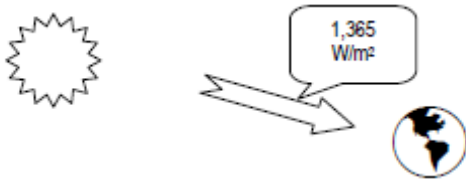


Fig. 5 La constante solar. Es la cantidad de energía que se recibe por segundo del sol en un metro cuadrado.

La solarimetría es básica para la instalación de sistemas de calentamiento solar. La longitud de onda es inversamente proporcional a su frecuencia. Instalación de Sistemas Fototérmicos. En términos generales, la energía que llega del Sol, aún cuando se ha estimado que el 70% es absorbida por la Tierra, varía con relación a las diversas condiciones que se dan en ella. A pesar de ello, existe la constante solar (figura 1) que sería la cantidad de energía que incide en la en un segundo hora en un metro cuadrado de área transversal a la radiación.

#### MOVIMIENTOS DE LA TIERRA.

Los movimientos de rotación y translación de la tierra son un factor importante, ya que de ellos depende la lejanía o cercanía con el Sol, así como de la calidad y cantidad de los rayos solares determinados por la estación en la que se encuentra el planeta. Así el efecto de inversión térmica que se da en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México se acentúa en la estación invernal por la falta de energía térmica proveniente del Sol que caliente por convección las capas de aire.

#### FACTORES CLIMATOLÓGICOS Y GEOGRÁFICOS.

Sin duda, factores relacionados con el clima, los meteoros presentes (lluvias, tornados, niebla y otros), así como la latitud y altitud, condicionan la cantidad de energía solar incidente en un lugar determinado y su relación con otros fenómenos ambientales contemporáneos, tales como el albedo, el efecto invernadero o la inversión térmica.





Fig. 6 La geografía del planeta, determina la insolación que existe en él.

Ante las condiciones meteorológicas imperantes se distinguen, diferentes tipos de rayos, los solares directos, los difusos, los cenitales, los reflejados y los globales. Es un hecho que es la energía que absorbe la Tierra la que delinea el ambiente, así como sus manifestaciones de carácter climático y meteorológico, tales como el ciclo del agua, la formación de vientos y corrientes, etc.

La insolación de un lugar depende básicamente de su situación geográfica.

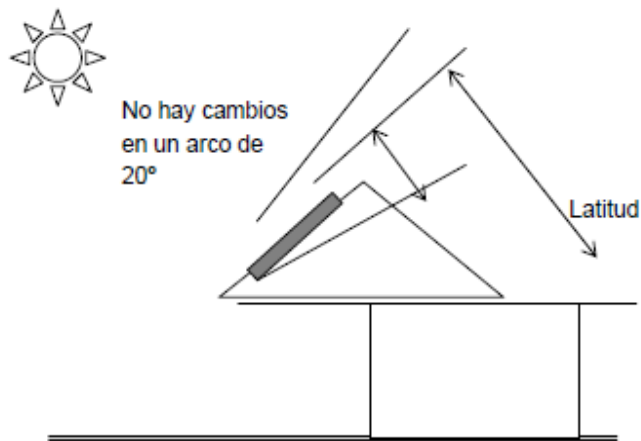


Fig. 7 Ángulo óptimo de inclinación del colector para un sistema foto térmico solar.

## 2.3 GEOMETRÍA SOLAR.

CONCEPTO Y APLICACIÓN.

Cuando además de los factores antes mencionados, la orientación de un objeto, implica también diferentes grados de energía solar incidente, así que es muy importante considerar durante la instalación del sistema la posición de las foto celdas, se aplica el concepto de la “Geometría solar”, es decir considerar los límites prácticos de orientación, los cuales es posible que dependan del diseño de construcción, las sombras y el área geográfica.

En este punto, los movimientos del Sol, son muy importantes, éste sale por el este, atraviesa el cielo sur y se oculta más o menos por el oeste y más cercano o más lejano, dependiendo de la estación del año en la que se realice la observación. Los mapas solares son útiles para determinar los movimientos del Sol para cualquier día del año y para cualquier área geográfica.

#### LA VENTANA SOLAR.

Es el área (imaginaria) a través de la cual puede llegar a los colectores la cantidad máxima de energía solar durante los días del año. Esta ventana se delimita en la bóveda transparente del cielo y en su centro está el sistema foto térmico situado en una casa. La línea superior de la ventana quedaría trazada por el curso que sigue el sol al principiar el verano y la línea inferior es el curso del sol en el invierno, y los lados serían determinados por la posición del sol, tres horas antes y tres horas después del medio día solar.

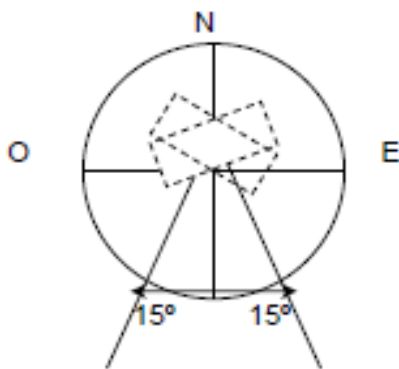


Fig. 8 Límites prácticos para la orientación de un colector.

El término conocido como “sombra solar” es atribuido a la sombra que arrojan diferentes objetos sobre el colector a diferentes horas del día y en diferentes fechas. En conclusión, la ventana solar y la sombra, son aspectos a considerar para la geometría solar de un sistema foto térmico y su ubicación final.

## CAPITULO 3

### 3.0 FUNDAMENTOS DE LOS ELEMENTOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.

#### 3.1 COMPONENTES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Las instalaciones fotovoltaicas requieren fundamentalmente para su funcionamiento, el acoplamiento de estos cuatro subsistemas:

- ***Subsistema de Captación:***

Los paneles Solares.

- ***Subsistema de Acumulación:***

Las Baterías.

- **Subsistema de Regulación:**

Los Reguladores.

- **Subsistema de Distribución y Consumo:**

Los Inversores.

**El Panel Solar** - Es el componente encargado de captar y generar la energía eléctrica a partir de la radiación solar.

**Las Baterías** - Es el componente encargado de adaptar en el tiempo la disponibilidad y la demanda de energía.

**El Regulador** - Es el componente encargado de proporcionar la regulación de carga y descarga de las baterías.

**El Inversor, etc.** - Son los componentes encargados de adaptar y trasladar la Energía Eléctrica generada, a la carga.

### 3.1.1 PANEL FOTOVOLTAICO

Un **panel solar** esta constituido por varias células iguales conectadas eléctricamente entre si, en serie y/o en paralelo, de forma que la tensión y corriente suministrada por el panel se incrementa hasta ajustarse al valor deseado. La mayor parte de los paneles solares se construyen asociando primero células en serie hasta conseguir el nivel de tensión deseado, y luego asociando en paralelo varias asociaciones serie de células para alcanzar el nivel de corriente deseado. Además, el panel cuenta con otros elementos a parte de las células solares, que hacen posible la adecuada protección del conjunto frente a los agentes externos; asegurando una rigidez suficiente, posibilitando la sujeción a las estructuras que lo soportan y permitiendo la conexión eléctrica.



Fig. 9Ejemplo vista panel fotovoltaico

Estos elementos son:

- **Cubierta exterior de cara al Sol.** Es de vidrio que debe facilitar al máximo la transmisión de la radiación solar. Se caracteriza por su resistencia mecánica, alta transmisividad y bajo contenido en hierro.
- **Encapsulante.** De silicona o más frecuentemente EVA (etilen-vinil-acetato). Es especialmente importante que no quede afectado en su transparencia por la continua exposición al sol, buscándose además un índice de refracción similar al del vidrio protector para no alterar las condiciones de la radiación incidente.
- **Protección posterior.** Igualmente debe dar rigidez y una gran protección frente a los agentes atmosféricos. Usualmente se emplean láminas formadas por distintas capas de materiales, de diferentes características.

- **Marco metálico.** De Aluminio, que asegura una suficiente rigidez y estanqueidad al conjunto, incorporando los elementos de sujeción a la estructura exterior del panel. La unión entre el marco metálico y los elementos que forman el modulo está realizada mediante distintos tipos de sistemas resistentes a las condiciones de trabajo del panel.

- **Cableado y bornas de conexión.** Habituales en las instalaciones eléctricas, protegidos de la intemperie por medio de cajas selladas.

- **Diodo de protección.** Su misión es proteger contra sobre-cargas u otras alteraciones de las condiciones de funcionamiento de panel.

## EL PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO

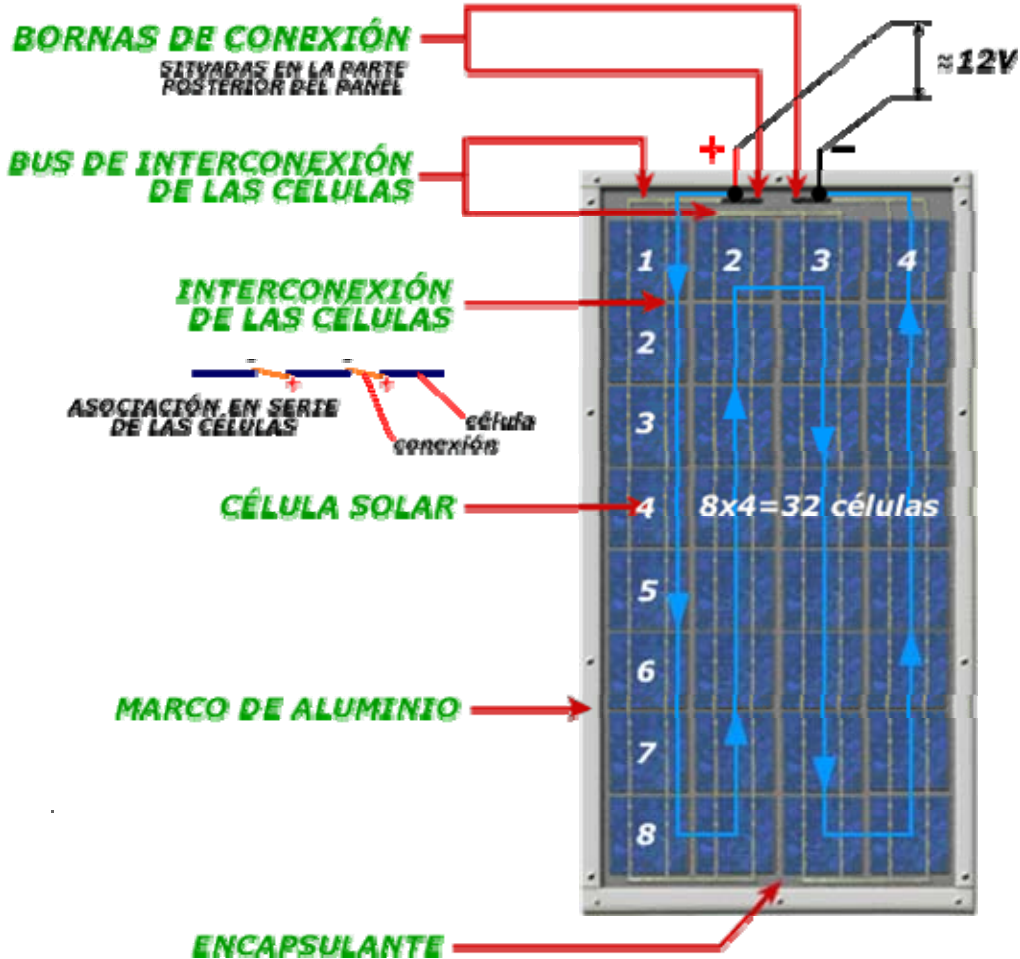


Fig. 10 Estructura panel fotovoltaico

Los Panel solares tienen entre 28 y 40 células, aunque lo más típico es que cuenten con 36. La superficie del panel o módulo puede variar entre 0.1 y 0.5m<sup>2</sup> y presenta dos bornas de salida, positiva y negativa, a veces tienen alguna intermedia para colocar los diodos de protección.

Normalmente, los paneles utilizados, están diseñados para trabajar en combinación con baterías de tensiones múltiplo de 12V, como veremos en la sección dedicada al acumulador.

## ELEMENTOS DE UN PANEL FOTOVOLTAICO

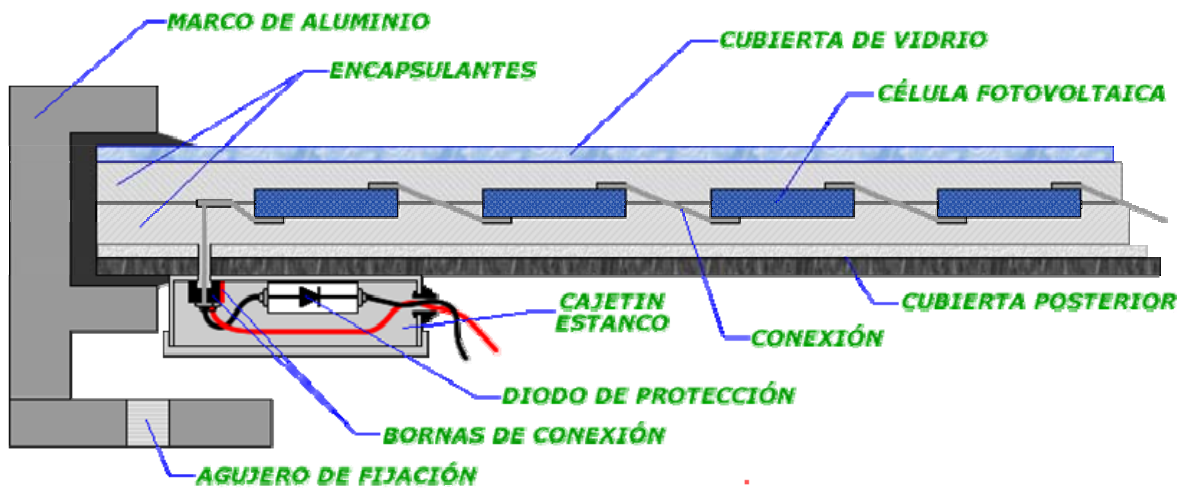


Fig. 11 Elementos de un panel fotovoltaico.

### CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DEL PANEL FOTOVOLTAICO

La fabricación, comportamiento y características eléctricas y mecánicas del módulo fotovoltaico, vienen determinadas en la hoja de características del producto que proporciona el fabricante.

Al igual que en la célula solar son importantes los siguientes parámetros:



- **Potencia máxima o potencia pico del módulo ( $P_{maxG}$ ).**

Módulos estándar  
Standard modules  
Modules standard

CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS		ELECTRICAL SPECIFICATIONS		CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES		
Modèle	Nº de cellules	Puissance en test $\pm 10\%$	Courant au point de puissance max.	Tension au point de puissance max.	Courant de court-circuit	Tension de circuit ouvert
Model	No. of cells	Power under test $\pm 10\%$	Maximum power point current	Maximum power point voltage	Short circuit current	Open circuit voltage
Modelo	Nº de células	Potencia en prueba $\pm 10\%$	Corriente en punto de máxima potencia	Tensión en punto de máxima potencia	Corriente de cortocircuito	Tensión de circuito abierto
A-5	36 1/6 de 3.3"	5 W	0.29 A	17.0 V	0.34 A	21.6 V
A-10	36 1/3 de 3.3"	10 W	0.59 A	17.0 V	0.69 A	21.6 V
A-20	36 1/2 de 4"	20 W	1.18 A	17.0 V	1.40 A	21.6 V
A-38	36 1/2 de 5"	38 W	2.20 A	17.2 V	2.38 A	21.3 V
A-45	32 1/2 de 6"	45 W	3.00 A	15.0 V	3.20 A	18.0 V
A-50	36 1/2 de 6"	50 W	3.13 A	16.0 V	3.50 A	20.0 V
A-55	36 1/2 de 6"	55 W	3.40 A	16.2 V	3.70 A	20.5 V
A-60	36 1/2 de 6"	60 W	3.55 A	16.9 V	3.85 A	21.0 V
A-65	36 de 5"	65 W	4.00 A	16.3 V	4.60 A	20.5 V
A-75	36 de 5"	75 W	4.40 A	17.0 V	4.80 A	21.0 V
A-110	36 de 6"	110 W	6.79 A	16.2 V	7.40 A	20.5 V
A-120	36 de 6"	120 W	7.10 A	16.9 V	7.70 A	21.0 V
A-130	72 de 5"	130 W	4.00 A	32.6 V	4.60 A	41.0 V
A-150	72 de 5"	150 W	4.40 A	34.0 V	4.80 A	43.4 V

Especificaciones en condiciones de pruebas estándar de: 1.000 W/m<sup>2</sup>, temperatura de la célula 25°C y masa de aire de 1,5 (Según normativa EN 61215)  
Specifications under standard testing conditions of: 1,000 W/m<sup>2</sup>, cell temperature: 25°C and air mass of 1.5 (In accordance with EN 61215 norm)  
Caractéristiques en conditions de test standard de: 1.000 W/m<sup>2</sup>, température de la cellule 25°C et masse d'air de 1,5 (En accord avec la norme EN 61215)

8 **ATERSA**

Fig. 12Detalle hoja de características Cortesía de ATERSA

Si se conecta una cierta carga al panel, el **punto de trabajo** vendrá determinado por la corriente  $I$  y la tensión  $V$  existentes en el circuito. Estos habrán de ser menores que los  $I_{scG}$  y  $V_{ocG}$  que definiremos más adelante. La potencia  $P$  que el panel entrega a la carga está determinada por la ecuación genérica:

$$P = I \cdot V$$

A su valor más alto se le llama potencia máxima o potencia pico del módulo. Los valores de la corriente y de la tensión correspondiente a este punto se conocen

respectivamente como:

- $I_{Pmax}$  Intensidad cuando la potencia es máxima o corriente en el punto de máxima potencia.
- $V_{Pmax}$  la tensión cuando la potencia también es máxima o tensión en el punto de máxima potencia.

Otros parámetros son:

- **Corriente de cortocircuito ( $I_{scG}$ )**, que se obtiene al cortocircuitar los terminales del panel ( $V=0$ ) que al recibir la radiación solar, la intensidad que circularía por el panel es de corriente máxima.

- **Tensión de circuito abierto ( $V_{ocG}$ )**, que se obtiene de dejar los terminales del panel en circuito abierto ( $I=0$ ), entre ellos aparece al recibir la radiación una

tensión que será máxima.

Módulos estándar  
Standard modules  
Modules standard

CARACTERISTICAS ELECTRICAS		ELECTRICAL SPECIFICATIONS			CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES	
Modèle	Nº de cellules	Puissance en test ±10%	Courant au point de puissance max.	Tension au point de puissance max.	Courant de court-circuit	Tension de circuit ouvert
Model	No. of cells	Power under test ±10%	Maximum power point current	Maximum power point voltage	Short circuit current	Open circuit voltage
Modelo	Nº de células	Potencia en prueba ±10%	Corriente en punto de máxima potencia	Tensión en punto de máxima potencia	Corriente de cortocircuito	Tensión de circuito abierto
A-5	36 1/6 de 3.3"	5 W	0.29 A	17.0 V	0.34 A	21.6 V
A-10	36 1/3 de 3.3"	10 W	0.59 A	17.0 V	0.69 A	21.6 V
A-20	36 1/2 de 4"	20 W	1.18 A	17.0 V	1.40 A	21.6 V
A-38	36 1/2 de 5"	38 W	2.20 A	17.2 V	2.38 A	21.3 V
A-45	32 1/2 de 6"	45 W	3.00 A	15.0 V	3.20 A	18.0 V
A-50	36 1/2 de 6"	50 W	3.13 A	16.0 V	3.50 A	20.0 V
A-55	36 1/2 de 6"	55 W	3.40 A	16.2 V	3.70 A	20.5 V
A-60	36 1/2 de 6"	60 W	3.55 A	16.9 V	3.85 A	21.0 V
A-65	36 de 5"	65 W	4.00 A	16.3 V	4.60 A	20.5 V
A-75	36 de 5"	75 W	4.40 A	17.0 V	4.80 A	21.0 V
A-110	36 de 6"	110 W	6.79 A	16.2 V	7.40 A	20.5 V
A-120	36 de 6"	120 W	7.10 A	16.9 V	7.70 A	21.0 V
A-130	72 de 5"	130 W	4.00 A	32.6 V	4.60 A	41.0 V
A-150	72 de 5"	150 W	4.40 A	34.0 V	4.80 A	43.4 V

Especificaciones en condiciones de pruebas estándar de: 1.000 W/m<sup>2</sup>, temperatura de la célula 25°C y masa de aire de 1,5 (Según normativa EN 61215)  
Specifications under standard testing conditions of: 1,000 W/m<sup>2</sup>, cell temperature: 25°C and air mass of 1.5 (In accordance with EN 61215 norm)  
Caractéristiques en conditions de test standard de: 1.000 W/m<sup>2</sup>, température de la cellule 25°C et masse d'air de 1,5 (En accord avec la norme EN 61215)

8 ATERSA

Fig. 13Detalle hoja de características Cortesía de ATERSA

Dichos parámetros se obtienen en unas **condiciones estándar** de medida de uso universal según la norma EN61215. Establecidas como sigue y que el fabricante debe especificar:

Irradiancia: 1000W/m<sup>2</sup> (1 KW/m<sup>2</sup>)

Distribución espectral de la radiación incidente: AM1.5 (masa de aire)

Incidencia normal.

Temperatura de la célula: 25°C

Otro parámetro que debería ser suministrado es la **TONC o Temperatura de Operación Nominal de la Célula**. Dicho parámetro se define como la temperatura que alcanzan las células solares cuando se somete al módulo a las siguientes condiciones de operación:

Irradiancia: 800W/m<sup>2</sup>

Distribución espectral de la radiación incidente: AM1.5 (masa de aire)

Incidencia normal

Temperatura ambiente: 20°C

Velocidad del viento: 1m/s

Especificaciones en condiciones de pruebas estándar de: 1.000 W/m<sup>2</sup> temperatura de la célula 25°C y masa de aire de 1,5 (Según normativa EN 61215)  
Specifications under standard testing conditions of: 1,000 W/m<sup>2</sup>, cell temperature: 25°C and air mass of 1.5 (In accordance with EN 61215 norm)  
Caractéristiques en conditions de test standard de: 1.000 W/m<sup>2</sup>, température de la cellule 25°C et masse d'air de 1,5 (En accord avec la norme EN 61215)

8 **ATERSA**

**CONDICIONES ESTÁNDAR**

Fig. 14Detalle hoja de características Cortesía de ATERSA

COMPORTAMIENTO DEL PANEL FOTOVOLTAICO

Una vez conocidos estos parámetros, podemos determinar como afectan diferentes factores a los paneles fotovoltaicos.

### ELEMENTOS DE UN PANEL FOTOVOLTAICO

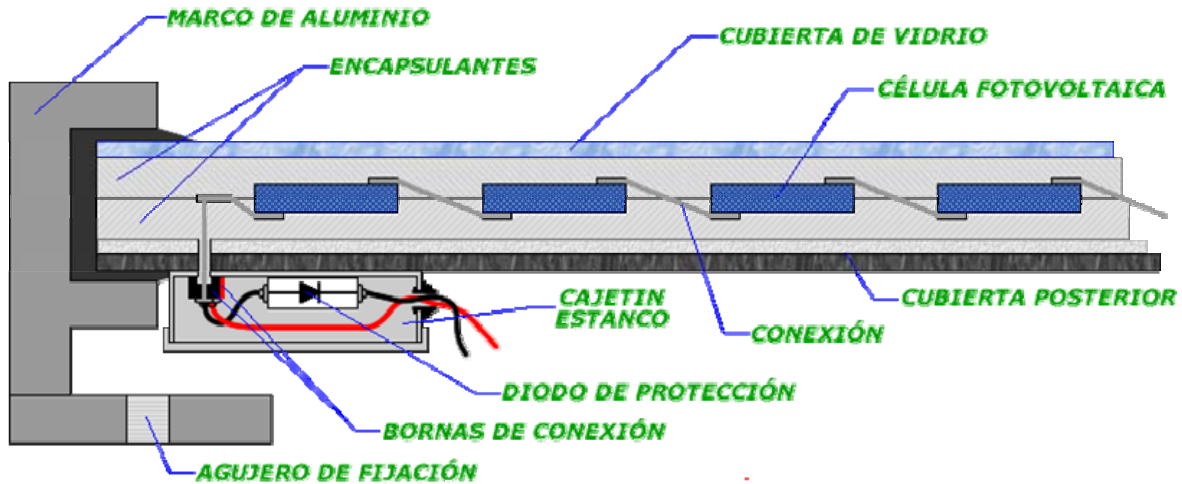


Fig. 15 Elementos de un panel fotovoltaico

- La intensidad aumenta con la radiación, permaneciendo más o menos constante el voltaje. Es importante conocer este efecto ya que los valores de la radiación cambian a lo largo de todo el día en función del ángulo del Sol con el horizonte, por lo que, es importante la adecuada colocación de los paneles existiendo la posibilidad de cambiar su posición a lo largo del tiempo, bien según la hora del día o la estación del año.

Un mediodía a pleno sol equivale a una radiación de  $1000 \text{ W/m}^2$ . Cuando el cielo está cubierto, la radiación apenas alcanza los  $100 \text{ W/m}^2$ .

- La exposición al Sol de las células provoca su calentamiento, lo que lleva aparejados cambios en la producción de electricidad. Una radiación de  $1000 \text{ W/m}^2$  es capaz de calentar una célula unos  $30^\circ\text{C}$  por encima de la temperatura del aire circundante. A medida que aumenta la temperatura, la tensión generada es menor, por lo que es recomendable montar los paneles de tal manera que estén bien aireados y, en el caso de que sea usual alcanzar altas temperaturas, plantearse la posibilidad de instalar paneles con un mayor número de células.

Este factor condiciona enormemente el diseño de los sistemas de concentración, ya que las temperaturas que se alcanzan son muy elevadas, por lo que las células, deben estar diseñadas para trabajar en ese rango de temperatura o bien, contar con sistemas adecuados para la disipación de calor.

- El número de células por modulo afecta principalmente al voltaje puesto que cada una de ellas produce  $0.4\text{V}$ . La  $V_{oc}$  del módulo aumenta en esa proporción.

Un panel solar fotovoltaico se diseña para trabajar a una tensión nominal  $V_{pn}$ , procurando que los valores de  $V_{Pmax}$  en las condiciones de iluminación y temperatura más frecuentes coincidan con  $V_{pn}$ .

Los parámetros bajo los que operan los paneles fotovoltaicos, para una determinada localización, hacen que la característica de voltaje DC de salida varíe dentro de un margen considerable a lo largo de todo el año. La radiación y la temperatura ambiente experimentan además otro tipo de variación debidos a factores diurnos y estacionarios.

### COMPORTAMIENTO DEL PANEL FOTOVOLTAICO

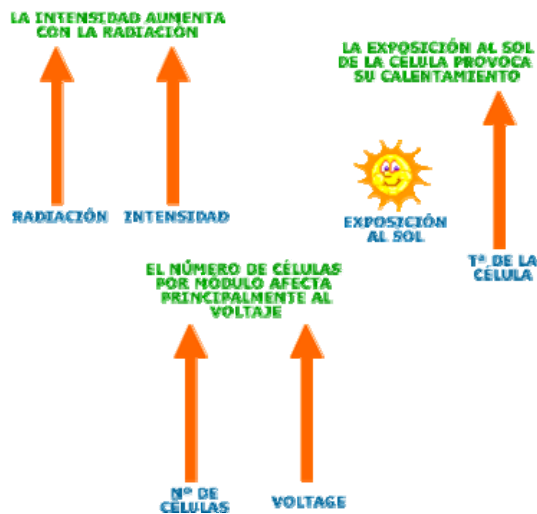


Fig. 16 Comportamiento del panel fotovoltaico.

### CELDA SOLARES

Una célula solar es un dispositivo capaz de convertir la energía proveniente de la radiación solar en energía eléctrica. La gran mayoría de las células solares que actualmente están disponibles comercialmente son de Silicio mono o policristalino. El primer tipo se encuentra más generalizado y aunque su proceso de elaboración es más complicado, suele presentar mejores resultados en cuanto a su eficiencia.

Por otra parte, la experimentación con materiales tales como el Telurio de Cadmio o el Diseleniuro de Indio-Cobre está llevando a las células fabricadas con estas sustancias a situaciones próximas ya a aplicaciones comerciales, contándose con las ventajas de poderse trabajar con tecnologías de láminas delgadas.

---

## LA CÉLULA SOLAR FOTOVOLTAICA

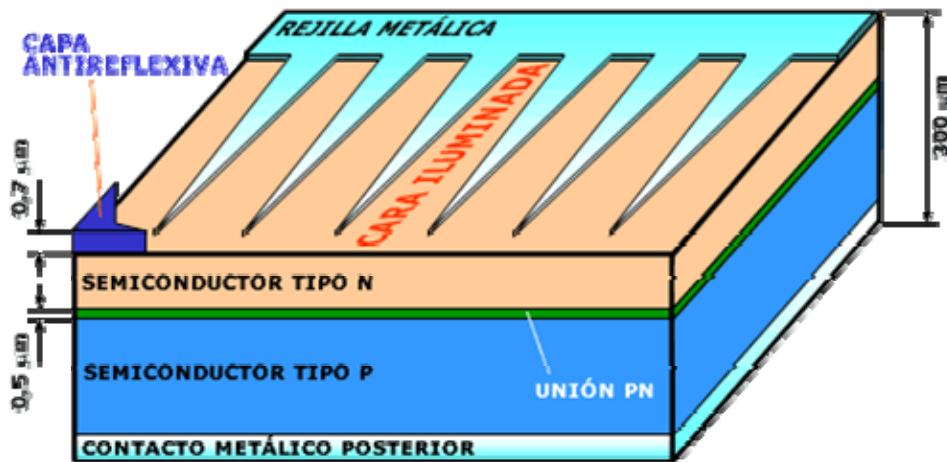


Fig. 17 Célula solar fotovoltaica.

### PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA CELULA SOLAR:

Cuando conectamos una célula solar a una carga y la célula está iluminada, se produce una diferencia de potencial en extremos de la carga y circula una corriente por ella (efecto fotovoltaico).

La corriente entregada a una carga por una célula solar es el resultado neto de dos componentes internas de corriente que se oponen. Estas son:

Corriente de iluminación: debida a la generación de portadores que produce la iluminación.

$$I_{ph} = I_L$$

Corriente de oscuridad: debida a la recombinación de portadores que produce el voltaje externo necesario para poder entregar energía a la carga.

$$I_D(V) = I_0 \left[ \exp \frac{eV}{KT_C} - 1 \right]$$

Los fotones serán los que formaran, al romper el enlace, los pares electrón-hueco y debido al campo eléctrico producido por la unión de materiales en la célula de tipo P y N, se separan antes de poder recombinarse formándose así la corriente eléctrica que circula por la célula y la carga aplicada.

Algunos fotones pueden no ser aprovechados para la creación de energía eléctrica por diferentes razones:

- Los fotones que tienen energía inferior al ancho de banda prohibida del semiconductor atraviesan el semiconductor sin ceder su energía para crear pares electrón-hueco.
- Aunque un fotón tenga una energía mayor o igual al ancho de banda prohibida puede no ser aprovechado ya que una célula no tiene la capacidad de absorberlos a todos.
- Además, los fotones pueden ser reflejados en la superficie de la célula.

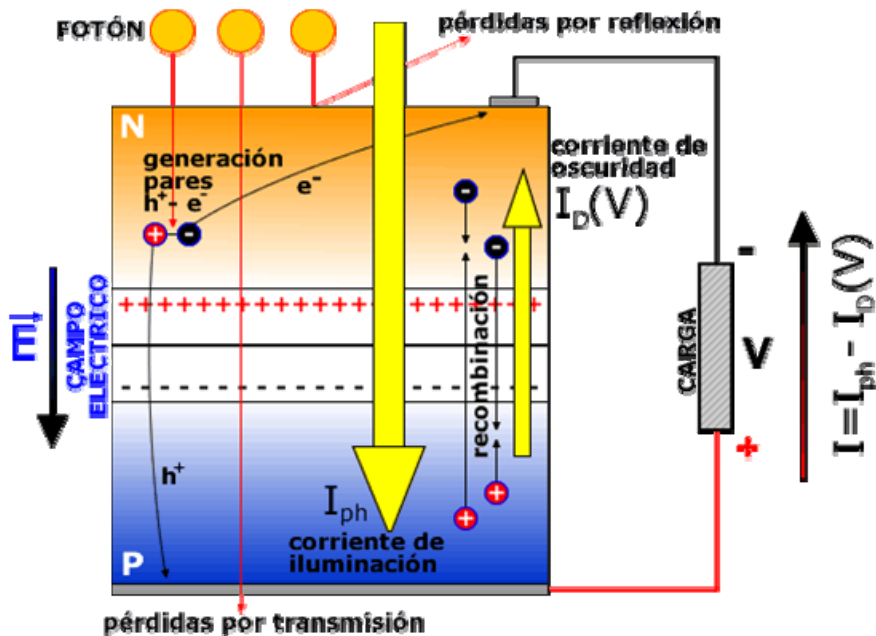


Fig. 18. Curva característica I.V.



**CURVA CARACTERÍSTICA I-V DE ILUMINACIÓN REAL:** La curva I-V de una célula fotovoltaica representa pares de valores de tensión e intensidad en los que puede encontrarse funcionando la célula. Los valores característicos son los siguientes:

**TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO ( $V_{oc}$ ):** que es el máximo valor de tensión en extremos de la célula y se da cuando esta no está conectada a ninguna carga.

**CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO ( $I_{sc}$ ):** definido como el máximo valor de corriente que circula por una célula fotovoltaica y se da cuando la célula está en cortocircuito.

**e:** es la carga del electrón e igual a  $1.6021 \times 10^{-19}$  C.

**m:** es un parámetro constructivo de la célula, normalmente igual a 1.

**K:** es la constante de Boltzman.

**T:** Temperatura en °K.

## CARACTERÍSTICA I-V DE ILUMINACIÓN

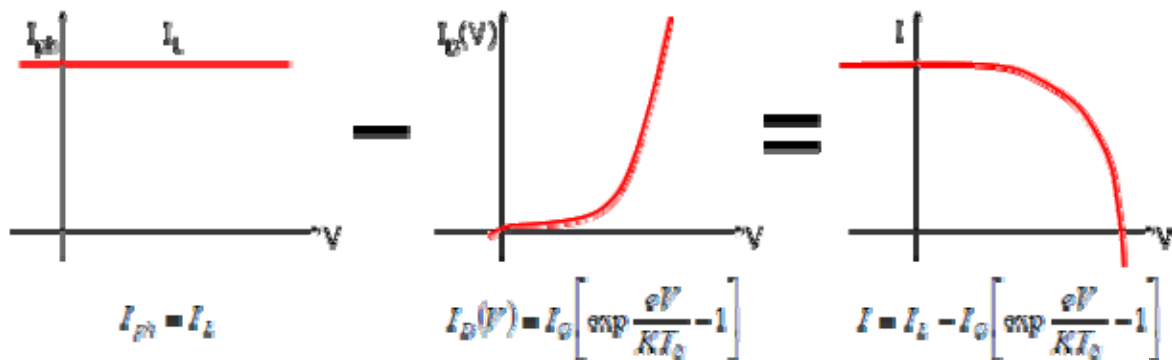


Fig. 19 Característica I-V de iluminación.

La siguiente ecuación representa todos los pares de valores (I/V) en que puede trabajar una celda fotovoltaica.

$$I = I_L - I_0 \left[ \exp \frac{e(V + IR_p)}{kT_0} - 1 \right] - \frac{V + IR_p}{R_p}$$

También se puede expresar con:

$$I = I_{sc} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{e(V_{oc} - V)}{n k T}} \right)$$

**PUNTO DE MAXIMA POTENCIA "PMP" ( $P_M$ ):** Es el producto del valor de tensión máxima ( $V_M$ ) e intensidad máxima ( $I_M$ ) para los que la potencia entregada a una carga es máxima.

**FACTOR DE FORMA (FF):** Se define como el cociente de potencia máxima que se puede entregar a una carga entre el producto de la tensión de circuito abierto y la intensidad de cortocircuito, es decir:

$$FF = \frac{I_M \cdot V_M}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

**EFICIENCIA DE CONVERSIÓN ENERGÉTICA O RENDIMIENTO:** Se define como el cociente entre la máxima potencia eléctrica que se puede entregar a la carga ( $P_M$ ) y la irradiancia incidente ( $P_L$ ) sobre la celda que es el producto de la irradiancia incidente  $G$  por el área de la célula  $S$ :

$$\eta = \frac{P_M}{P_L} = \frac{I_M \cdot V_M}{P_L}$$

Dichos parámetros se obtienen en unas **condiciones estándar** de medida de uso universal según la norma EN61215.

Irradiancia:  $1000\text{W/m}^2$  ( $1\text{KW/m}^2$ )

Distribución espectral de la radiación incidente: AM1.5 (masa de aire)

Incidencia normal.

Temperatura de la célula:  $25^\circ\text{C}$

Otro parámetro es la **TONC o Temperatura de Operación Nominal de la Celda**.

Dicho parámetro se define como la temperatura que alcanzan las celdas solares cuando se someten a las siguientes condiciones de operación:

Irradiancia:  $800\text{W/m}^2$

Distribución espectral de la radiación incidente: AM1.5 (masa de aire)

Incidencia normal

Temperatura ambiente: 20°C

Velocidad del viento: 1m/s

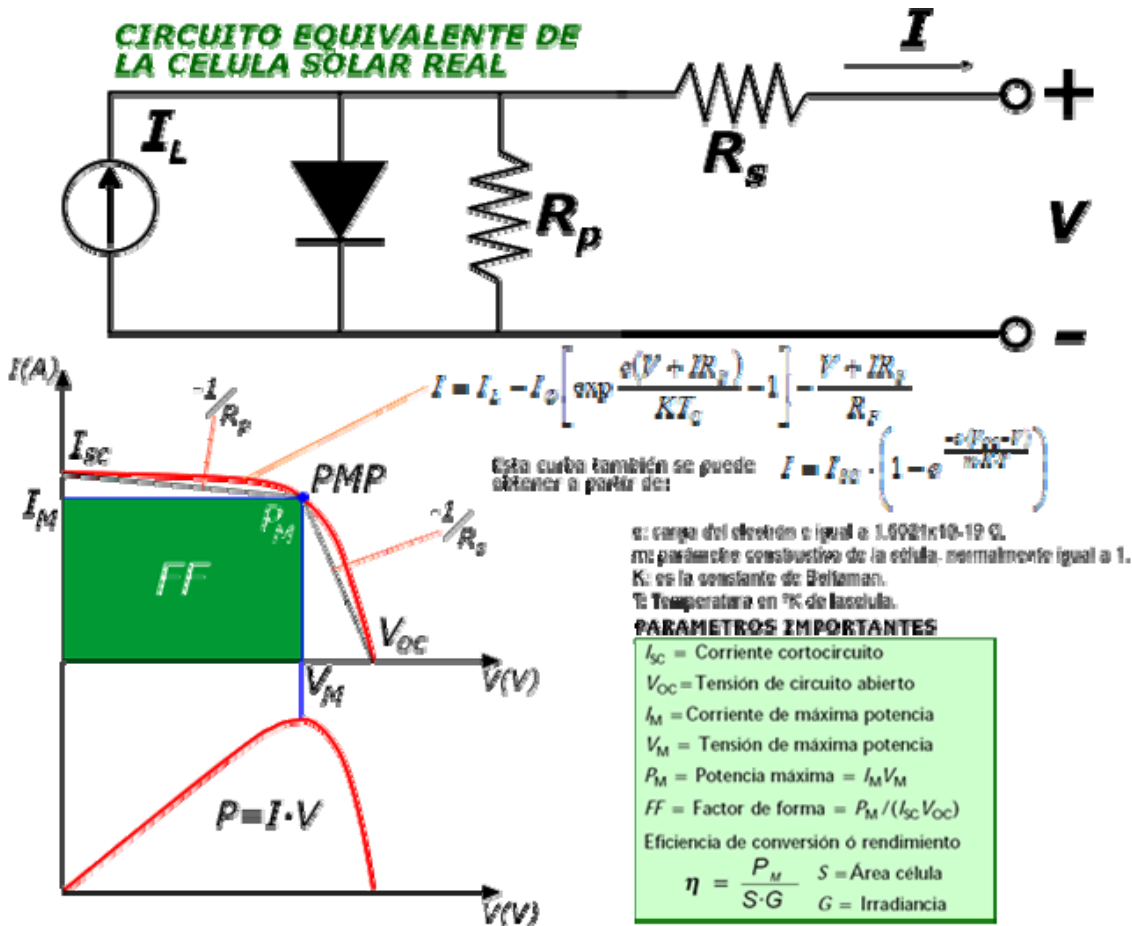


Fig. 20 Circuito equivalente de la celda solar real.

**INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LOS PARÁMETROS BÁSICOS DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA:** Al aumentar la temperatura de la célula empeora el funcionamiento de la misma:

- Aumenta ligeramente la Intensidad de cortocircuito.

- Disminuye la tensión de circuito abierto, aprox.:  $-2.3 \text{ mV/}^\circ\text{C}$
- El Factor de Forma disminuye.
- El rendimiento decrece.

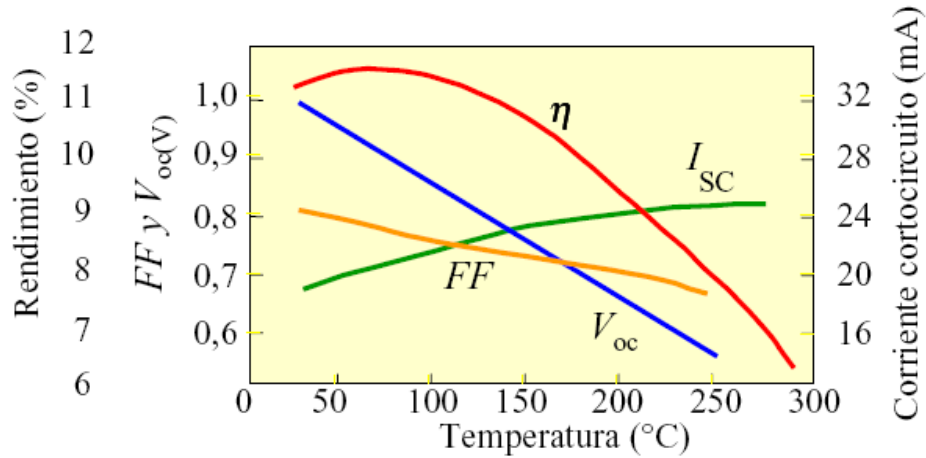


Fig. 21 Influencia de la temperatura

La tecnología del Silicio como material de base para la fabricación de celdas fotovoltaicas, está sujeta a constantes variaciones, experimentando diferencias importantes según los distintos fabricantes.



Fig. 22Detalle Celda Solar

Como resumen, en relación a la tecnología solar del silicio mono o policristalino, se puede indicar que su situación es madura, pero no obstante existe un amplio aspecto de posibles mejoras, muchas de ellas analizadas y verificadas en profundidad en laboratorios.

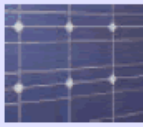
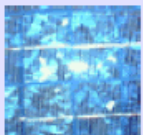

CELIDAS		RENDIMIENTO LABORATORIO	RENDIMIENTO DIRECTO	CARACTERÍSTICAS	FABRICACIÓN
	MONOCRISTALINO	24 %	15 - 18 %	Es típico los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralsky).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	POLICRISTALINO	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	AMORFO	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Fig. 23 Tecnologías de las Celdas solares.

Otros posibles materiales para la fabricación de celdas solares es el **Silicio amorfo**. Esta tecnología permite disponer de celdas de muy delgado espesor, lo cual presenta grandes ventajas. Adicionalmente su proceso de fabricación es, al menos teóricamente, más simple y sustancialmente más barato. La eficiencia es comparativamente algo menor que en los casos anteriores (6-8%) y todavía no se dispone de datos suficientes en cuanto a su estabilidad. Su principal campo de aplicación en la actualidad son los relojes, juguetes, calculadoras y otras aplicaciones de consumo. Dentro de las aplicaciones energéticas equivalentes a las de la tecnología del Silicio cristalino, su versatilidad es muy adecuada para la confección de módulos semitransparentes empleados en algunas instalaciones integradas en edificios.

## 3.1.2 LAS BATERIAS

En las instalaciones fotovoltaicas lo más habitual es utilizar un conjunto de baterías asociadas en serie o paralelo para almacenar la energía eléctrica generada durante las horas de radiación, para su utilización posterior en los momentos de baja o nula insolación. Hay que destacar que la fiabilidad de la instalación global de electrificación depende en gran medida de la del sistema de acumulación, siendo por ello un elemento al que hay que dar la gran importancia que le corresponde.



Fig. 24. ATERSA Ejemplo de batería fotovoltaica.

De cara a su empleo en instalaciones de electrificación fotovoltaica, es necesario conocer los siguientes conceptos:

- Capacidad: Es la cantidad de electricidad que puede obtenerse mediante la descarga total de una batería inicialmente cargada al máximo. La capacidad de un

acumulador se mide en Amperios-hora (Ah), para un determinado tiempo de descarga, es decir una batería de 130Ah es capaz de suministrar 130A en una hora o 13A en diez horas. Para acumuladores fotovoltaicos es usual referirse a tiempos de descarga de 100 horas. También al igual que para módulos solares puede definirse el voltaje de circuito abierto y el voltaje en carga. Las baterías tienen un voltaje nominal que suele ser de 2, 6, 12, 24V, aunque siempre varíe durante los distintos procesos de operación. Es importante el voltaje de carga, que es la tensión necesaria para vencer la resistencia que opone el acumulador a ser cargado.

### ASOCIACIÓN DE LAS BATERÍAS

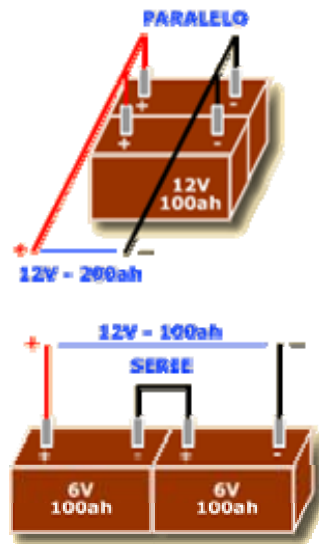


Fig. 25. Asociación de las baterías.

- Eficiencia de carga: Que es la relación entre la energía empleada para cargar la batería y a realmente almacenada. Una eficiencia del 100% significa que toda la energía empleada para la carga puede ser remplazada para la descarga posterior. Si la eficiencia de carga es baja, es necesario dotarse de un mayor número de paneles para realizar las mismas aplicaciones.

- Auto descarga: Es el proceso por el cual el acumulador, sin estar en uso, tiende a descargarse.

- Profundidad de descarga: Se denomina profundidad de descarga al valor en tanto por ciento de la energía que se ha sacado de un acumulador plenamente cargado en una descarga. Como ejemplo, si tenemos una batería de 100Ah y la sometemos a una descarga de 20Ah, esto representa una profundidad de descarga del 20%.

A partir de la profundidad de descarga podemos encontrarnos con descargas



superficiales (de menos del 20%) o profundas (hasta 80%). Ambas pueden relacionarse con ciclos diarios y anuales. Es necesario recalcar que cuanto menos profundos sean los ciclos de carga/descarga, mayor será la duración del acumulador. También es importante saber que, para la mayoría de los tipos de baterías, un acumulador que queda totalmente descargado, puede quedar dañado seriamente y perder gran parte de su capacidad de carga.

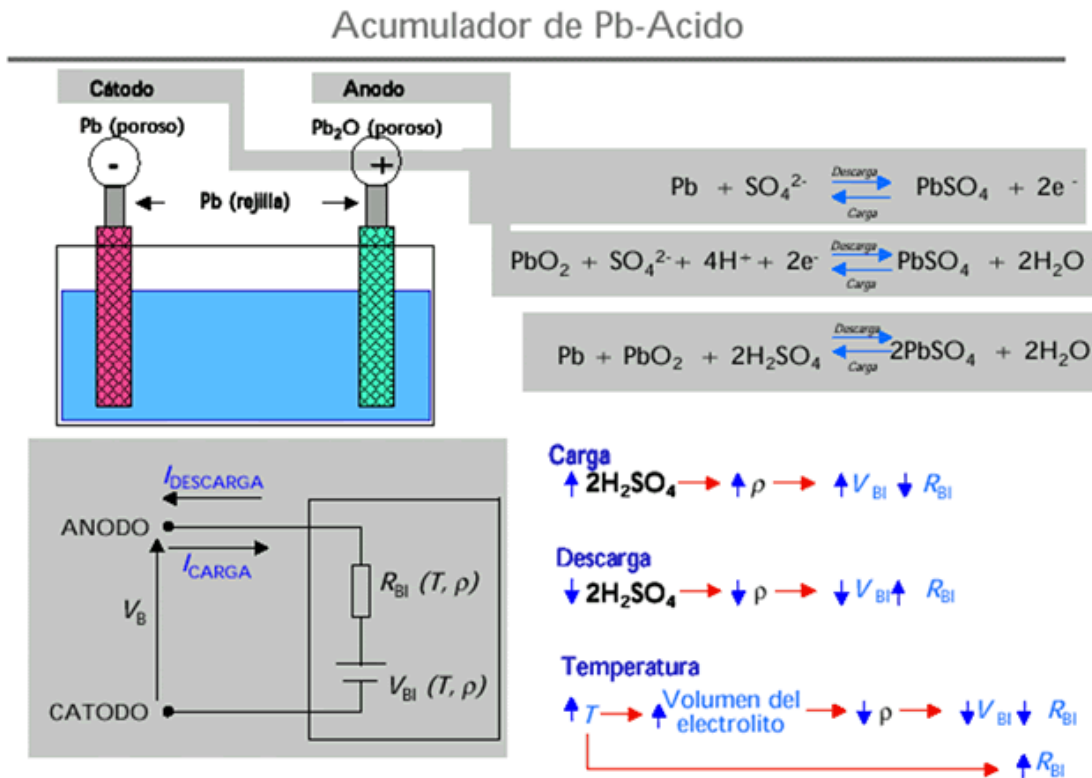


Fig. 26 Reacción química en las baterías.

Cortesía M.A Ejido. Instituto Energía Solar. Madrid

Todos estos parámetros característicos de los acumuladores pueden variar sensiblemente con las condiciones ambientales, tal como ocurría en los módulos fotovoltaicos.

En diferentes fases de desarrollo se encuentran baterías de distintos tipos, algunos de los cuales son:

- Plomo ácido (Pb-ácido)
- Níquel-Cadmio (Ni-Cd)
- Níquel-Zinc (Ni-Zn)
- Zn-Cloro (Zn-Cl<sub>2</sub>)



Fig. 27. ATERSA Ejemplo de batería estacionaria

De todos los acumuladores más del 90% del mercado corresponde a las baterías de plomo ácido, que en general, y siempre que pueda realizarse un mantenimiento, son las que mejor se adaptan a los sistemas de generación fotovoltaica. Dentro de las de plomo ácido se encuentran las de Plomo-Calcio (Pb-Ca) y las de Plomo-Antimonio (Pb-Sb). Las primeras tienen a su favor una menor auto descarga, así como un mantenimiento mas limitado, mientras que las de Pb-Sb de tipo abierto y tubular se deterioran menos con la sucesión de ciclos y presentan mejores propiedades para niveles de baja carga. Este segundo tipo de baterías soporta grandes descargas y siempre tienen, atendiendo a las condiciones de uso, una vida media de diez o quince años.



Fig. 28. ATERSA Ejemplo de batería estanca

Por su implantación a nivel comercial tiene también cierta importancia los acumuladores de Níquel-Cadmio, que entre otras ventajas frente a las de plomo ácido presentan la posibilidad de ser empleados sin elemento regulador, la posibilidad de permanecer largo tiempo con bajo estado de carga, la estabilidad en la tensión suministrada y un mantenimiento mucho más espaciado en el tiempo. Sin embargo, su coste se cuadruplica y su baja capacidad a régimen de descarga lenta, no se aconseja su uso en gran parte de las aplicaciones fotovoltaicas.



Fig. 29 Colocación de las baterías.

Todas estas baterías pueden presentarse en forma estanca, conocidas como libres de mantenimiento o sin mantenimiento, lo que es beneficioso para algunas aplicaciones. No obstante, presentan una duración muy limitada frente a los acumuladores abiertos, no existen en el mercado acumuladores estancos de alta capacidad y son más caros que los abiertos.

El resto de baterías no presenta en la actualidad características que hagan recomendable su empleo en sistemas de electrificación fotovoltaica.

En relación a las baterías deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Instalar las baterías en lugares ventilados, evitando la presencia de llamas cerca de las mismas.
- Ajustar el nivel del electrolito hasta la altura recomendada por el fabricante, utilizando siempre agua destilada, nunca agua del grifo y teniendo especial precaución para no tocarlo ni derramarlo.
- Una vez conectadas las baterías, las bornas deben cubrirse con vaselina.
- No utilizar las baterías del sistema fotovoltaico para arrancar vehículos.
- No debe utilizarse conjuntamente baterías de distintos tipos cuando no estén preparadas para ello.
- Con el fin de prevenir posibles cortocircuitos debe respetarse la polaridad, las herramientas deben estar adecuadamente protegidas y las baterías o los terminales deben estar cubiertos para prevenir cortocircuitos accidentales por caída de objetos.
- Las baterías deben estar colocadas por encima del nivel del suelo.

### 3.1.3 EL REGULADOR FOTOVOLTAICO

Para un funcionamiento satisfactorio de la instalación en la unión de los paneles solares con la batería ha de instalarse un sistema de regulación de carga. Este sistema es siempre necesario, salvo en el caso de los paneles autorregulados. El regulador tiene como función fundamental impedir que la batería continúe recibiendo energía del colector solar una vez que ha alcanzado su carga máxima. Si, una vez que se ha alcanzado la carga máxima, se intenta seguir introduciendo energía, se inicia en la batería procesos de gasificación (hidrólisis del agua en hidrógeno y oxígeno) o de calentamiento, que pueden llegar a ser peligroso y, en cualquier caso, acortaría sensiblemente la vida de la misma.



Fig. 30Regulador fotovoltaico.

La función del regulador es la prevención de la sobre descarga, con el fin de evitar que se agote en exceso la carga de la batería, siendo éste un fenómeno, que

como ya se ha dicho, puede provocar una sensible disminución en la capacidad de carga de la batería en sucesivos ciclos. Algunos reguladores incorporan una alarma sonora o luminosa previa a la desconexión para que el usuario pueda tomar medidas adecuadas, como reducción del consumo, u otras. Los reguladores más modernos integran las funciones de prevención de la sobrecarga y las sobre descargas en un mismo equipo, que además suministra información del estado de carga de la batería, la tensión existente en la misma a demás de ir provistos de sistemas de protección tales como fusibles, diodos, etc., para prevenir daños en los equipos debidos a excesivas cargas puntuales. Estos reguladores también pueden incorporar sistemas que sustituyan a los diodos encargados de impedir el flujo de electricidad de la batería a los paneles solares en la oscuridad, con un costo energético mucho menor.

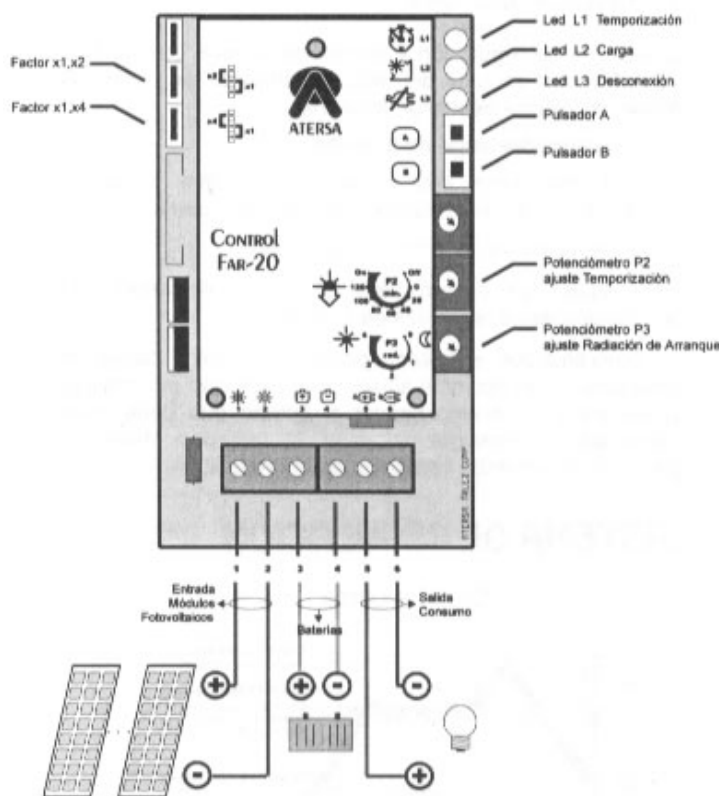


Fig. 31 Los reguladores con funciones de prevención de la sobrecarga y las sobre descargas

También es interesante incorporar modelos de regulación que introducen modos de carga “en flotación”, lo cual permite una carga más completa de las baterías y un mejor aprovechamiento de la energía de los paneles.

Las características eléctricas que definen un regulador son su tensión nominal y la intensidad máxima que es capaz de disipar.

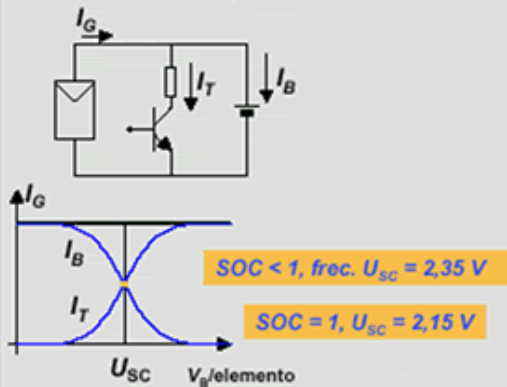
## Regulador de carga de batería

**FUNCION:** Evitar las situaciones de sobrecarga y sobredescarga, para preservar la vida de la batería.

**PROCEDIMIENTO:** Detección del SOC a partir de VB  $\Delta U_{SC}(T) = -5 \text{ mV/}^\circ\text{C}$

### REGULADOR PARALELO

- \* Solo regula la sobrecarga
- \* Indicado en pequeñas instalaciones



### REGULADOR SERIE

- \* Regula la sobrecarga y la sobredescarga
- \* El interruptor puede ser electromecánico o estático
- \* Puede incorporar otras funciones como: alarmas, interrupción nocturna, etc

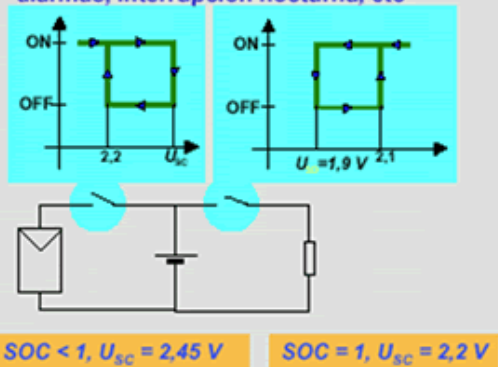


Fig. 32 Regulador serie y paralelo

### 3.1.4 EL INVERSOR FOTOVOLTAICO

En este apartado, se va a hacer referencia a los convertidores e inversores, elementos cuya finalidad es adaptar las características de la corriente generada a la demanda total o parcial para las aplicaciones.



Fig. 33ATERSA Ejemplo inversores

En determinadas aplicaciones que trabajan en corriente continua, no es posible hacer coincidir las tensiones proporcionadas por el acumulador con la solicitada por todos los elementos de consumo. En estos casos la mejor solución es un convertidor de tensión continua.

En otras aplicaciones, la utilización incluye elementos que trabajan en corriente alterna. Puesto que tanto los paneles como las baterías trabajan en corriente continua, es necesaria la presencia de un inversor que transforme la corriente



continua en alterna.

Un inversor viene caracterizado principalmente por la tensión de entrada, que se debe adaptar a la del generador, la potencia máxima que puede proporcionar y la eficiencia. Esta última se define como la relación entre la potencia eléctrica que el inversor entrega a la utilización (potencia de salida) y la potencia eléctrica que extrae del generador (potencia de entrada).



Fig. 34 Inversor de UNIVER

La eficiencia del inversor varía en función de la potencia consumida por la carga. Esta variación es necesario conocerla, sobre todo si la carga en alterna es variable a fin de que el punto de trabajo del equipo se ajuste lo mejor posible a un valor promedio especificado.

Aspectos importantes que habrán de cumplir los inversores para instalaciones autónomas son:

- Deberán tener una eficiencia alta, pues en caso contrario se habrá de aumentar innecesariamente el número de paneles para alimentar la carga. No todos los inversores existentes en el mercado cumplen estas características. Sin embargo, es cada vez más sencillo equipos específicamente diseñados para cubrir plenamente estas aplicaciones.

- Estar adecuadamente protegidos contra cortocircuitos y sobrecargas.
- Incorporar rearme y desconexión automáticas cuando no se esté empleando ningún equipo de corriente alterna.
- Admitir demandas instantáneas de potencia mayores del 200% de su potencia máxima.
- Cumplir con los requisitos, que para instalaciones de 220V. C.A. establece el Reglamento de Baja Tensión.

En cualquier caso la definición del inversor a utilizar debe realizarse en función de las características de la carga. En función de esta última se podrá acudir a equipos más o menos complejos.

Se recomienda acudir a inversores diseñados específicamente para aplicaciones fotovoltaicas.

Por otra parte, existen en el mercado tipos muy diferentes de inversores, con grados de complejidad y prestaciones muy variables. Según el tipo de cargas que vaya a alimentar, es posible recurrir a inversores muy simples, de onda cuadrada o si así se requiere, inversores de señal senoidal, más o menos sofisticados.

## Convertidor DC/AC (Inversor)

**FUNCION:** Transformar la salida DC del generador fotovoltaico en AC con la mayor eficiencia posible.

**PROCEDIMIENTO:** Generar una onda de impulsos mediante interruptores a partir de la DC, y eliminar los armónicos indeseados.

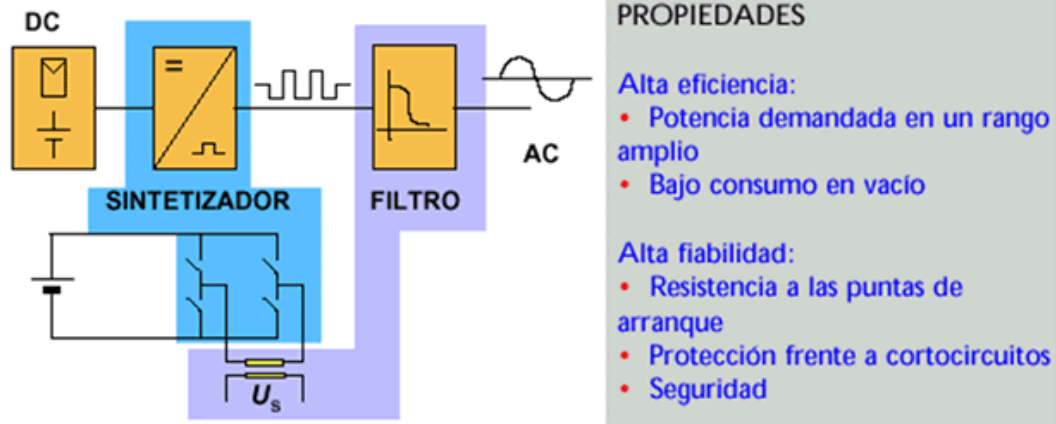


Fig. 35 Convertidor DC/AC Cortesía M.A Ejido. Instituto Energía Solar. Madrid

Características eléctricas que han de cumplir los inversores para instalaciones conectadas a red:

- Tensión de entrada Vdc
- Potencia del Inversor Kw.
- Tensión de Salida 0,85 - 1,1Vac
- Factor de Potencia mayor de 0,95
- Frecuencia 49 - 51Hz
- Tasa de distorsión armónica (Tensión - Corriente)
- Trifásico mayor de 5kW (recomendado)

Requisitos de los inversores para instalaciones conectadas a red:

- Alta eficiencia
- Baja distorsión armónica
- Seguimiento del punto de máxima potencia
- Bajo consumo
- Protección contra sobre tensiones
- Aislamiento galvánico
- No funcionamiento en isla
- Conexión/Desconexión automática
- Sistema de medidas y monitorización

## 3.2 LOS FUNDAMENTOS DEL LED

Casi todos estamos familiarizados con los leds, los conocemos de verlos en el frente de muchos equipos de uso cotidianos, como radios, televisores, teléfonos celulares y display de relojes digitales, sin embargo la falta de una amplia gama de colores y una baja potencia lumínica han limitado su uso considerablemente. No obstante eso esta cambiando gradualmente con la introducción de nuevos materiales que han permitido crear leds de prácticamente todo el espectro visible de colores y ofreciendo al mismo tiempo una eficiencia lumínica que supera a la de las lámparas incandescentes. Estos brillantes, eficientes y coloridos nuevos leds están expandiendo su dominio a un amplio rango de aplicaciones de iluminación desplazando a su anterior campo de dominio que era el de la mera indicación. Si consideramos su particularidad de bajo consumo energético y su prácticamente imbatible ventaja para su uso en señalamiento exterior (carteles de mensaje variables y señales de transito) tendremos que el futuro de estos pequeños dispositivos semiconductores es realmente muy promisorio tal como lo indican los números actuales de crecimiento de mercado a nivel mundial.

## 3.2.1 FUNCIONAMIENTO DEL LED.

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 mas 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 el 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 orbita 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 orbita 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 orbita 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<sup>8</sup> (1000 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 orbita 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 caso 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



Fig. 36 Diodo LED.

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.

## 3.2.2 CREANDO EL DIODO

Cuando unimos Silicio N y Silicio P, tenemos una juntura semiconductor P-N este es el dispositivo semiconductor mas 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 tal como sucede en los molinetes de subte con las personas.

Cuando conectamos el diodo a una batería con la 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 recombinan formando así una corriente que fluirá en forma permanente.

Un diodo real cuando se conecta en reversa tiene una pequeña corriente de perdida del orden de los 10 micro amperes 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)

Tenemos entonces que para sacar un electrón de su orbita 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.

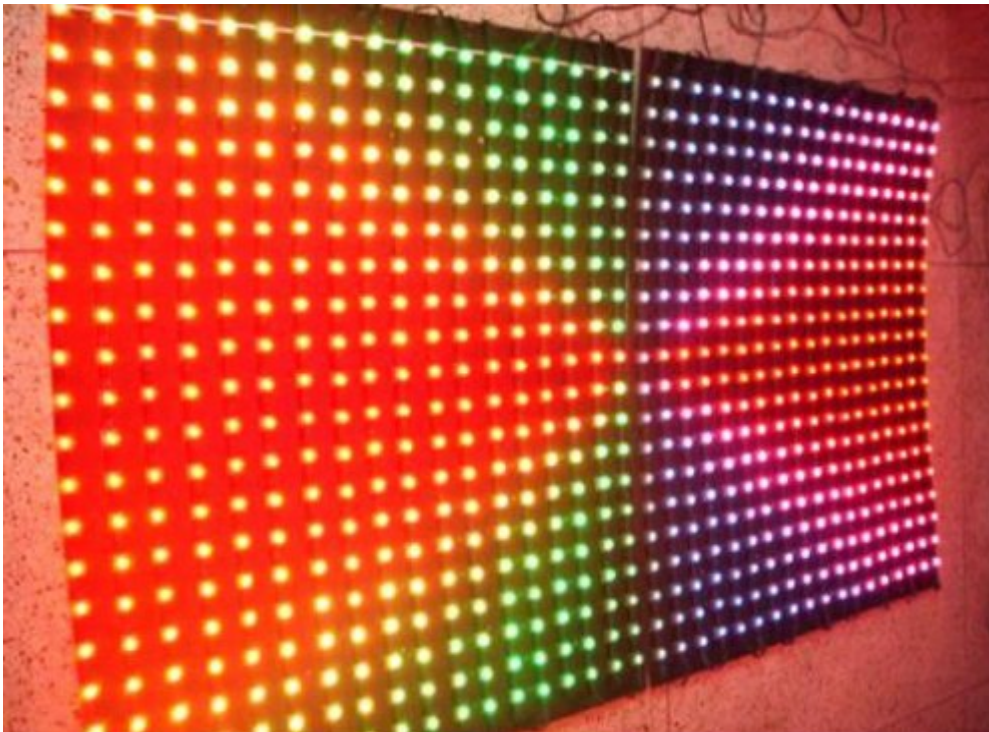


Fig. 37 De diodos a Leds

Como dijimos, 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.

O sea 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 pasaremos 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, los mismos que se enumeraron al inicio.

### 3.2.3 ENCAPSULADO 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 más específicas.

Por ahora nos detendremos a estudiar las partes constitutivas de un led a través de la figura 1.1 la cual representa tal vez el encapsulado más popular de los leds que es el T1  $\frac{3}{4}$  de 5mm. De diámetro.

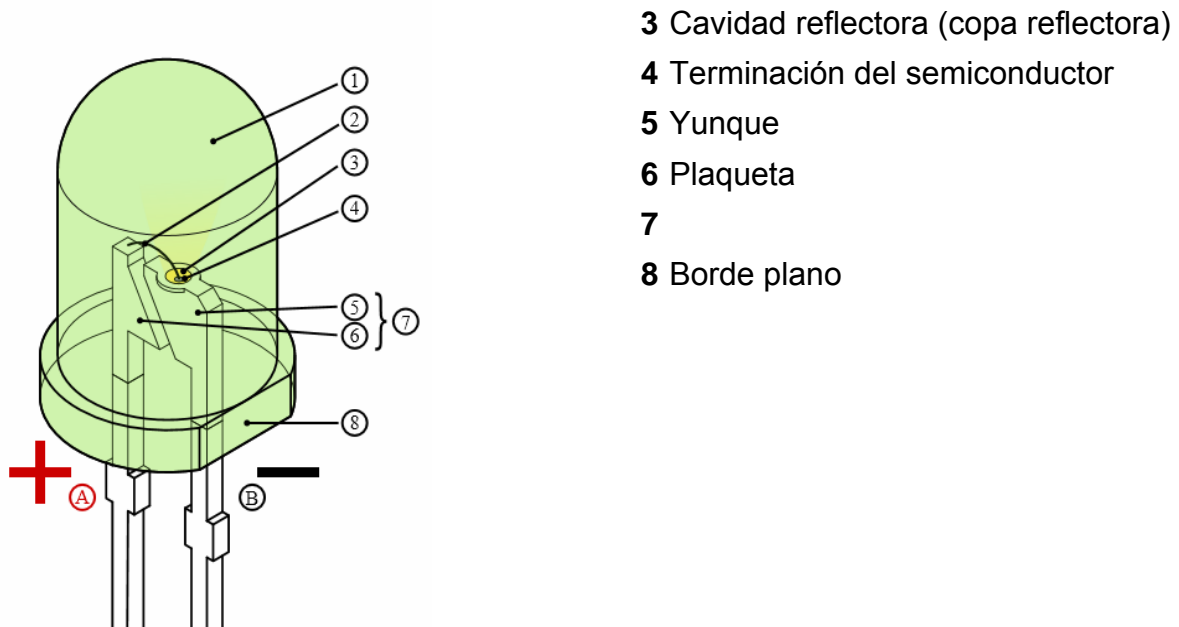


Fig. 38Partes constitutivas de un LED

**A** Ánodo

**B** Cátodo

**1** Lente/encapsulado epóxico  
(capsula plastica)

**2** Contacto metálico (hilo conductor)

Como vemos 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 podemos 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 crítico en la fabricación y concepción del led ya que un mal enfoque puede ocasionar una perdida considerable de energía o una proyección despareja.

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 más brillante en el exterior de círculo, 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 esta 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 necesitara 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 mas chico sea el ángulo y a igual sustrato semiconductor se tendrá un mayor potencia de emisión y viceversa

Otro componente del led que no es muestra en la figura pero que es común encontrarlo en los led de 5mm son los stand-s.f. 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 epoxico que es el encargado de proteger al semiconductor de las inclemencias ambientales y como dijimos ayuda a formar el haz de emisión.

## 3.2.4 ENCAPSULADOS

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

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.

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.

Difuso o difused: Estos leds tiene un aspecto mas opacos 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 encapsulo le otorgan un brillo muy parejo sobre casi todos los ángulos prácticos de visión.

Lechosos o Milky: Este tipo de encapsulado es un tipo difuso pero sin colorear, estos encapsulado son muy utilizados en leds bicolores 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.

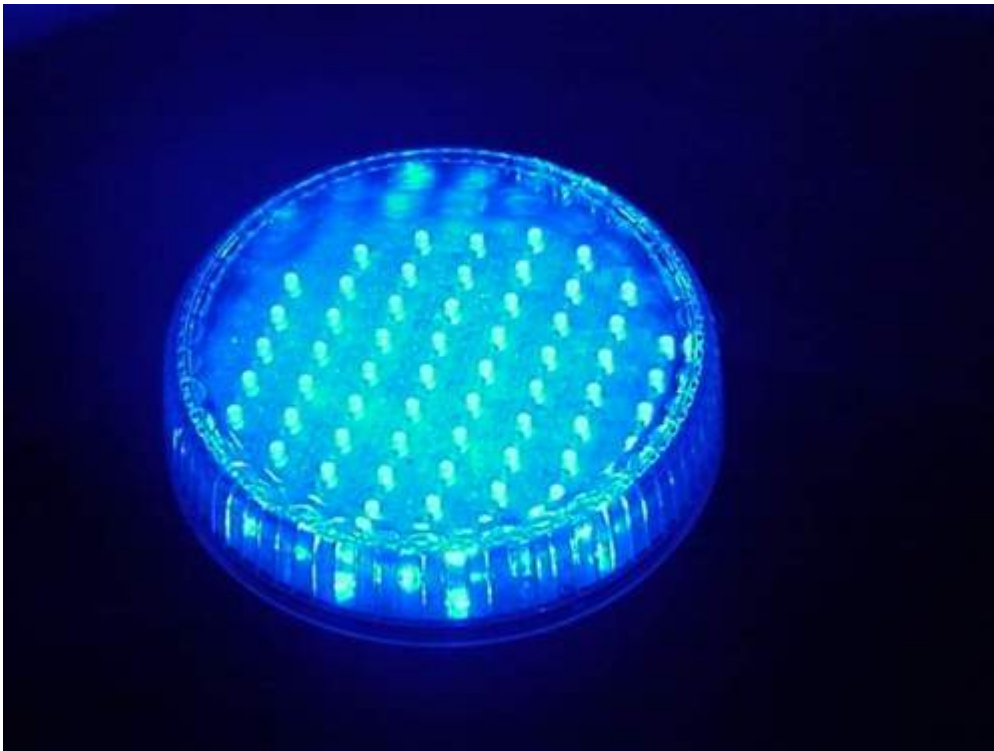


Fig. 39 Evolución de los leds

El primer led comercialmente utilizable fue desarrollado en el año 1962, combinando Galio, Arsénico y Fósforo (GaAsP) con lo cual se consiguió un led rojo con una frecuencia de emisión de unos 650 nm. Con una intensidad relativamente baja, aproximadamente 10mcd @20mA, (mcd = mili candela,

posteriormente explicaremos las unidades fotométricas y radio métricas utilizadas para determinar la intensidad lumínica de los leds). El siguiente desarrollo se basó en el uso del Galio en combinación con el Fósforo (GaP) con lo cual se consiguió una frecuencia de emisión del orden de los 700nm. A pesar de que se conseguía una eficiencia de conversión electrón- fotón o corriente-luz mas elevada que con el GaAsP, esta se producía a relativamente baja corrientes, un incremento en la corriente no generaba un aumento lineal en la luz emitida, sumado a esto se tenia que la frecuencia de emisión estaba muy cerca del infrarrojo una zona en la cual el ojo no es muy sensible por lo que el led parecía tener bajo brillo a pesar de su superior desempeño de conversión.

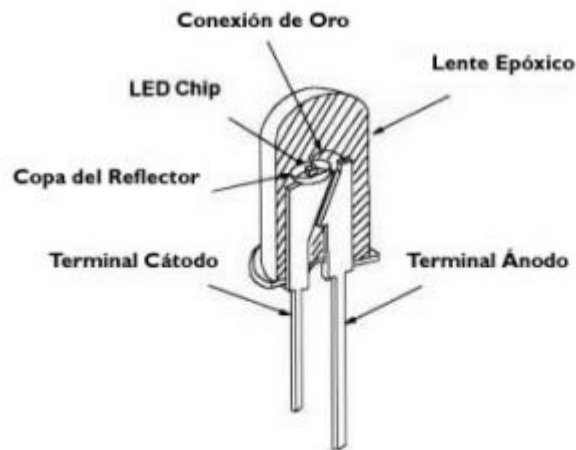
Los siguientes desarrollos, ya entrada la década del 70, introdujeron nuevos colores al espectro. Distinta proporción de materiales produjo distintos colores. Así se consiguieron colores verde y rojo utilizando GaP y ámbar, naranja y rojo de 630nm (el cual es muy visible) utilizando GaAsP. También se desarrollaron leds infrarrojos, los cuales se hicieron rápidamente populares en los controles remotos de los televisores y otros artefactos del hogar.

En la década del 80 un nuevo material entró en escena el GaAlAs Galio, Aluminio y Arsénico. Con la introducción de este material el mercado de los leds empezó a despegar ya que proveía un mayor rendimiento sobre los leds desarrollados previamente. Su brillo era aproximadamente 10 veces superior y además se podía utilizar a elevadas corrientes lo que permitía utilizarlas en circuitos multiplexados con lo que se los podía utilizar en display y letreros de mensaje variable. Sin embargo este material se caracteriza por tener un par de limitaciones, la primera y más evidente es que se conseguían solamente frecuencias del orden de los 660nm (rojo) y segundo que se degradan más rápidamente en el tiempo que los otros materiales, efecto que se hace más notorio ante elevadas temperaturas y humedades. Hay que hacer notar que la calidad del encapsulado es un factor fundamental en la ecuación temporal. Los primeros desarrollos de resinas epóxicas para el encapsulado poseían una no muy buena impermeabilidad ante la humedad, además los primeros leds se fabricaban manualmente, el posicionamiento del sustrato y vertido de la resina era realizado por operarios y no por maquinas automáticas como hoy en día, por lo que la calidad del led era bastante variable y la vida útil mucho menor que la esperada. Hoy en día esos problemas fueron superados y cada vez son mas las fabricas que certifican la norma ISO 9000 de calidad de proceso. Además últimamente es más común que las resinas posean inhibidores de rayos UVA y UVB, especialmente en aquellos leds destinado al uso en el exterior.

En los 90 se apareció en el mercado tal vez el más exitoso material para producir

leds hasta la fecha el AlInGaP Aluminio, Indio, Galio y Fósforo. Las principales virtudes de este tetar compuesto son que se puede conseguir una gama de colores desde el rojo al amarillo cambiando la proporción de los materiales que lo componen y segundo, su vida útil es sensiblemente mayor, a la de sus predecesores, mientras que los primeros leds tenia una vida promedio efectiva de 40.000 horas los leds de AlInGaP podían mas de 100.000 horas aun en ambientes de elevada temperatura y humedad.

Led de Baja Potencia del tipo 5mm



Led de Media y Alta Potencia

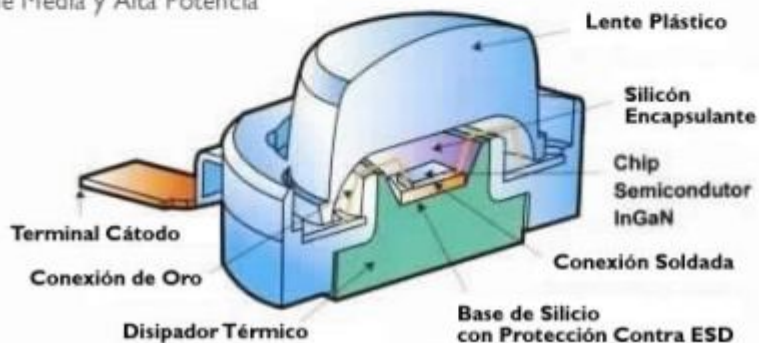


Fig. 40.Led de montaje normal y superficial.

Es de notar que muy difícilmente un led se queme, si puede ocurrir que se ponga en cortocircuito o que se abra como un fusible e incluso que explote si se le hace circular una elevada corriente, pero en condiciones normales de uso un led se degrada o sea que pierde luminosidad a una tasa del 5 % anual. Cuando el led ha

perdido el 50% de su brillo inicial, se dice que ha llegado al fin de su vida útil y eso es lo que queremos decir cuando hablamos de vida de un led. Un rápido cálculo nos da que en un año hay 8760 horas por lo que podemos considerar que un LED de AlInGaP tiene una vida útil de más de 10 años. Como dijimos uno de factores fundamentales que atentan contra este número es la temperatura, tanto la temperatura ambiente como la interna generada en el chip, por lo tanto luego nos referiremos a técnicas de diseño de circuito impreso para bajar la temperatura.

Explicaremos un detalle de mucha importancia respecto a los leds y su construcción. Cuando se fabrica el led, se lo hace depositando por capas a modo de vapores, los distintos materiales que componen el led, estos materiales se depositan sobre una base o sustrato que influye en la dispersión de la luz. Los primeros leds de AlInGaP se depositaban sobre sustratos de GaAs el cual absorbe la luz innecesariamente. Un adelanto en este campo fue reemplazar en un segundo paso el sustrato de GaAs por uno de GaP el cual es transparente, ayudando de esta forma a que más luz sea emitida fuera del encapsulado. Por lo tanto este nuevo proceso dio origen al TS AlInGaP (Transparent Substrate) y los AlInGaP originales pasaron a denominarse AS AlInGaP (Absorbent Substrate). Luego este mismo proceso se utilizó para los led de GaAlAs dando origen al TS GaAlAs y al AS GaAlAs. En ambos casos la Eficiencia luminosa se incrementaba típicamente en un factor de 2 pudiendo llegar en algunos casos a incrementarse en un factor de 10. Como efecto secundario de reemplazar el AS por el TS se nota un pequeño viro al rojo en la frecuencia de emisión, generalmente menor a los 10nm.

A final de los 90 se cerró el círculo sobre los colores del arco iris, cuando gracias a las tareas de investigación del Shuji Nakamura, investigador de Nichia, una pequeña empresa fabricante de leds de origen japonés, se llegó al desarrollo del led azul, este led siempre había sido difícil de conseguir debido a su elevada energía de funcionamiento y relativamente baja sensibilidad del ojo a esa frecuencia (del orden de los 460 nm) Hoy en día coexisten varias técnicas diferentes para producir luz azul, una basada en el SiC Silicio – Carbono otra basada en el GaN Galio – Nitrógeno, otra basada en InGaN Indio-Galio-Nitrógeno sobre sustrato de Zafiro y otra GaN sobre sustrato SiC. El compuesto GaN, inventado por Nakamura, es actualmente el más utilizado. Otras técnicas como la de ZnSe Zinc – Selenio ha sido dejadas de lado y al parecer el SiC seguirá el mismo camino debido a su bajo rendimiento de conversión y elevada degradación con la temperatura.

Dado que el azul es un color primario, junto con el verde y el rojo, tenemos hoy en



día la posibilidad de formar el blanco con la combinación de los tres y toda la gama de colores del espectro, esto permite que los display gigantes y carteles de mensajes variables full color se hagan cada día más habituales en nuestra vida cotidiana.

Es también posible lograr otros colores con el mismo material GaN, como por ejemplo el verde azulado o turquesa, de una frecuencia del orden de los 505 nm. Este color es importante ya que es el utilizado para los semáforos y entra dentro de la norma IRAM 2442 Argentina y VTCSH parte 2 americana y otras. Su tono azulado lo hace visible para las personas daltónicas. El daltonismo es una enfermedad congénita que hace a quien lo padece ser parcialmente ciego a determinadas frecuencias de color, generalmente dentro de ellas esta la correspondiente al verde puro que tiene una frecuencia del orden de los 525 nm.



Fig. 41 Led en diferentes colores.

Otros colores también son posibles de conseguir como por ejemplo el púrpura, violeta o ultravioleta. Este último es muy importante para la creación de una forma

más eficiente de producir luz blanca que la mera combinación de los colores primarios, ya que añadiendo fósforo blanco dentro del encapsulado, este absorbe la radiación ultravioleta y emite frecuencia dentro de todo el espectro visible, logrando luz blanca en un proceso similar al que se produce en el interior de los tubos fluorescentes. A veces el fósforo posee una leve tonalidad amarillenta para contrarrestar el tono azulado de la luz del semiconductor.

Luego de tantos materiales y frecuencias de ondas sería bueno resumir todo esto en una forma más clara, es por ello en la tabla 1.1 se detallan los distintos frecuencias de emisión típica de los leds comercialmente disponibles y sus materiales correspondientes. Los datos técnicos fueron obtenidos de distintos fabricantes. Es de notar que la resolución del ojo es del orden de los 3 a 5 nm. según el color de que se trate.

Para tener una idea aproximada de la relación entre la frecuencia expresada en nanómetros y su correspondencia con un color determinado es que a continuación se presenta un gráfico simplificado del triángulo de Maxwell o Diagrama de Cromaticidad CIE.

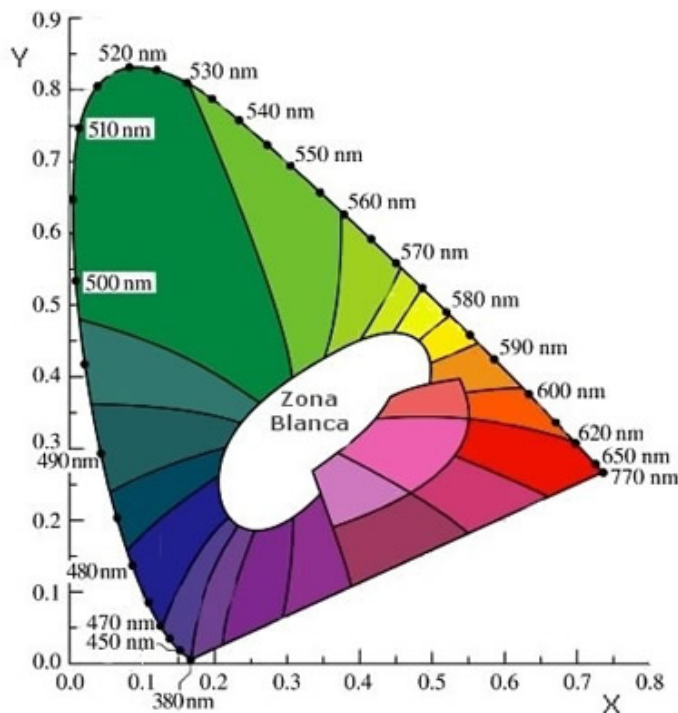


Fig. 42 Triángulo de Maxwell o Diagrama de Cromaticidad CIE

Cada color se puede expresar por sus coordenadas X e Y. Los colores puros o saturados se encuentran en el exterior del triángulo y a medida que nos

acercamos a su centro el color tiende al blanco. El centro de la zona blanca es el blanco puro y suele expresarse por medio de la temperatura de color, en grados Kelvin, de un cuerpo negro. Simplificando podemos decir que un cuerpo negro al calentarse empieza a emitir ondas infrarrojas, al subir la temperatura empieza a tomar un color rojizo, esto es en los 770 nm, al seguir elevándose la temperatura, el color se torna anaranjado, amarillento y finalmente blanco, describiendo una parábola desde el extremo inferior derecho hacia el centro del triángulo. Por lo tanto cada color por donde pasa dicha parábola puede ser representado por una temperatura equivalente. El centro del triángulo (blanco puro) se corresponde con una temperatura de 6500 K. El tono de los leds blanco viene expresado precisamente en grados kelvin. Una temperatura superior significa un color de emisión blanco – azulado. .

# CAPITULO 4

## 4.0 ANÁLISIS DE LAS NECESIDADES DE ILUMINACIÓN

### 4.1 EFECTOS DE LA LUZ EN LAS PERSONAS.

En otoño e invierno se observa un incremento de la depresión y de las crisis de ansiedad por la escasez de luz natural, es el Trastorno Afectivo Estacional (TAE)

La poderosa influencia de la luz en los neurotransmisores cerebrales modifica la atención, el humor y el comportamiento, altera la salud humana y afecta al rendimiento laboral.

De un lado nuestras viviendas, escuelas y oficinas están muy pobremente iluminadas, con poca o ninguna la luz solar. Basta comparar los escasos 300 - 500 lux de intensidad de la iluminación usual, con los 10.000 lux que nos ofrece la luz natural en un día nublado, o los 150.000 lux de un mediodía radiante de verano.

Del otro lado, la luz artificial suele estar carente de los colores del sol, pues las lámparas incandescentes emiten una luz cálida, con dominante naranja-rojo, con ausencia total de los tonos de alta frecuencia, verde, azul y violeta. Además la iluminación incandescente derrocha el 80% de la energía eléctrica en forma de calor inútil.

Por el contrario, las lámparas fluorescentes corrientes dan una luz fría de dominante verde-azulada, y son deficientes en violeta y rojo. Además las reactancias usuales parpadean a 50 Hz. y producen contaminación electromagnética, lo que induce ondas cerebrales de estrés, además de fatiga crónica y cansancio visual.

## 4.2 INFLUENCIA DE LA ILUMINACIÓN EN LA SALUD.

La investigación en fotobiología muestra que una carencia crónica de iluminación puede ser causa de depresión, como el Trastorno Afectivo Estacional, además de otras alteraciones de salud como insomnio, estrés, ansiedad, cefaleas, mareos, fatiga crónica, raquitismo, incluso inapetencia sexual, impotencia e infertilidad.

Especialmente, la ausencia de iluminación solar influye negativamente sobre el estado de ánimo y afecta a la capacidad del cerebro para el manejo de la información.

Por tanto la calidad de la iluminación artificial es significativa para salud humana, igual que para la seguridad y el rendimiento laboral.

Sabemos que la iluminación condiciona la agudeza visual y la percepción de los colores. Hoy el estado de la ciencia permite afirmar que la luz es biodinámica, pues afecta al sistema endocrino y a todos los sistemas biológicos. Especialmente, la ausencia de iluminación solar influye negativamente sobre el estado de ánimo y afecta a la capacidad del cerebro para el manejo de la información.

Además de la cantidad de iluminación, también nos afecta, a nivel neurofisiológico, el color de la luz, y es evidente que los colores alegres e intensos nos motivan de manera positiva, levantando el ánimo. El abuso del blanco en interiores, o el predominio de colores serios y tristes como el gris o el beige en el vestuario, son otros síntomas de conducta depresiva.

Como nos muestra la investigación de mercado en marketing y publicidad, el color de la luz y de los objetos afecta a nuestros reflejos, toma de decisiones y estado de ánimo.

## 4.3 FOTOTERAPIA ARQUITECTÓNICA.

Afortunadamente, si no podemos tomar bastante sol, la Domo biótica nos ofrece medios técnicos para prevenir esa depresión bipolar que se reactiva cada invierno. Basta un baño de luz de 30 minutos cada mañana con una lámpara de alto espectro para estimular los neurotransmisores cerebrales y levantar el estado de ánimo depresivo. Podemos usar una lámpara de fototerapia (10.000 lux) durante el desayuno, o en la mesa de trabajo, pero lo ideal es realizar toda la iluminación interior con luz de espectro total, pues la luz de espectro total es precisa para que la mente, el sistema endocrino y el sistema inmunitario funcionen a pleno rendimiento.

El correcto uso del color y la iluminación en nuestra casa puede incrementar hasta el 85% la energía personal, levantar el ánimo de toda la familia, abandonar el Prosas y hacer que el fantasma de la depresión se aleje definitivamente.

Con la aplicación de la Domo biótica en la oficina, el empresario podrá observar una mejora del clima socio laboral, y la iluminación biodinámica puede producir un incremento hasta del 75% de la productividad, con notables beneficios económicos.

## 4.4 FACTORES QUE DETERMINAN EL CONFORT VISUAL

Los requisitos que un sistema de iluminación debe cumplir para proporcionar las condiciones necesarias para el confort visual son los siguientes:

- Iluminación uniforme.
- Luminancia óptima.
- Ausencia de brillos deslumbrantes.
- Condiciones de contraste adecuadas.
- Colores correctos.
- Ausencia de luces intermitentes o efectos estroboscopios.

Es importante examinar la luz en el lugar de trabajo no sólo con criterios cuantitativos, sino también cualitativos. El primer paso es estudiar el puesto de trabajo, la precisión que requieren las tareas realizadas, la cantidad de trabajo, la movilidad del trabajador, etcétera. La luz debe incluir componentes de radiación difusa y directa. El resultado de la combinación de ambos producirá sombras de mayor o menor intensidad, que permitirán al trabajador percibir la forma y posición de los objetos situados en el puesto de trabajo. Deben eliminarse los reflejos molestos, que dificultan la percepción de los detalles, así como los brillos excesivos o las sombras oscuras.

El mantenimiento periódico de la instalación de alumbrado es muy importante. El objetivo es prevenir el envejecimiento de las lámparas y la acumulación de polvo en las luminarias, cuya consecuencia será una pérdida constante de luz. Por esta razón, es importante elegir lámparas y sistemas fáciles de mantener.

Una bombilla incandescente mantiene su eficiencia hasta los momentos previos al fallo, pero no ocurre lo mismo con los tubos fluorescentes, cuyo rendimiento puede sufrir una reducción del 75 % después de mil horas de uso.

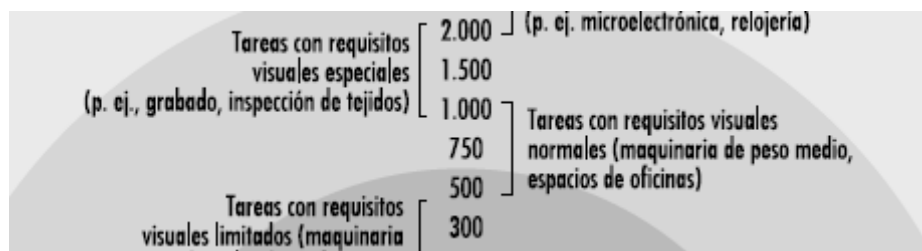


Fig. 43 Niveles de iluminación en función de las tareas realizadas.

## 4.5 NIVELES DE ILUMINACIÓN

Cada actividad requiere un nivel específico de iluminación en el área donde se realiza. En general, cuanto mayor sea la dificultad de percepción visual, mayor deberá ser el nivel medio de la iluminación.

En varias publicaciones se ofrecen directrices de niveles mínimos de iluminación asociados a diferentes tareas.



El nivel de iluminación se mide con un luxómetro que convierte la energía luminosa en una señal eléctrica, que posteriormente se amplifica y permite una fácil lectura en una escala de lux calibrada. Al elegir un cierto nivel de iluminación para un puesto de trabajo determinado, deberán estudiarse los siguientes puntos:

- La naturaleza del trabajo.
- La reflectancia del objeto y de su entorno inmediato.
- Las diferencias con la luz natural y la necesidad de iluminación diurna.
- La edad del trabajador.

## 4.6 FACTORES QUE AFECTAN A LA VISIBILIDAD DE LOS OBJETOS

El grado de seguridad con que se ejecuta una tarea depende, en gran parte, de la calidad de la iluminación y de las capacidades visuales.

Contrastes de color por orden descendente	
Color del objeto	Color del fondo
Negro	Amarillo
Verde	Blanco
Rojo	Blanco
Azul	Blanco
Blanco	Azul
Negro	Blanco
Amarillo	Negro
Blanco	Rojo
Blanco	Verde
Blanco	Negro

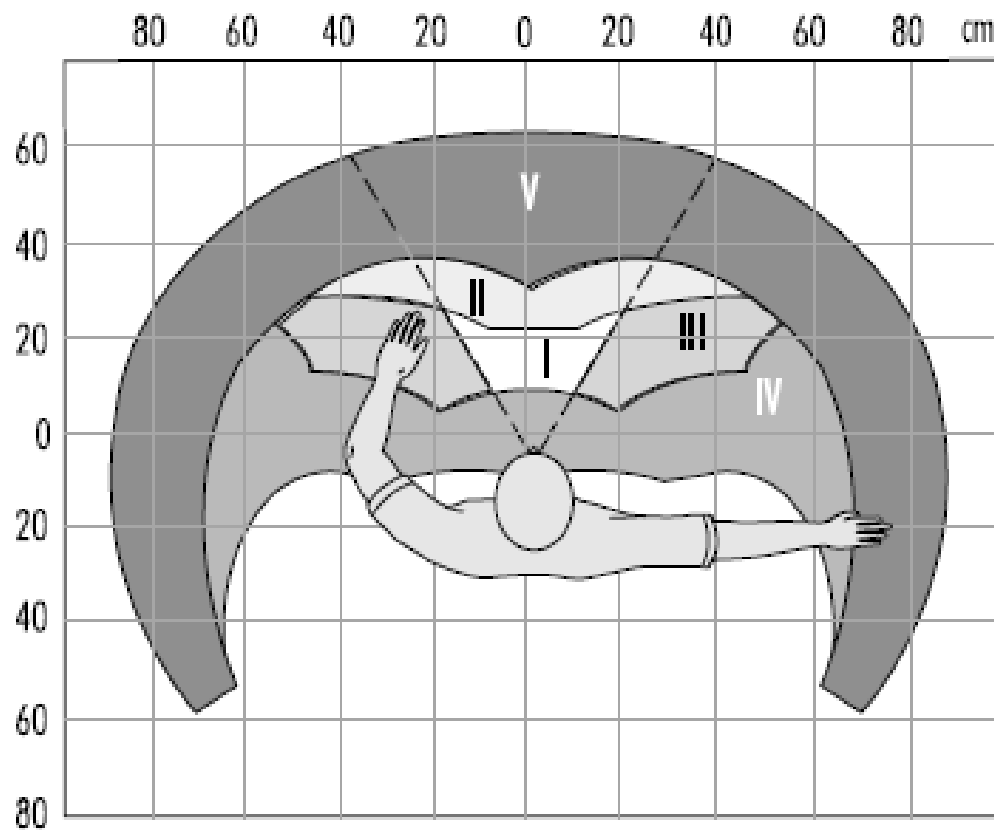
Fig. 44 Contrastes de color.

La visibilidad de un objeto puede resultar alterada de muchas maneras. Una de las más importantes es el contraste de luminancias debido a factores de reflexión, a sombras, o a los colores del propio objeto y a los factores de reflexión del color. Lo que el ojo realmente percibe son las diferencias de luminancia entre un objeto y su entorno o entre diferentes partes del mismo objeto. En la Tabla 46.6 se muestran los contrastes entre colores por orden descendente.

La luminancia de un objeto, de su entorno y del área de trabajo influyen en la facilidad con que puede verse un objeto. Por consiguiente, es de suma importancia analizar minuciosamente el área donde se realiza la tarea visual y sus alrededores.

Otro factor es el tamaño del objeto a observar, que puede ser adecuado o no, en función de la distancia y del ángulo de visión del observador. Los dos últimos factores determinan la disposición del puesto de trabajo, clasificando las diferentes zonas de acuerdo con su facilidad de visión. Podemos establecer cinco zonas en el área de trabajo.

Un factor adicional es el intervalo de tiempo durante el que se produce la visión. El tiempo de exposición será mayor o menor en función de si el objeto y el observador están estáticos, o de si uno de ellos o ambos se están moviendo. La capacidad del ojo para adaptarse automáticamente a las diferentes iluminaciones de los objetos también puede influir considerablemente en la visibilidad.



**ZONAS VISUALES EN LA ORGANIZACIÓN DEL ESPACIO DE TRABAJO**

	<i>Movimientos de trabajo</i>	<i>Esfuerzo visual</i>
<b>Gama I</b>	Movimientos frecuentes, implican que se emplea mucho tiempo	Gran esfuerzo visual
<b>Gama II</b>	Movimientos menos frecuentes	Esfuerzo visual frecuente
<b>Gama III</b>	Implican poco tiempo	La información visual no es importante
<b>Gama IV</b>	Aún menos frecuentes, poco tiempo	No requiere un esfuerzo visual en particular
<b>Gama V</b>	Deben evitarse	Debe evitarse

Fig. 45 Distribución de las zonas visuales en el puesto de trabajo.

## 4.7 TIPOS DE ILUMINACIÓN.

La necesidad de una casa funcional y confortable sea acentúa cada día más condicionado a nuestro ritmo de vida, una de las claves para lograr este objetivo es una iluminación adecuada de nuestro hogar.

Si se trata de iluminación natural, los estores, las cortinas, las persianas son elementos fundamentales para variar la luz natural que entra en nuestras casas, con ellos conseguimos modificar los efectos que la luz produce sobre los ambientes.

Si hablamos de iluminación artificial, los recursos son innumerables, la tecnología de la luz ofrece hoy incontables posibilidades e ideas, que permiten conseguir un equilibrado ambiente de luz que invita al bienestar. El ser humano percibe su entorno en un 80% respecto al sentido de la vista.

Existen distintos tipos de luz respecto a decoración de interiores:

La *luz ambiental* es la que ilumina el conjunto de un espacio sin focalizar ningún punto en concreto, así la luz se reparte de manera uniforme por toda la estancia.

La *luz puntual* se limita a una zona concreta de la estancia, se concentra en un punto específico de la habitación y el resto queda en sombra.

La *iluminación decorativa* consiste en introducir lámparas que sean decorativas por sí mismas o de realzar un objeto que sea particularmente atractivo.

La *iluminación funcional*, es aquella que adapta la luz a las necesidades de cada estancia o de cada ambiente, sin perjuicio para la vista. Es necesario por tanto ajustar la cantidad de luz a la tarea a realizar.

La *iluminación cinética* como su propio nombre indica es una iluminación en movimiento, cambiando de intensidad y de orientación.

## 4.8 ORIENTACIÓN DE LA ILUMINACIÓN.

La distribución de la luz en cada estancia juega un papel esencial, los diversos niveles de luminosidad dan contorno al espacio y crean atmósfera. El ojo humano percibe tanto la luz directa como la indirecta. La luz directa puede suscitar agradables sensaciones, sin embargo es la luz indirecta la que produce en mayor medida este tipo de sensaciones pues el ojo la capta como reflexión.

En la *iluminación directa* la luz va directamente de la lámpara al objeto, no está apenas apantallada. El emplazamiento tanto de las lámparas como del objeto debe planificarse cuidadosamente, pues la iluminación llega directamente al ojo.

En la *iluminación indirecta* la luz apantallada es reflejada por las paredes y el techo, la iluminación parte de la lámpara para ser reflejada por una superficie que parece emitir luz e iluminar por sí misma. La iluminación indirecta es suave, no deslumbra y reduce las sombras.

La *iluminación mixta* es la más adecuada, una parte de la luz incide directamente sobre el objeto y la otra parte se refleja en una superficie.

# CAPITULO 5

## 5.0 SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED.

### 5.1 CONCEPTOS BASICOS

#### 5.1.1 UNIDADES Y MAGNITUDES DE ILUMINACIÓN

En el campo de la iluminación se utilizan habitualmente varias magnitudes. Las más básicas son las siguientes:

Flujo luminoso: energía luminosa emitida por una fuente de luz durante una unidad de tiempo. Unidad: lumen (lm).

Intensidad luminosa: flujo luminoso emitido en una dirección determinada por una luz que no tiene una distribución uniforme. Unidad: candela (cd).

Nivel de iluminación: nivel de iluminación de una superficie de un metro cuadrado que recibe un flujo luminoso de un lumen.

Unidad: lux = lm/m<sup>2</sup>.

Luminancia o brillo fotométrico: se define para una superficie en una dirección determinada, y es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie vista por un observador situado en la misma dirección (superficie aparente). Unidad: cd/m<sup>2</sup>.

Contraste: diferencia de luminancia entre un objeto y su entorno o entre diferentes partes de un objeto.

Reflectancia: proporción de la luz que es reflejada por una superficie. Es una cantidad no dimensional. Su valor varía entre 0 y 1.

#### 5.1.2 LUMEN.

El lumen (símbolo: lm) es la unidad del Sistema Internacional de Medidas para medir el flujo luminoso, una medida de la potencia luminosa emitida por la fuente. El flujo luminoso se diferencia del flujo radiante en que el primero contempla la sensibilidad variable del ojo humano a las diferentes longitudes de onda de la luz y el último involucra toda la radiación electromagnética emitida por la fuente según las leyes de Wien y de Stefan-Boltzmann sin considerar si tal radiación es visible o no.

$$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr} = 1 \text{ lx} \cdot \text{m}^2$$



### 5.1.3 CANDELA.

La candela (símbolo cd) es una de las unidades básicas del Sistema Internacional, de intensidad luminosa. Se define como:

La candela es la intensidad luminosa en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia  $540 \times 10^{12}$  hercios y de la cual la intensidad radiada en esa dirección es  $1/683$  W vatios por estereorradián.

Esta cantidad es equivalente a la que en 1948, en la Conferencia General de Pesas y Medidas, se definió como una sexagésima parte de la luz emitida por un centímetro cuadrado de platino puro en estado sólido a la temperatura de su punto de fusión (2046 K).

Dado que resulta un poco más complejo evaluarlas teóricamente, la valoración de las intensidades medidas en candela son señaladas a través de algunos ejemplos:

Fuente	Potencia aproximada en vatios (W)	Luminosidad aproximada en candelas (cd)	
vela, bujía o candela de cera	no notoria	1 cd	
Led poco luminoso	decenas de mili vatios	decenas de mili candelas	






Led de potencia	algunos vatios	algunas candelas	
Lámpara incandescente	40 W	40 cd	
Lámpara incandescente	100 W	130 cd	
Lámpara fluorescente	40 W	200 cd	
Proyector de alta potencia	decenas de miles de vatios	millones de candelas	

Fig. 46 Valoración de las intensidades medidas en candela.

## 5.1.4 LED.

Un led (por sus siglas en inglés LED: Light-Emitting Diode, diodo emisor de luz), también diodo luminoso es un diodo semiconductor que emite luz. Se usan como indicadores en muchos dispositivos, y cada vez con mucha más frecuencia, en iluminación. Presentado como un componente electrónico en 1962, los primeros leds emitían luz roja de baja intensidad, pero los dispositivos actuales emiten luz de alto brillo en el espectro infrarrojo, visible y ultravioleta.

## 5.1.5 ILUMINACION LED.

Los leds en la actualidad se pueden acondicionar o incorporarse en un porcentaje mayor al 90% de todas las tecnologías de iluminación actuales, por ejemplo: en casas, oficinas, industrias, edificios, restaurantes, arenas, teatros, plazas comerciales, gasolineras, calles y avenidas, estadios, conciertos, discotecas, casinos, hoteles, etc. Todas estas aplicaciones se dan gracias a su diseño



compacto. Los leds tienen la ventaja de encenderse muy rápido (aproximadamente en dos segundos) a comparación de las luminarias de alta potencia como lo son las luminarias de alta intensidad de vapor de sodio, aditivos metálicos, halogenuro o halogenadas y demás sistemas con tecnología incandescente. Y debido a sus altas frecuencias de operación son también útiles en tecnologías avanzadas de comunicaciones. Los leds infrarrojos también se usan en unidades de control remoto de muchos productos comerciales incluyendo televisores, cámaras de monitoreo, reproductores de DVD, entre otras aplicaciones domésticas.

Compuesto	Color	Long. de onda
arseniuro de galio (GaAs)	Infrarrojo	940 nm
arseniuro de galio y aluminio (AlGaAs)	rojo e infrarrojo	890 nm
arseniuro fosfuro de galio (GaAsP)	rojo, anaranjado y amarillo	630 nm
fosfuro de galio (GaP)	Verde	555 nm
nitruro de galio (GaN)	Verde	525 nm
seleniuro de zinc (ZnSe)	Azul	
nitruro de galio e indio (InGaN)	Azul	450 nm
carburo de silicio (SiC)	Azul	480 nm
diamante (C)	Ultravioleta	
silicio (Si)	en desarrollo	

Fig. 47 *Compuestos empleados en la construcción de leds*

## 5.1.6 BENEFICIOS DE LA ILUMINACIÓN CON LEDS.

- Alta eficiencia luminosa.
- Luz fría, lo cual reduce los gastos en aire acondicionado.
- El encendido y el apagado son sin destellos ni parpadeos.
- Su tamaño permite un diseño innovador y moderno.

- Es dimerizable (que se le puede añadir un dimmer que es un variador de tensión).
- Producen mayor luz por Vatio, por lo que pueden ahorrar hasta un 90% de consumo de energía. O lo que es lo mismo, con la misma potencia pueden producir hasta 10 veces más luz que los sistemas tradicionales.
- Larga vida útil (hasta 100.000 horas), que reduce enormemente los costes de mantenimiento y reemplazo.
- Eficiencia de casi el 100% (mínima pérdida de energía en forma de calor), lo que redundará en el ahorro de AIRE ACONDICIONADO en verano en zonas calurosas.
- Funcionamiento fiable a bajas temperaturas (-30°C)
- Alta resistencia a vibraciones e impactos, al ser sólidos y no disponer de elementos internos móviles.
- Adaptabilidad: Pueden ser montados en todo tipo de superficies.
- No dejan de funcionar drásticamente, sino que van perdiendo intensidad paulatinamente, lo que permite su reemplazo a tiempo.
- Completamente graduable sin variación de color.
- Emisor directa de luces de colores (gama completa) sin necesidad de filtros. Los colores son intensos y saturados. Existen Leds disponibles con temperatura de color corregida de 3200°K y con IRC 90, que representan un flujo de 25 a 30 Lm por unidad, adecuados para iluminación de interiores.
- Pueden ser diseñados para enfocar su luz sin necesidad de un reflector.
- Ventajas medioambientales: Ahorro energético, no contienen mercurio, no producen irradiaciones de infrarrojos o UV.
- Son ideales para el uso combinado con energía solar.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			
	LED	CFL	INCANDESCENTE
Efecto de encendido y apagado frecuente	Sin efecto	Afecta vida	Efectos mínimos
Prende al instante	Si	No	Si
Diseño	Robusto	Frágil	Frágil
Calor emitido [pérdidas de energía]	Bajo	Medio	Alto
Sensible a temperatura	No	Si	Poco
Materiales peligrosos	Ninguno	Mercurio	Cristal
Opciones de color de luz	Alto	Bajo	Ninguno
Durabilidad (horas)	50,000	5,000	1,000
Frecuencia de reemplazo (+ de 50,000 hrs)	1	5	40+
Sensible a humedad	No	Si	No

Fig. 48 Tabla técnica comparativa de Lámparas LED vs. Ahorradoras e Incandescentes.



# CAPITULO 6

## DESARROLLO Y CALCULO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED CON PANEL FOTOVOLTAICO.

### 6.1 CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO

La Universidad Tecnológica de Tehuacán se encuentra en la localidad de San Pablo Tepetzingo.

#### HUBICACIÓN

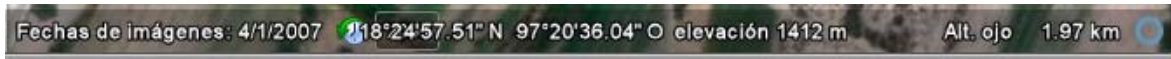




Fig. 49 Localización de San Pablo Tepetzingo

**San Pablo Tepetzingo** se localiza en el Municipio Tehuacán del Estado de Puebla México y se encuentra en las coordenadas GPS:

Longitud (dec): *-97.340000*

Latitud (dec): *18.425556*

La localidad se encuentra a una mediana altura de 1400 metros sobre el nivel del mar.

El sistema fotovoltaico se pretende colocar en el techo del edificio de los laboratorios compartidos del área de electromecánica industrial, no tiene problemas de sombras ya que el edificio no está rodeado por ningún elemento que pueda proyectar sombras en el entorno del edificio.



Fig. 50 Parte frontal del edificio de electromecánica industrial vista hacia el sureste.



Fig. 51 Parte frontal del edificio de electromecánica industrial vista hacia el noreste.



Fig. 52 Lado Sur del techo del edificio en donde se colocarán los paneles solares.

La instalación de los paneles solares del sistema fotovoltaico se contempla en la parte superior del edificio contando para esto con un área total de 499.84m<sup>2</sup>.

## 6.2 DISPONIBILIDAD DE RECURSO SOLAR

Puebla	Puebla	4.9	5.5	6.2	6.4	6.1	5.7	5.8	5.8	5.2	5.0	4.7	4.4
--------	--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Fig. 53 Irradiación global media por mes para el estado de Puebla.

### DATOS DE ENERO A DICIEMBRE

El promedio anual se sitúa en 5.475 hrs. De sol anual en promedio, teniendo los meses de Marzo a Agosto con la mayor cantidad de irradiación solar.

El proyecto se enfoca en el diseño del sistema de iluminación de aulas correspondientes al edificio del área de electromecánica industrial perteneciente a



la Universidad Tecnológica de Tehuacán, en la propuesta de cálculo se hace referencia a una sola aula de un total de ocho y al final se realiza el calculo total correspondiente a un total de ocho aulas ocupadas por estudiantes en un horario de siete de la mañana a nueve de la noche, las características de las aulas es que están prácticamente selladas a la iluminación natural por lo que en los cálculos y la propuesta se toma como si la única fuente de iluminación fuera la propuesta con dispositivos LED.

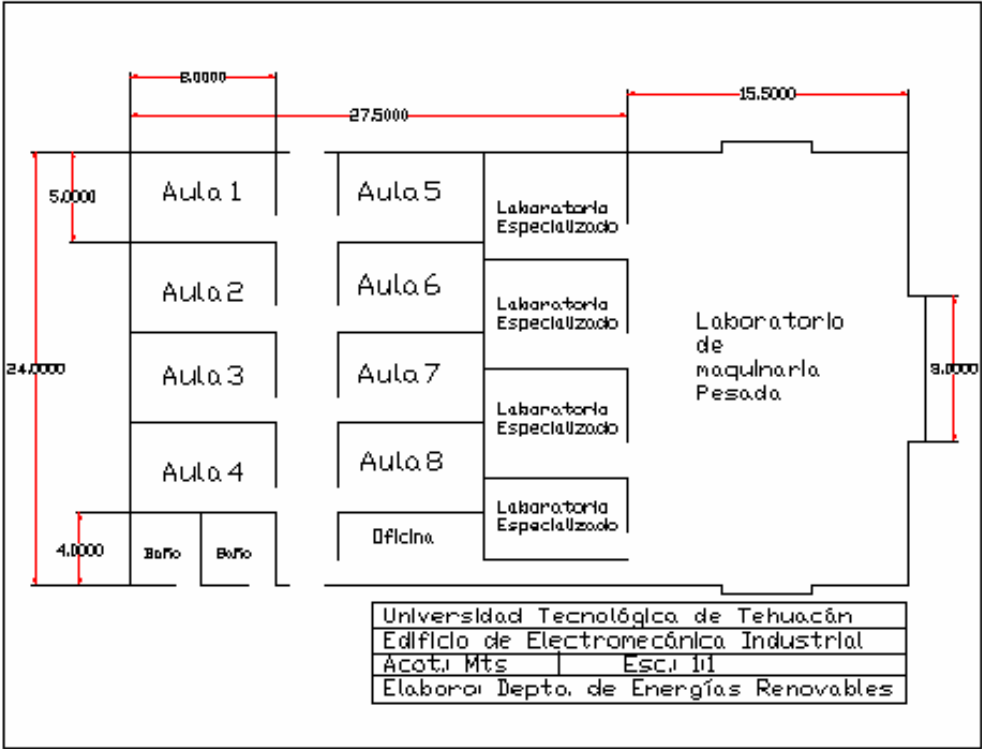


Fig. 54 Distribución de áreas del edificio de Electromecánica Industrial.

Las dimensiones de las aulas son las que se muestran de 8 metros por 5 metros, la distribución de luminarias es como se muestra, 6 luminarias distribuidas simétricamente sobre el área que ocupa el aula, las luminarias están montadas sobre plafón por lo que se considera al ras del techo así se tiene que la altura de la luminaria al suelo es de 2.9 metros y considerando las mesas de trabajo con altura de 0.85 metros, se tiene la distancia de la luminaria a el área de trabajo de 2.05 metros.

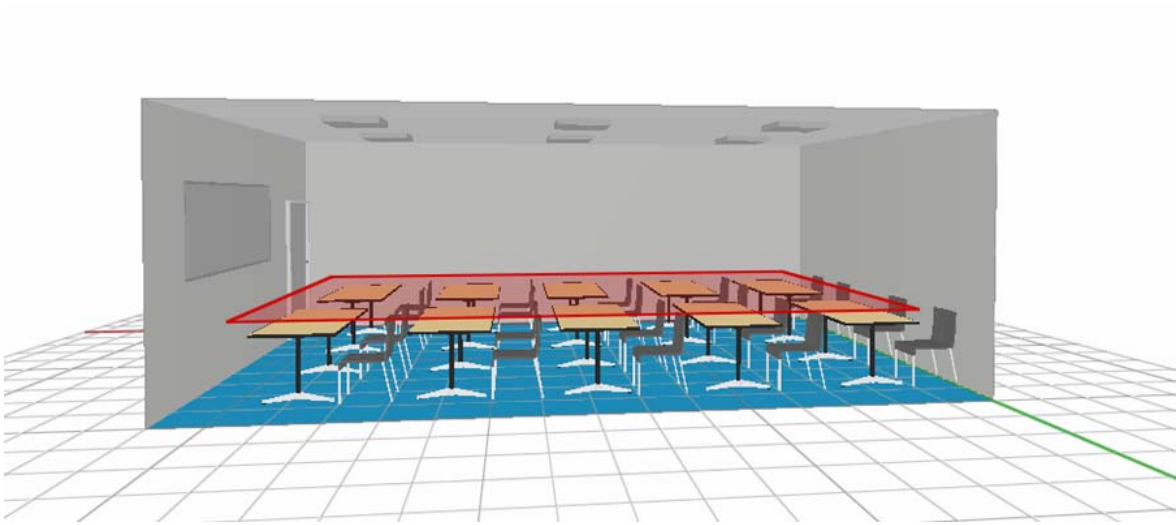


Fig. 55 Representación de la distribución de las luminarias.

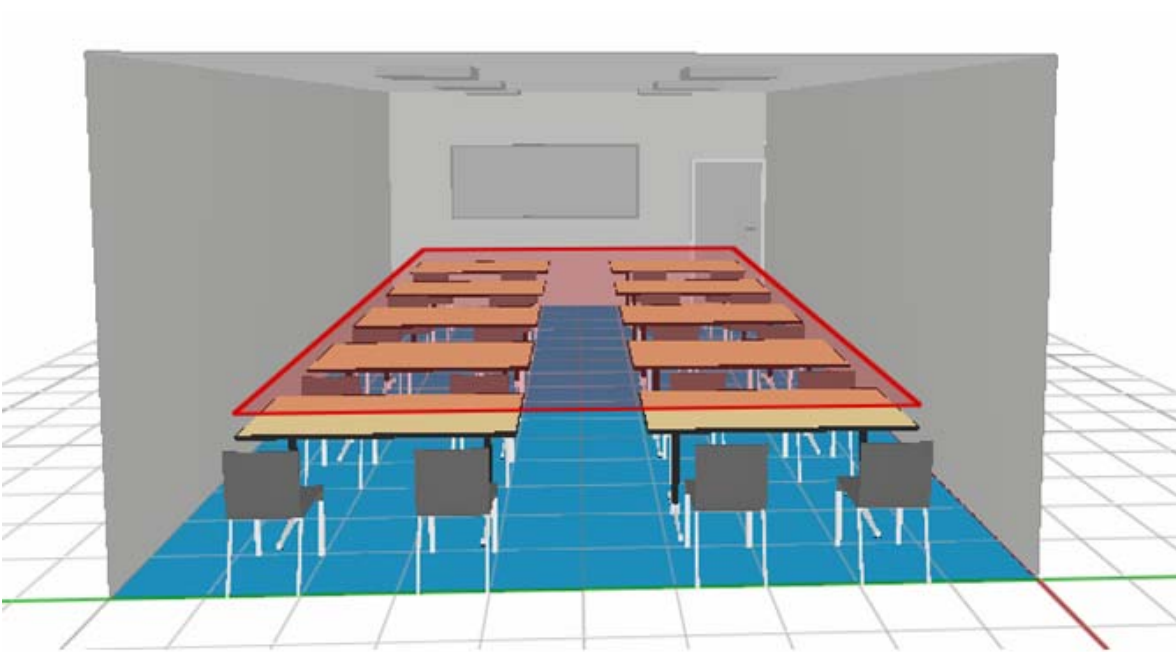


Fig. 56 Representación de la distribución de las luminarias, perspectiva del alumno.

## 6.3 CARACTERÍSTICAS DE LA LUMINARIA.

Según las recomendaciones de iluminación la cantidad de luxes necesarios para ofrecer un ambiente confortable para el desarrollo de actividades de estudio y concentración debe estar en el rango de los 500 luxes al nivel de las mesas de trabajo.

Las características de la luminaria elegida son:

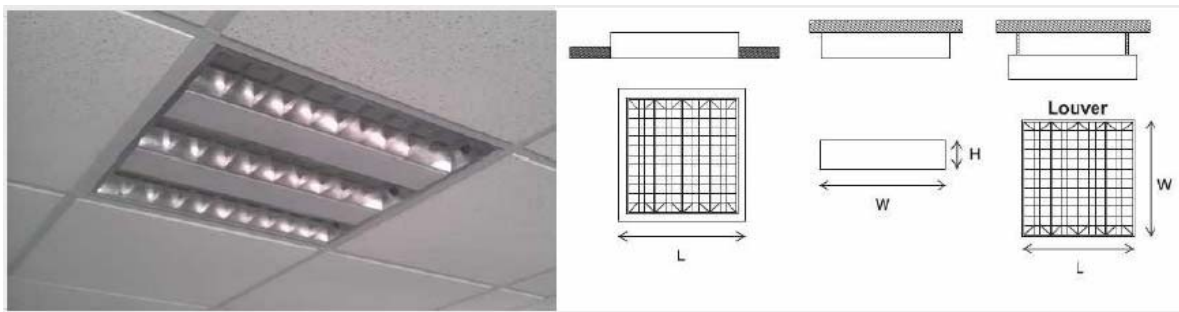


Fig. 57 Luminaria CLC-45HFSO 60X60 12 WATTS

Gabinete de acero ínter doblado con pintura electrostática en blanco, con 2 líneas de leds de 6 watts cada una y curva de distribución de luz circular. Sólo 12 W de consumo LED marca OSRAM con una equivalencia de iluminación de tubos 2x20 W, que más el consumo de la balastro son 50W, logrando un ahorro de más del 70%. Fuente de alimentación diseñada para México, con soporte de variaciones de voltaje desde 105V hasta 140V, con driver de corriente constante.

CONECTOR ENTRADA SALIDA PARA INTERCONEXION.  
(OPCIONAL)  
INCLUIDO \* PROTECCION PLUS TLS INDEPENDIENTE POR LED.

Tiempo de vida promedio: 100,000 hrs.led/ 50,000hrs fuente  
Fuente de alimentación: Interconstruida  
Flujo luminoso: 2,100 lumens@180°  
Consumo de energía: 12 watts  
Eficiencia energética: 175 lumen/watt  
Voltaje de operación: 105-140 volts  
Factor potencia: > 96  
Protección humedad relativa 90%  
Temperatura de operación: -30° Ca 50° C  
Temperatura de almacenamiento: -50° Ca 95° C  
Acabados: Acero interdoblado con pintura electrostática blanca  
Dimensiones: 600 x 600 mm  
Peso: -----  
Montaje: Techo, plafón y Suspendido  
Temperatura de color: 4000° K (cálido) y 5000° (Luz de día)  
Detalles:  
Angulo: 120 grados



Fig. 58. Hoja de datos de CLC-45HFSO 60X60 12 WATTS

## 6.4 CALCULO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED

Calculando el flujo luminoso.

E= Iluminación requerida= 500 lux.

S= superficie=(5m)(8m)= 40 m<sup>2</sup>

cm.= 0.8 (mantenimiento)

Cu= 0.9 (utilización)

$$\Phi_t = \text{flujo luminoso} = \frac{E \times S}{C_m \times C_u} = \frac{500 \times 40}{0.8 \times 0.9} = 27777.7777 \text{ Lúmen}$$

$$N = \text{Número de luminarias} = \frac{\Phi_t}{\Phi_l} = \frac{27777.7777}{2100} = 13.22 \text{ luminarias}$$

Por lo que se tiene lugar para 6 luminarias cada una que deberá contener 2 lámparas.

Consumo total por lámpara 12Wx Luminarias= 12Watts.

Consumo total por aula= 12 W x 6 Luminarias= 72 Watts.

Consumo total por 8 aulas del edificio= 576 Watts.

Por lo tanto la carga total a mantener con paneles fotovoltaicos que es objeto del presente trabajo es de 496 Watts, así mismo el suministro se le dará un rango mayor para soportar la carga sin problemas de calentamiento.

Costo por Luminaria= 800.00 mxp

Costo total por 6 Luminarias= 4800 mxp

Costo total por 8 aulas= 38400 mxp

Para un tiempo de reemplazo de 30 años.

Con un costo de 3.5 mxp por día para recuperación de infraestructura.

Fig. 59Lista de coordenadas de distribución de luminarias.

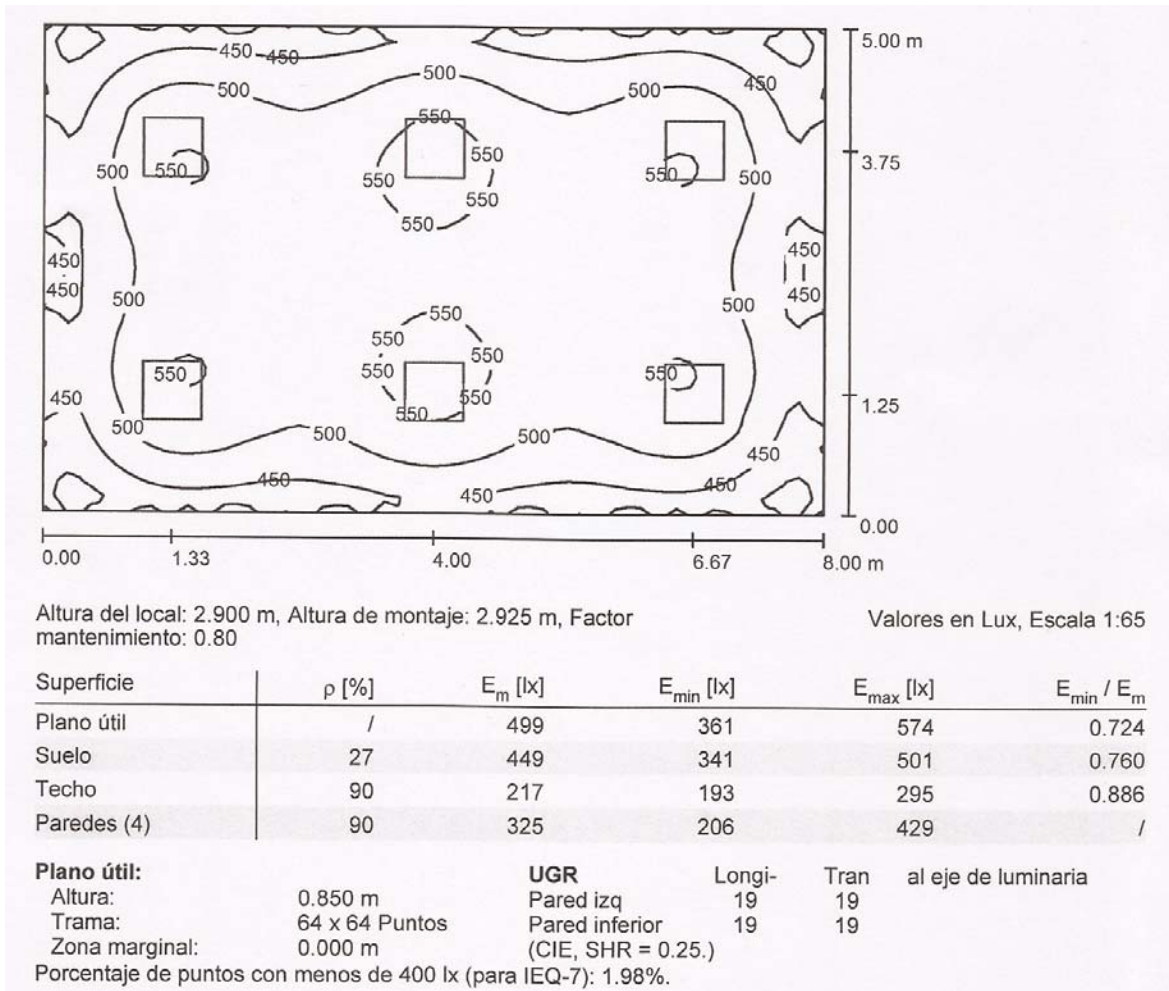


Fig. 60 Resumen de distribución de iluminación.

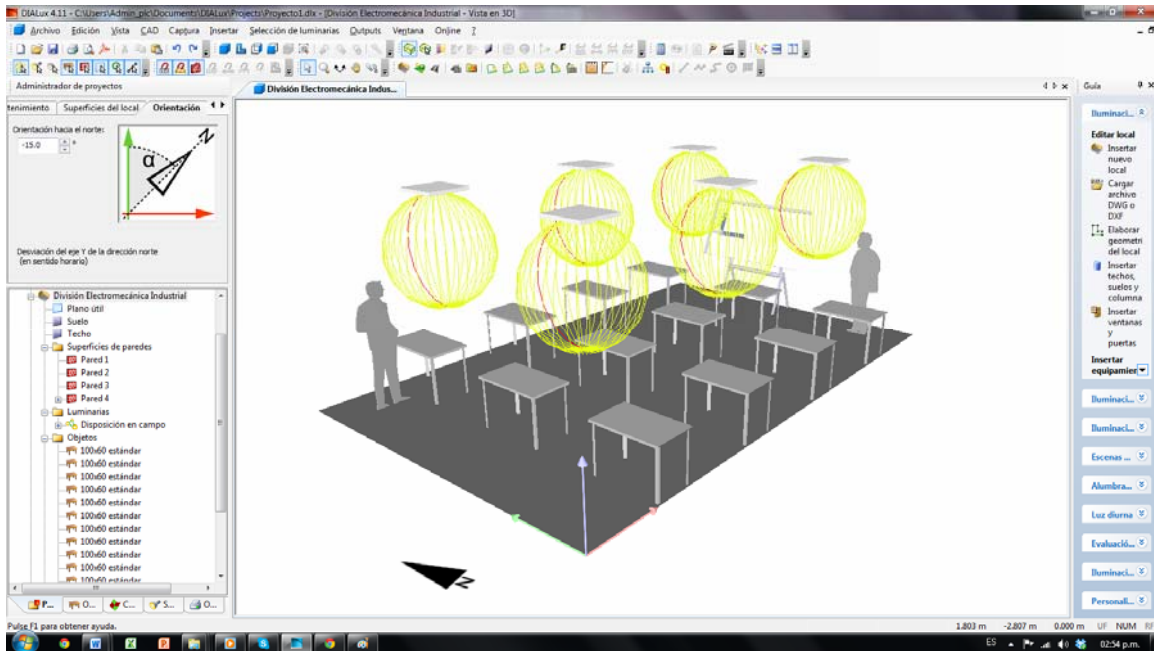


Fig. 61 Distribución de iluminación mediante Dialux.

Asistente de iluminación DIALux

**Entrada de datos**  
Escriba aquí todos los valores necesarios para el local y seleccione su luminaria y el tipo de montaje.

**Geometría del local**

Longitud (a): 8.000 m    Boceto:    Prueba:

Anchura (b): 5.000 m

Altura: 2.900 m

Utilizar local en L

c: 2.700 m

d: 1.800 m

**Grado de reflexión**

Techo: 70 %    Techo estándar

Paredes: 50 %    Pared estándar

Suelo: 20 %    Suelo estándar

**Parámetros del local**

Valores de referencia: Ejemplo de empleo

Factor de degradación: 0.80

**Plano útil**

Altura: 0.850 m

Zona marginal: 0.000 m

**Selección de luminarias**

Luminaria: TECNO\_LITE TLLED-E02/45W/40 MONTR

Selección de equipamiento: TECNO\_LITE

Emisión de luz 1

Lámparas: TLLED-E02/45W/40

Modifique aquí el flujo luminoso predeterminado para la luminaria:

Flujo: 3600 lm

Potencia: 45 W

**Montaje de luminarias**

Tipo de montaje: Empotrado

Modifique la altura de montaje mediante uno de los parámetros siguientes:

Longitud de suspensión: -0.025 m

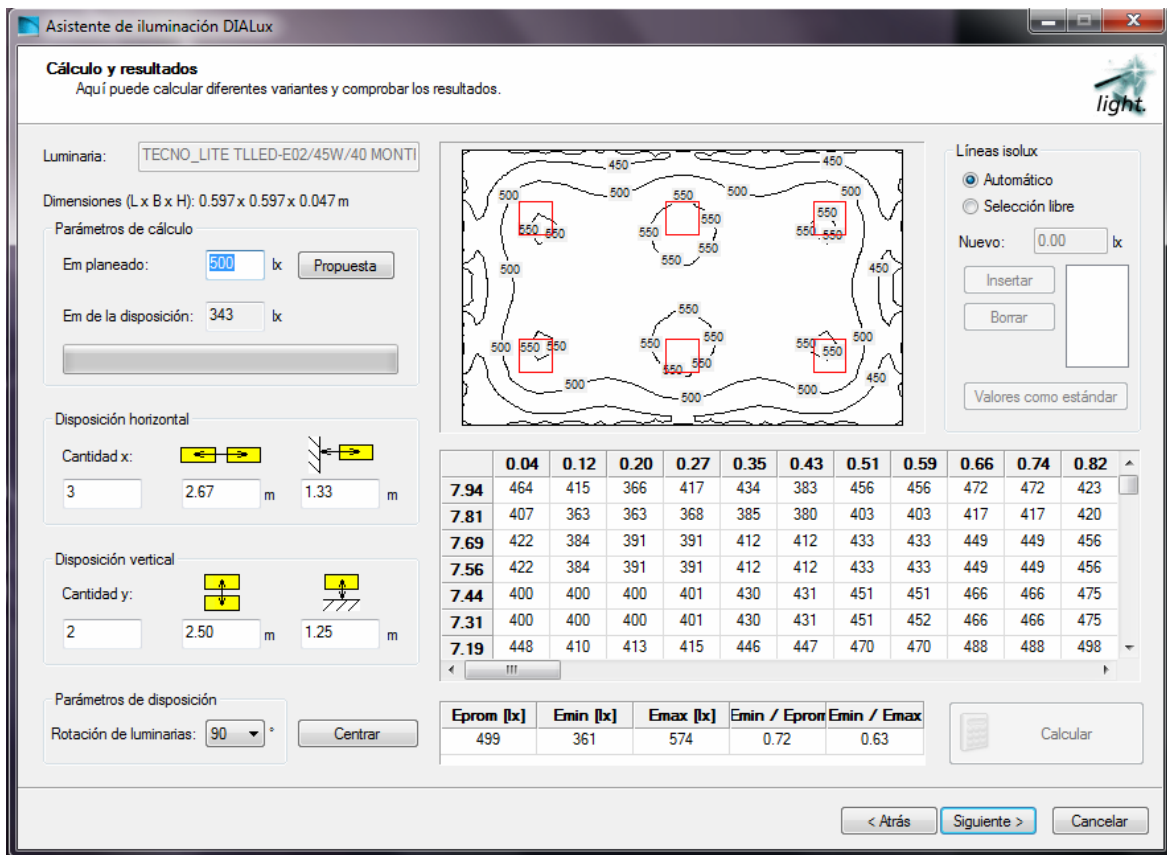
Altura del punto de luz: 2.028 m

Altura de montaje: 2.925 m

Dimensiones (L x B x H): 0.597 x 0.597 x 0.047 m

< Atrás    Siguiente >    Cancelar

Fig. 62 Entrada de datos en el software Dialux para comprobación.





## 6.5 DETERMINACION DE LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS DE USO DIARIO

Carga	Cantidad	Potencia en Watts (W)	Potencia total en Watts(W)	Intensidad total en Amperios(A) $I=P/V$	Tiempo de uso diario en horas (h)	Capacidad en amperios.hora (Ah) $Q=I.t$	Energía necesaria calculada diaria (W.h) $E=Pt$
CLC-45HFSO 60X60 12 WATTS	48	12	576	4.5	15	67.5	8640
		TOTAL	576	4.5		67.5	8640

## 6.6 DETERMINACION DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA

### 6.6.1 ENERGÍA NECESARIA DIARIA.

*APLICAMOS UN COEFICIENTE CORRECTOR DE 1.3 A LA ENERGÍA NECESARIA DIARIA CALCULADA EN CONCEPTO DE MARGEN DE SEGURIDAD Y PÉRDIDAS EN LA INSTALACIÓN.*

**ENERGIA NECESARIA DIARIA (Wh)= 8640 \* 1.3= 11232Wh.**

### 6.6.2 CÁLCULO DE LA ENERGÍA DIARIA SUMINISTRADA POR EL PANEL ELEGIDO.

**ENERGÍA PANEL (Wh) = POTENCIA DEL PANEL . HORAS DE SOL = 180W \*5.475 hrs. = 985.5Wh**

### 6.6.3 CÁLCULO DEL NÚMERO DE PANELES CONECTADOS EN PARALELO.

**Nº DE PANELES = ENERGÍA REAL DIARIA/ENERGÍA PANEL = 11232 / 985.5 = 11.39**

**PANELESTOTALES = 12 paneles.**

El sistema puede funcionar con 11 paneles, pero considerando el diseño tomaremos 12 para que el sistema este holgado.

## 6.6.4 CÁLCULO DEL ACUMULADOR.

Hemos de tener en cuenta los días de autonomía deseados, pensando en todos aquellos días que nuestro panel no suministre la energía necesaria. Por

Otro lado hay que conseguir que la profundidad de descarga máxima diaria de la batería no sobrepase el valor recomendado en función del tipo de batería.

**CAPACIDAD BATERÍA (Ah) = (Ah diarios necesarios. Días de autonomía)/profundidad de descarga = (75) / 0,65 = 115.38 Ah**

Podemos tomar para nuestra instalación 3 días de autonomía y una profundidad de descarga del 65 % (0,65).



### SPECIFICATIONS

Model Number	27DC115		
Part Number	1427		
Nominal Voltage	12 Volts		
Physical Characteristics	Length	12.63"	321 mm
	Width	6.75"	171 mm
	Height	9.38"	238 mm
	Weight	60 lbs	27 Kgs
Terminal Options	Standard		

### ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Amp Hour Capacity	20 Hr	5.25	115 Ah
	5 Hr	18.00	90 Ah
KWH	6 Hr	0.991	
Reserve Capacity Minutes	100 Amp Rate	27 Minutes	
	75 Amp Rate	39 Minutes	
	50 Amp Rate	68 Minutes	
	25 Amp Rate	170 Minutes	
Internal Resistance	80° F	27° C	76 mΩ
	104° F	40° C	102%
Capacity Affected by Temperature (20 Hr Rate)	80° F	27° C	100%
	32° F	0° C	65%

**C**rown Battery Manufacturing Company offers a complete lineup of high-performance and low-maintenance commercial deep cycle batteries produced in standard Battery Council International group profiles for voltage, electrical capacity and physical dimension. Crown Battery's innovative and proven deep cycle product design makes it the battery of choice for many tough commercial battery applications, including commercial floor care and aerial access equipment, electric vehicles, personnel carriers, material handling systems and renewable energy systems.

Cover Style:	Exposed Vent Opening with PROeye Monitor
Cover Vent Style:	Raised Pod Vent
Container & Cover Material:	Black Polypropylene Plastic
Case to Cover Seal Method:	Heat Seal
Inner-Cell Connector Type:	Through Partition Weld
Plate Lug to Collector Bar Fusion Method:	Inverted Automated Cast-On Process
Number of Plates per Battery:	96 Plates
Positive Grid Material:	Antimony Lead Alloy
Positive Grid Design:	Z <sup>3</sup> Centerline Diagonal
Positive Plate Dimension:	5.625" x 5.000" x 0.070" 143 mm x 127 mm x 1.8 mm
Negative Grid Material:	Antimony Lead Alloy
Negative Grid Design:	Z <sup>3</sup> Centerline Diagonal
Negative Plate Dimension:	5.625" x 5.000" x 0.055" 143 mm x 127 mm x 1.4 mm
Separator Type:	Microporous Polyethylene PosiWrap™ with Glass Mat

Fig. 64Especificaciones del acumulador.

## 6.6.5 ELECCIÓN DEL REGULADOR DE CARGA.

La intensidad soportada por nuestro regulador debe ser superior a la suma de las máximas intensidades de los paneles conectados en paralelo. La intensidad máxima del panel será un dato aportado por el fabricante del panel.

El panel que hemos elegido de 180 W tiene una corriente máxima de corto circuito de 5.9 A, por lo que la  $I_t = 5.9 \times 12 \text{ paneles} = 70.8 \text{ A por el sistema}$ , por lo que un regulador de carga puede ser de 80 A en una capacidad comercial.



Fig. 65 Especificaciones del regulador de carga.

## FLEXmax Specifications

### FLEXmax<sup>®</sup> BC - FM80-150VDC

Nominal Battery Voltages	12, 24, 36, 48, or 60 VDC (Single model - selectable via field programming at start-up)
Maximum Output Current	80 amps @ 104° F (40°C) with adjustable current limit
Maximum Solar Array STC Nameplate	12 VDC systems 1250 Watts / 24 VDC systems 2500 Watts / 48 VDC systems 5000 Watts / 60 VDC Systems 7500 Watts
NEC Recommended Solar Array STC Nameplate	12 VDC systems 1000 Watts / 24 VDC systems 2000 Watts / 48 VDC systems 4000 Watts / 60 VDC Systems 5000 Watts
PV Open Circuit Voltage (VOC)	150 VDC absolute maximum coldest conditions / 145 VDC start-up and operating maximum
Standby Power Consumption	Less than 1 Watt typical
Power Conversion Efficiency	97.5% @ 80 Amps in a 48 VDC System - Typical
Charging Regulation	Five Stages: Bulk, Absorption, Float, Silent and Equalization
Voltage Regulation Set points	10 to 60 VDC user adjustable with password protection
Equalization Charging	Programmable Voltage Setpoint and Duration - Automatic Termination when completed
Battery Temperature Compensation	Automatic with optional RTS installed / 5.0 mV per °C per 2V battery cell
Voltage Step-Down Capability	Can charge a lower voltage battery from a higher voltage PV array - Max 150 VDC input
Programmable Auxiliary Control Output	12 VDC output signal which can be programmed for different control applications (Maximum of 0.2 amps DC)
Status Display	3.1" (8 cm) backlit LCD screen - 4 lines with 80 alphanumeric characters total
Remote Display and Controller	Optional Mate or Mate2 with RS232 Serial Communications Port
Network Cabeling	Proprietary network system using RJ 45 Modular Connectors with CAT 5e Cable (8 wires)
Data Logging	Last 128 days of Operation - Amp Hours, Watt Hours, Time in Float, Peak Watts, Amps, Solar Array Voltage, Max Battery Voltage Min Battery Voltage and Absorb for each day along with total Accumulated Amp Hours, and kW Hours of production
Hydro Turbine Applications	Consult factory for approved Turbines
Positive Ground Applications	Requires two Pole Breakers for switching both positive and Negative Conductors on both Solar Array and Battery Connections (HUB 4 and HUB 10 can not be used for use in positive ground applications)
Operating Temperature Range	Minimum -40° to maximum 60° C (Power capacity of the controller is automatically derated when operated above 40° C)
Environmental Rating	Indoor Type 1
Conduit Knockouts	One 1" (35mm) on the back; One 1" (35mm) on the left side; Two 1" (35mm) on the bottom

Fig. 66 Especificaciones del regulador de carga.


## 6.6.6 ELECCIÓN DEL INVERSOR

En el cuadro de necesidades, tenemos la potencia total en vatios que podemos conectar de forma simultánea, aplicamos un coeficiente como margen de seguridad (puede ser un 25 %).

$$\text{POTENCIA INVERSOR} = \text{POTENCIA TOTAL} \cdot 1,25 = 576 \cdot 1,25 = 720 \text{ W}$$

Buscaremos un valor comercial inmediatamente superior.

PST-100S-12A	12 VDC	120 VAC	1000 W	13.5	11.0 x 4.1 x 1.2"
PST-150S-12A	12 VDC	120 VAC	1500 W	12.7	16.3 x 11.2 x 3.9"
PST-200S-12A	12 VDC	120 VAC	2000 W	12.7	16.3 x 11.2 x 3.9"
PST-30S-24A	24 VDC	120 VAC	300 W	4.0	8.4 x 5.8 x 2.5"
PST-60S-24A	24 VDC	120 VAC	600 W	8.5	7.5 x 4.1 x 1.2"
PST-100S-24A	24 VDC	120 VAC	1000 W	13.5	11.0 x 4.1 x 1.2"
PST-150S-24A	24 VDC	120 VAC	1500 W	12.7	16.3 x 11.2 x 3.9"
PST-200S-24A	24 VDC	120 VAC	2000 W	12.7	16.3 x 11.2 x 3.9"



Pure Sine Wave Inverter PST-150S-12A

Fig. 67Especificaciones del inversor.

## 6.6.7 CÁLCULO DE LAS PROTECCIONES Y SECCIÓN DE LOS CONDUCTORES.

Atendiendo al RBT, los calibres de las protecciones termo magnéticas se calculan multiplicando por 1,3 el valor de consumo real en amperios.

Las secciones de los conductores empleados serán lo mayor posible, ya que al trabajar con tensiones pequeñas, 24 voltios en nuestro caso, las corrientes serán elevadas y también las caídas de tensión ( $V=RI$ ). Las longitudes de los conductores serán lo más cortas posibles para disminuir la resistencia. En el RBT tenemos las expresiones para el cálculo de las secciones y los valores máximos aconsejados de caídas de tensión. En nuestro cálculo simplificado y dada las exigencias mínimas de nuestra instalación, adoptaremos una sección de 4 ó 6 mm<sup>2</sup>.

## 6.6.8 CÁLCULO DE SOMBRAS Y DISTANCIA ENTRE PANELES.

La presencia de objetos que lleguen a tapar una parte del recorrido solar respecto a un punto de captación solar, provocará la proyección de sombra sobre éste. Cuanto mayor sea el recorrido solar tapado por dicho objeto, menos energía podrá captar. En el día más desfavorable del periodo de utilización del sistema, los módulos solares no han de tener más del 5% de la superficie útil de captación cubierta por sombras. Resultaría inoperante si el 20% de la superficie de captación estuviese sombreada.

En el caso que nos ocupa, no existen edificios, tampoco existen montañas, árboles o cualquier otro obstáculo cercano. En el caso de la cubierta de doble vertiente, el estudio de sombras no es necesario ya que todos los paneles fotovoltaicos se situarán sobre el mismo plano y por tanto no proyectarán sombras unos sobre otros.

En el caso de la cubierta fotovoltaica en diente de sierra, deberá estar diseñada de modo que no aparezcan sombras en los paneles. Para ello estos deberán instalarse a una distancia mínima que nos asegure la imposibilidad de proyección de sombras entre los mismos. Lógicamente, la distancia mínima entre fila y fila está marcada por la latitud del lugar de la instalación, dado que el ángulo de incidencia solar varía también con este parámetro. La separación entre filas de módulos fotovoltaicos se establece de tal forma que al mediodía solar del día más desfavorable (altura solar mínima) del periodo de utilización, la sombra de la arista superior de una fila se proyecte, como máximo, sobre la arista inferior de la fila siguiente, tal y como se observa en la figura.

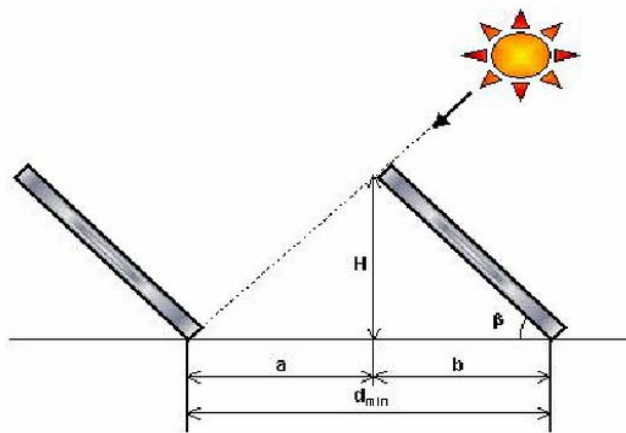


Fig. 68 Distancia entre paneles.

Distancia mínima entre filas de paneles solares.

En instalaciones que se utilicen todo el año, como es el caso que nos ocupa, el día más desfavorable corresponde al 21 de diciembre. En este día la altura solar es mínima y al mediodía solar tiene el valor siguiente:

$$H = (90^\circ - \text{latitud del lugar}) - 23.5^\circ$$

$$H = (90 - 18.4) - 23.5 = 48.1^\circ$$

De la figura anterior deducimos:

$$d_{\min} = l \cdot \left( \cos \beta + \frac{\text{sen} \beta}{\text{tg} H} \right)$$

Donde:

- $d_{\min}$  es la distancia entre módulos para evitar sombras, expresada en metros.
- $l$  es la longitud del módulo (incluido el marco y el soporte correspondiente).
- $H$  altura solar en el mediodía del mes más desfavorable.
- $\beta$  es el grado de inclinación de los módulos respecto a la horizontal

Teniendo en cuenta que la longitud del módulo es 0.8 m., tenemos que la distancia mínima entre módulos debe ser de 0.89 m. Aunque por factores de mantenimiento y así permitiéndolo el espacio disponible la distancia podrá ser de 1.8 m.



## 6.6.9 ESTRUCTURA DEL SISTEMA INTEGRADO.

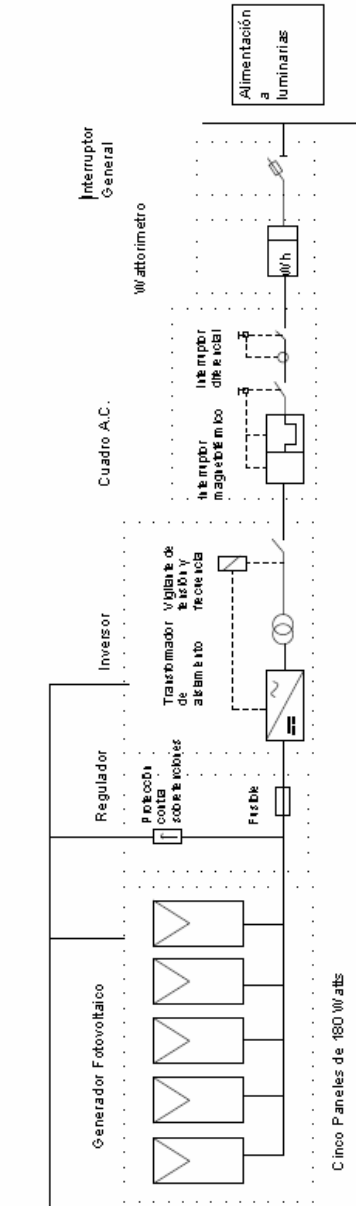


Fig. 69 Diagrama unifilar de la instalación fotovoltaica de sistema aislado.

## 6.6.10. CÁLCULO DE LA ENERGÍA GENERADA POR LA INSTALACIÓN.

Como en el apartado anterior, a efectos de calcular la energía eléctrica generada por la instalación tendremos en cuenta únicamente la alternativa de diseño que nos permite la instalación del n° máximo de paneles fotovoltaicos, es decir, la alternativa de súper posicionar arquitectónica, con objeto de valorar la máxima producción energética posible.

Para estimar la producción mensual teórica de energía eléctrica generada por la instalación, se partirá de los datos de radiación solar del emplazamiento del edificio extraídos del Atlas de Radiación Solar y se utilizará la ecuación siguiente:

$$P_i \text{ (kWh)} = I_i \text{ (kWh /m}^2\text{)} \times P_p \text{ (kW}_p\text{)} \times N$$

Siendo  $P_i$  la energía generada en un mes,  $I_i$  la irradiancia en el mes,  $P_p$  es la potencia nominal del panel  $i$  (120 Wp)  $N$  el n° de paneles del campo fotovoltaico (11), quedando los resultados como se muestra en la siguiente tabla.

Mes	Radiación promedio KWh/M2	Energía generada al mes KW	Cálculo por solar house
ENERO	4.9	35.28	32.5
FEBRERO	5.5	39.6	33
MARZO	6.2	44.64	42.3
ABRIL	6.4	46.08	39.9
MAYO	6.1	43.92	42.1
JUNIO	5.7	41.04	34.5
JULIO	5.8	41.76	35.2
AGOSTO	5.8	41.76	36.2
SEPTIEMBRE	5.2	37.44	31.7
OCTUBRE	5	36	33.9
NOVIEMBRE	4.7	33.84	31.2
DICIEMBRE	4.4	31.68	29.3
PROMEDIO		39.42	35.15
TOTAL ANUAL		473.04	421.8

Fig. 70. Produccion mensual de energía eléctrica.

DESCRIPCION: SISTEMA FV INTERCONECTADO A RED  
 NOMBRE DEL CLIENTE: ODDONCORTES  
 DIRECCION:  
 CIUDAD: TEHUACAN, PUEBLA.

COSTO ESTIMADO DEL SISTEMA: \$106,273.30 MN.  
 TC: \$12,91.00  
 FECHA: jueves, 30 de mayo de 2013  
 Realizado: Miguel Angel Corral Villa lobos

CALCULO ANUAL DE CONSUMO Y PRODUCCION DEL SISTEMA FV														
NÚMERO DE SERVICIO	2012												TOTAL ANUAL KWh	PROMEDIO BIMESTRAL KWh
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
CONSUMO CFE PROMEDIO	429	387	429	415	429	415	429	429	415	429	415	429	5,045	841
PRODUCCION SOLAR	325	330	423	399	421	345	352	362	317	339	312	293	4,216	708
RADIACION SOLAR†	5.058	5.695	6.585	6.423	6.553	5.551	5.489	6.634	5.101	5.284	5.017	4.573	5.58	5.58
													Diferencia	830

CAPACIDAD DEL SISTEMA	2.3 kwp	CANTIDAD	COSTO PZA.	COSTO TOTAL
MÓDULO SOLAR	227 W	10	\$310.81	\$3,108.10
KACO 250 2K	2,500 W	1	\$2,033.33	\$2,033.33
COSTO DE INSTALACION APROXIMADO		1	\$1,955.00	\$1,955.00
PRECIO POR WATT PICO.	3.085	TOTAL EN DOLARES		\$7,096.43
		TOTAL EN DOLARES CON IVA		\$8,231.86

ÁREA REQUERIDA
23 M <sup>2</sup>

	Kwh/h	Porcentaje
PRODUCCION SOLAR	4,216	84%
CONSUMO CFE PROMEDIO	830	16%

Fig. 71. Datos proporcionados por el particular solarhouse.

La producción real de energía generada por la instalación siempre será inferior al valor teórico calculado, dado que las condiciones de explotación no serán las de laboratorio y los diferentes elementos que intervienen en el sistema: paneles, conductores eléctricos, inversores, etc., producen unas pérdidas que reducen notablemente la eficiencia del conjunto. Así mismo, la distribución y orientación de los paneles sobre la cubierta, y las proyecciones de sombras sobre éstos, originan una serie de pérdidas adicionales que deben ser contempladas.

# Conclusiones

El proyecto muestra como la adopción de tecnología nueva como es la implementación de iluminación LED reduce los costos en cuanto al consumo de energía eléctrica.

El consumo de energía en las aulas fue determinando teniendo un consumo de 3072 watts para luminarias fluorescentes de 2 x32.

Las características, ventajas y desventajas en la operación de baterías, regulador, inversores, sistemas de iluminación LED que integra el sistema fotovoltaico.

El consumo del sistema actual a base de lámparas ahorradoras y la propuesta LED será de 576 watts.

La comparación económica entre la instalación actual contra la propuesta LED corresponde a un 62.5% en el ahorro de energía, siendo esta propuesta un apoyo para la económica en la universidad. El costo de luminarias tipo LED para las 8 aulas es de \$38,400.00 pesos.

# Anexos

**Tabla A-1. Insolación global media inclinación a a latitud en México en kWh/m<sup>2</sup>-Día**

Fuentes: Actualización de los Mapas de Irradiación Global solar en la República Mexicana (R. Almanza S., E. Cajal R., J. Barrientos A., 1997)  
Reportes de Insolación de México. Southwest Technology Development Institute, NMSU, 1999

Estado	Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Min	Max	Med
Aguascalientes	Aguascalientes	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	6.3	5.1	5.9	5.7	5.1	4.8	4.0	4.0	7.2	5.6
Baja CaliforniaSur	La Paz	4.4	5.5	5.0	5.5	6.5	6.6	6.3	6.2	5.9	5.9	4.9	4.2	4.2	6.6	5.7
Baja California	Mexicali	4.1	4.4	5.0	5.6	6.6	7.3	7.0	6.1	6.1	5.6	4.5	3.9	3.9	7.3	5.5
Baja California Sur	San Javier	4.2	4.6	5.3	6.2	6.5	7.1	6.4	6.3	6.4	5.1	4.7	3.7	3.7	7.1	5.5
Baja California Sur	S. José del Cabo	5.0	5.6	5.8	5.9	6.9	6.1	5.6	6.2	5.8	5.8	5.2	4.4	4.5	6.3	5.7
Campeche	Campeche	4.6	5.7	5.0	5.3	5.4	4.9	4.9	5.3	5.2	5.4	5.0	4.3	4.4	5.0	5.2
Chiapas	Amiapa	5.1	5.4	5.5	5.9	5.6	5.2	5.9	5.5	5.1	5.3	5.1	4.7	4.7	5.9	5.4
Chiapas	Juan Aldama	4.4	5.1	4.9	4.5	4.5	4.1	4.4	4.5	4.1	4.3	4.4	4.2	4.1	5.1	4.5
Chiapas	San Cristóbal	4.0	4.3	4.5	4.5	4.8	4.7	5.4	5.3	4.6	4.2	3.9	3.7	3.7	5.4	4.5
Chiapas	Tapachula	5.4	4.9	4.6	4.6	4.7	4.7	5.2	5.1	4.6	4.1	4.3	4.1	4.1	5.4	4.7
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	3.8	4.4	4.6	4.6	5.3	5.1	5.4	6.3	4.9	4.4	4.1	3.7	3.7	4.4	4.7
Chihuahua	Chihuahua	5.8	6.4	6.8	6.9	6.9	6.4	6.4	6.5	6.8	6.8	6.0	5.2	5.3	8.9	5.9
Chihuahua	Guachochi	3.3	3.5	3.9	4.4	5.1	5.3	5.4	5.6	5.7	5.1	4.9	4.4	3.3	6.9	6.4
Chihuahua	Cd. Juárez	6.0	7.2	7.3	7.3	6.9	6.5	6.3	6.5	6.8	7.4	6.6	5.9	5.9	7.4	5.7
Coahuila	Piedras Negras	3.1	3.6	4.2	4.5	4.8	6.0	6.7	6.3	4.9	4.1	3.3	2.9	2.9	6.7	4.5
Coahuila	Saltito	3.8	4.2	4.8	5.1	5.6	5.9	5.9	5.6	5.2	4.4	3.6	3.3	3.3	5.9	4.8
Colima	Colima	4.4	5.1	5.3	5.8	6.0	5.2	4.9	5.0	4.6	4.4	4.4	3.9	3.9	6.0	4.9
D.F.	Tacubaya	5.4	6.0	6.4	5.9	5.3	5.1	4.5	4.9	4.5	4.8	5.2	5.2	4.5	6.4	5.3
Durango	Durango	4.4	5.4	5.5	7.0	7.5	6.8	6.0	6.6	5.7	5.1	4.8	3.9	3.9	7.5	5.7
Guanajuato	Guanajuato	4.4	5.1	6.1	6.3	6.6	6.0	6.0	5.9	5.8	5.2	4.8	4.6	4.4	6.6	5.6
Guerrero	Acapulco	4.8	5.3	6.1	5.9	5.6	5.1	5.3	5.4	4.9	5.2	5.0	4.7	4.7	6.1	5.3
Guerrero	Agua Blanca	5.6	5.9	6.0	5.8	5.6	5.4	5.6	5.6	5.5	5.6	5.5	5.5	5.4	6.0	5.7
Guerrero	Chilpancingo	4.1	4.5	4.9	5.2	5.2	5.2	5.1	5.1	4.7	4.4	4.1	3.6	3.6	5.2	4.7
Hidalgo	Pachuca	4.6	5.1	5.6	6.6	6.0	4.7	5.9	5.8	5.3	4.9	4.6	4.2	4.2	6.6	5.4
Jalisco	Colotlán	4.6	5.7	6.5	7.5	8.2	6.6	5.8	5.6	5.8	5.3	4.9	4.1	4.1	8.2	5.9
Jalisco	Guadalajara	4.6	5.5	6.3	7.4	7.7	5.9	5.3	5.3	5.2	4.9	4.8	4.0	4.0	7.7	5.6
Jalisco	L. de Moreno	4.5	5.3	6.1	6.7	7.2	6.1	5.8	5.6	5.5	5.0	4.7	4.0	4.0	7.2	5.5
Jalisco	Puerto Vallarta	6.2	6.7	6.0	6.6	6.7	6.5	6.6	6.7	6.6	5.6	5.2	4.7	4.7	6.0	5.6
México	Chapingo	4.5	5.1	5.6	5.8	5.9	5.4	5.2	5.2	5.0	4.7	4.6	3.9	3.9	5.9	5.1
Michoacán	Morelia	4.2	4.9	5.5	5.8	5.9	5.2	5.0	5.1	4.9	4.6	4.3	3.7	3.7	5.9	4.9
Nayarit	Tepic	3.9	4.3	4.8	5.5	6.1	5.3	4.9	5.3	4.4	4.4	4.0	4.8	3.9	6.1	4.8
Nuevo León	Monterrey	3.2	3.6	4.1	4.3	4.8	5.5	6.1	6.6	6.0	3.8	3.3	3.0	3.0	6.1	4.4
Oaxaca	Oaxaca	4.9	5.7	5.8	5.5	6.0	5.4	5.9	5.6	5.0	4.9	4.6	4.4	4.4	6.0	5.3
Oaxaca	Salina Cruz	5.4	6.3	6.6	6.4	6.1	5.0	5.6	5.9	5.2	5.9	5.7	5.2	5.0	6.6	5.8
Puebla	Puebla	4.9	5.5	6.2	6.4	6.1	5.7	5.6	5.8	5.2	5.0	4.7	4.4	4.4	6.4	5.5
Quéretaro	Quéretaro	5.0	5.7	5.4	5.9	6.9	6.4	6.4	6.3	5.4	5.0	4.4	4.4	4.4	5.9	5.9
QuintanaRoo	Chetumal	3.9	4.7	5.4	5.7	5.3	4.7	4.9	5.0	4.5	4.4	4.0	3.7	3.7	5.7	4.7
QuintanaRoo	Cozumel	3.9	4.6	5.3	5.7	5.2	4.8	4.9	4.9	4.6	4.4	4.0	3.8	3.8	5.7	4.7

[http://solar.nmsu.edu/wp\\_guide/Apen\\_A.htm](http://solar.nmsu.edu/wp_guide/Apen_A.htm)

# Bibliografía y referencias

ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO, cap. ILUMINACION, Director del capítulo *Juan GuaschFarrá*, Gestión editorial Chantal Dufresne, BA, 1998.

<http://masluz.mx/284/productos/lamparas-para-techo/iluminacion-comercial/a-tubo-slim-t8-120m-18w-/>

Catálogo de Luminarias/ Para aplicaciones interiores y exteriores/GE Iluminación

Catálogo de Luminarias COMERCIALIZADORA MEXICANA DE MAQUINAS Y HERRAMIENTAS S.A. DE C.V. / Iluminación / Gabinetes de Plafón. / [www.commaq.com.mx](http://www.commaq.com.mx)

Principios de iluminación, Holophane.

Manual de alumbrado Westinghouse.

<http://www.solutronic.com.ar/index.htm>

<http://www.ecodirect.com/OutBack-GTFX2524-2500-Watts-24-Volts-p/outback-gtfx2524.htm>

<http://www.censolar.org/menu10.htm>

<http://es.scribd.com/doc/37252611/28>, Calculo-de-sombras-y-distancia-entre-paneles.

<http://www.novaday.com>

<http://www.accesosolar.com>

Manual práctico de alumbrado, Gilberto Enriquez Harper, editorial Limusa, 2003.

Principios de electricidad y electrónica, Antoni Hermosa, editorial Marcombo, 2005.

ABC de las instalaciones eléctricas-Industria, Enriquez Harper, editorial Limusa, 2005.

Energía solar fotovoltaica, Tomas Percles Benitz, Monty texto MUNDI-PRENSA LIBROS, S.A., ISBN 9788484763079, 2007.

Energía Solar Fotovoltaica Manual Práctico, A. Labouret- M.Villoz, Mundi-Prensa

Guía del instalador de energías renovables, Tomás Perales Benito, 4ª.Edición, CREACIONES COPYRIGHT, ISBN 9788496300569, 2009.

Energía del siglo XXI, Gregorio Gil García, Mundi-Prens Ediciones Paraninfo S.A. Avda. Filipinas, 50, Bajo, puerta A. 28003 Madrid (España),2008.