



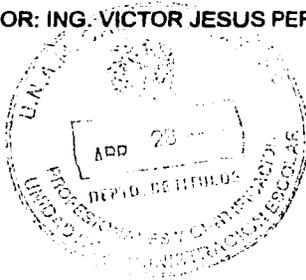
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES "ACATLÁN"

MODULOS FOTOVOLTAICOS PARA SUMINISTRAR
ENERGIA ELECTRICA EN UNA ZONA RURAL

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
INGENIERO CIVIL
PRESENTA:
GAMA RICO ISRAEL

ASESOR: ING. VICTOR JESUS PERUSQUIA MONTOYA



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ABRIL 2002



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**" MÓDULOS FOTOVOLTAICOS PARA SUMINISTRAR ENERGÍA
ELÉCTRICA EN UNA ZONA RURAL. "**

Dedico este trabajo muy en especial a mi Madre, con todo mi cariño, respeto y agradecimiento; ya que ha sido la persona que me ha brindado su apoyo incondicional, y que siempre me ha motivado a seguir adelante.

Agradezco a mi familia por darme siempre su apoyo

Agradezco a todas las personas que hicieron posible la realización de esta tesis, especialmente al Ingeniero Víctor Jesús Perusquia Montaya

“MÓDULOS FOTOVOLTAICOS PARA SUMINISTRAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA ZONA RURAL.”

OBJETIVO: Optimizar los módulos fotovoltaicos necesarios para suministrar energía eléctrica en una zona rural, considerando los requerimientos en una casa rural.

	Pg
INTRODUCCIÓN	1
I. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO RESPECTO A LA PERSPECTIVA DEL SECTOR ELÉCTRICO	4
Objetivo: Describir la importancia que tienen los módulos fotovoltaicos en las zonas rurales	
II. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.	26
Objetivo: Descripción de los módulos fotovoltaicos.	
II.1. Conceptos fundamentales.	26
II.1.1 Energética solar	33
II.1.2 Conversión eléctrica	40
II.2. Módulos fotovoltaicos	44
II.2.1 Características de los módulos.	45
II.2.2 Funcionabilidad de los módulos en el panel solar	53
III. EQUIPO DEL SISTEMA	56
Objetivo: Descripción de las partes que constituyen el sistema.	
III.1. Acumuladores.	56
III.2. Reguladores	60
III.3. Convertidores	64
III.4. Otros elementos	69
IV. PROYECTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UNA CASA RURAL	75
Objetivo: Optimización de un sistema fotovoltaico para una casa rural.	
IV.1. Localización de la casa rural	75
IV.2. Demanda y características de la casa rural	80
IV.3. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.	82
IV.4. Cálculo de los elementos de la instalación	84
IV.5. Estudios de factibilidad.	90

IV.5.1. Aspectos técnicos	91
IV.5.2. Aspectos económicos financieros.	93
IV.6. Ejecución y Montaje de una instalación fotovoltaica	94
V. RELACIÓN ENTRE SISTEMAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELECTRICA.	96
Objetivo: Análisis prospectivo entre el sistema actual y el sistema fotovoltaico	
V.1. Características generales	96
V.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS SOCIALES, TÉCNICAS Y FINANCIERAS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO Vs CONVENCIONAL	98
CONCLUSIONES.	101
ANEXOS.	
BIBLIOGRAFIA.	

INTRODUCCIÓN

El sol, fuente de vida y origen de las demás formas de energía que el hombre ha utilizado desde los albores de la historia, puede satisfacer todas nuestras necesidades, si aprendemos cómo aprovechar de forma racional la luz que continuamente derrama sobre el planeta. Ha brillado en el cielo desde hace unos cinco mil millones de años,¹ y se calcula que todavía no ha llegado ni a la mitad de su existencia.

Durante los próximos años el sol arrojará sobre la Tierra cuatro mil veces más energía que la que vamos a consumir.

No sería racional no intentar aprovechar, por todos los medios técnicamente posibles, esta fuente energética gratuita, limpia e inagotable, que podría liberarnos definitivamente de la dependencia de las energías convencionales, poco seguras o simplemente contaminantes.

Es preciso no obstante señalar, que existen algunos problemas que debemos afrontar y superar; aparte de las dificultades que una política energética solar avanzada, conlleva por si misma, hay que tener en cuenta que esta energía esta sometida a continuas fluctuaciones y variaciones más o menos bruscas. Así por ejemplo, la radiación solar es menor en invierno, precisamente cuando más la necesitamos.

Es de vital importancia proseguir con el desarrollo de la incansable tecnología de captación, acumulación y distribución de la energía solar, para conseguir las condiciones que la hagan definitivamente competitiva, a escala mundial.

Los especialistas en cuestiones energéticas ya comienzan a reconocer a la energía solar como la energía del siglo XXI sin embargo, tal denominación podría conducir a cierta confusión ya que induciría a suponer que la energía solar es algo del futuro, sin embargo desde hace algunas décadas comenzó a utilizarse.

Básicamente, recogiendo de forma adecuada la radiación solar, podemos obtener calor y electricidad. El calor se logra mediante colectores térmicos, y la electricidad, a través de los llamados **módulos fotovoltaicos**.

Ambos procesos nada tienen que ver entre sí, en cuanto a su tecnología y en cuanto a su aplicación.

La captación solar mediante las células solares dispuestas en paneles, ya producían electricidad en los primeros satélites espaciales en la década de 1950.

Actualmente los módulos fotovoltaicos se perfilan como la solución definitiva al problema de la electrificación rural, con clara ventaja sobre otras alternativas, pues al carecer los paneles de partes móviles, resultan totalmente inalterables al

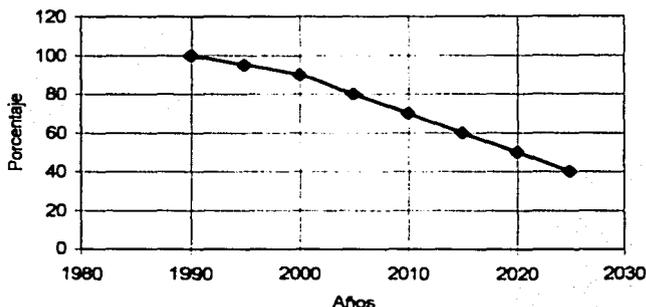
paso del tiempo, no contaminan ni producen ningún tipo de ruido, no consumen combustible y no necesitan mantenimiento continuo.

Además y aunque en menor rendimiento funcionan también en días nublados, puesto que captan la luz que se filtra a través de las nubes.

La electricidad que así se obtiene puede usarse de manera directa, o bien ser almacenada en acumuladores para usarse en las horas nocturnas. Incluso es posible inyectar la electricidad sobrante a la red general, por medio de un inversor de CD/CA obteniéndose así un importante beneficio.

Si se consigue que el precio de las células solares siga disminuyendo, iniciándose su fabricación a gran escala, es muy probable que en la segunda década del nuevo siglo, una buena parte de la electricidad consumida en los países desarrollados tendrán origen fotovoltaico.

% Costo Vs Años



Poco a poco en los últimos años se han extendido las instalaciones que aprovechan energía solar, tanto para el calentamiento de agua como para la generación directa de electricidad mediante los módulos fotovoltaicos.

Si bien es cierto, que debido a la tremenda inercia que provoca el hábito adquirido del uso de tecnologías energéticas hasta ahora dominantes, por una parte, y por otra quizás a fuertes intereses macroeconómicos, todavía pasarán algunos años hasta que la energía solar se abra camino por si misma de forma definitiva, si la sociedad es bastante sensata e inteligente para optar por la opción más razonable, la energía solar será una de las primeras fuentes de abastecimiento energético.

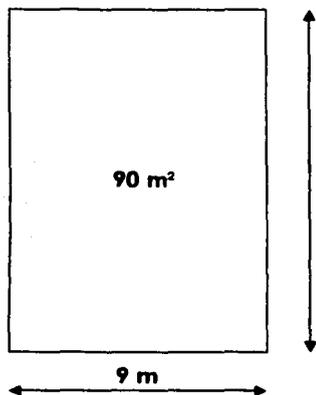
Es necesario crear en nuestro país conciencia del beneficio de los sistemas fotovoltaicos y al mismo tiempo empezar a capacitarnos para generar conocimientos para el diseño de tales sistemas.

La electrificación en zonas rurales sería muy rentable ya que existen zonas aisladas, donde hacer llegar la energía eléctrica por medio de la red general sería demasiado costoso.

Existen en México comunidades que se encuentran ubicadas en áreas consideradas como "reservas naturales" ² ahí habitan familias de indígenas las más pobres de México. Estas se ven forzadas a utilizar las reservas forestales(madera) como combustibles y como único medio de ingresos. Sin embargo estas actividades promueven la deforestación y además daña los recursos naturales de la reserva.

Desarrollando un buen proyecto para aprovechar la energía solar en estas zonas, utilizando módulos fotovoltaicos para satisfacer sus demandas de energía domestica y de suficiente energía que les permita desarrollar micro-empresas³ con actividades que generen para esas comunidades, nuevas fuentes de ingresos, se contribuye a cuidar las reservas naturales.

México podría ser un país privilegiado, si se aprovechará al máximo la energía solar que en él incide.⁴ Tomando como ejemplo una casa de 90 m² recibe en su techo al año 100 veces más energía que la que consume.



135	Kilowat bimestre
6	Bimestres
<hr/>	
810	Kw/año (red)
81,000	Kw/año (solar)
810	Kw/año (red)
<hr/>	
80,190	Kw/año (desperdicio)

Esta energía podría ayudar a resolver problemas como son: el ambiental, el desempleo por citar algunos sin embargo aprovecharla de manera adecuada en la modernización del país y en el mejoramiento de vida de sus habitantes, existe la apremiante necesidad de multiplicar esfuerzos y recursos dedicados a su investigación y desarrollo tecnológico con las más altas normas de calidad, así como su industrialización y comercialización a fin de poder satisfacer las necesidades no solo en las comunidades rurales sino en las urbanas, así como la pequeña mediana y gran industria.

1.- La Energía Solar Aplicaciones Prácticas CENSOLAR, Sevilla España. 3ra edición, edit progrensa, pg 12 1999

2.- INGENIERIA DE LA ENERGIA SOLAR: Rafael Almanza Salgado, Felipe Muñoz Gutierrez, UNAM Instituto de Ingeniería. 1ra edic, México 1994 pg

3.-4.- <http://pumas.iingen.unam.mx/>

CAPÍTULO I

I.- JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO RESPECTO A LA PERSPECTIVA DEL SECTOR ELÉCTRICO.

EL PROBLEMA ENERGÉTICO NACIONAL.

En México, más del 68% del consumo de energía primaria proviene de recursos fósiles. Es extraño, los recursos fósiles disponibles son muy escasos y, aún así, en la actualidad la dependencia de estos combustibles supera el 90%. Esta escasez de recursos fósiles contrasta con la gran disponibilidad de recursos naturales. Diversas regiones del mundo tienen zonas privilegiadas en lo que se refiere a presencia de recursos renovables como: el viento, el sol, el agua o la biomasa; y sus posibilidades de aprovechamiento podrían satisfacer una parte importante de su consumo de energía primaria.

Aunque el conjunto de las energías renovables reúne diferentes tecnologías con diferentes grados de madurez y de penetración en el mercado, existe un importante punto de unión entre todas estas tecnologías: su contribución en la sostenibilidad, es decir garantizar un sistema energético eficiente, respetuoso del medio ambiente y con un aprovechamiento muy grande de los recursos disponibles a nuestro alcance.

A lo largo de este siglo la percepción de la problemática de la energía ha sido muy diferente de la que tenemos actualmente. Así, el hecho de disponer de grandes cantidades de energía a bajo precio ha sido una condición necesaria para acceder a un cierto nivel de calidad de vida. Desde los inicios de siglo hasta principio de los setenta, el crecimiento económico de los países industrializados se fundamentó en la disponibilidad de una fuente de energía barata y abundante: el petróleo.

Las previsiones sobre la evolución del consumo de energía en el mundo, muestran un crecimiento similar en los próximos años. Aunque al final de los sesenta despuntaron voces críticas de que el crecimiento energético no se podía mantener indefinidamente, no fue hasta la primera Crisis del Petróleo que la sociedad empezó a conscientizarse del problema de la limitación de las reservas de combustibles fósiles, de las cuales sólo hay para 50 años de petróleo y 200 años de carbón (al ritmo de consumo actual).

Las únicas posibilidades de mantener un crecimiento económico sostenible garantizando un suministro energético a largo plazo, son, el incremento de la eficiencia y la búsqueda de energías alternativas al petróleo.

Entre las opciones para sustituir progresivamente la utilización masiva del petróleo se encuentra el aprovechamiento de los recursos energéticos renovables: Energía solar, eólica, hidráulica, biomasa y residuos, geotérmica y la de los océanos.

La energía es requerida para todas nuestras actividades cotidianas, como el transporte, la iluminación artificial, el funcionamiento de aparatos electrodomésticos como el refrigerador, la computadora, el teléfono, el radio y la televisión. Para producir mediante procesos industriales los satisfactores que a diario consumimos se requiere de grandes suministros de energía. Más aún, para mantenernos vivos nuestros órganos requieren de un constante suministro energético, que ingresa a nuestro cuerpo con los alimentos que tomamos.

Un indicador del nivel de vida de una población es el valor del consumo energético por cabeza; mientras más alto sea éste, se acepta que la población "vive mejor". Hoy en día existen innumerables comunidades cuyo consumo energético es tan bajo que no alcanza ni para mantener los procesos vitales de los organismos de sus integrantes. Ni qué hablar de satisfactores, industria o recreación para ellos.

Cuando se habla de indicadores evaluados "por cabeza" en un país o un pueblo, se ocultan estas desigualdades. Sin embargo, estos indicadores siguen dando una idea de cómo se compara el nivel de vida entre los países; así por ejemplo, el consumo energético por cabeza en los Estados Unidos de Norteamérica (el país más derrochador de energía), es 10 veces mayor que el correspondiente a Mongolia o China, y nueve veces más alto que el de nuestro país, cuyo número de habitantes es de apenas una tercera parte de la población del vecino país del norte. Hasta la fecha, los países del "primer mundo" han abusado de los recursos fósiles para el crecimiento de sus economías, alterando los ciclos ecológicos, produciendo lluvias ácidas y calentamiento global en la atmósfera.

Si los países tercermundistas siguieran su ejemplo para crecer económicamente, es seguro que terminaría por destruirse todos los ecosistemas como hoy los conocemos, pero debe reconocerse una realidad: en general los países desarrollados consumen mucha energía, no tanto porque sean ricos, sino más bien son ricos porque usan eficientemente mucha energía en sus procesos de producción de bienes y servicios.

En México el número de habitantes desnutridos se cuenta por decenas de millones, el ingreso está muy mal distribuido, el sector agropecuario está casi en ruinas en buena parte del país, la contaminación y el deterioro ambiental aumentan día con día, el agua es cada vez más escasa y de menor calidad, etc. Entre muchos otros problemas que tenemos que enfrentar, casi todos ellos están relacionados directa o indirectamente con la disponibilidad de energía.

Nuestro sistema eléctrico tiene 50 años de atraso; el consumo eléctrico por cabeza se espera, optimistamente, que en el año 2002 sea de alrededor de 1800 kWh/hab-año, apenas similar al correspondiente consumo de los EUA al término de la Segunda Guerra Mundial. Actualmente el consumo per cápita en ese país es de unos 12100kWh/hab-año, en tanto que en los países de la comunidad europea y Japón el consumo es del orden de los 4000kWh/hab-año, que corresponde aproximadamente a 1 kW instalado por habitante.

Para alcanzar este último nivel en el año 2006, cuando la población de México sea de alrededor de 100 millones de habitantes, se requeriría una capacidad instalada para generar electricidad de 100 mil MW, si en verdad se quisiese dejar de ser un país subdesarrollado.

Puede afirmarse, sin entrar a los detalles, que el problema energético nacional se resume en los siguientes puntos:

- La "generación" de energía, en sus diversas formas, es insuficiente para que más de 90 millones de mexicanos vivan bien. Como ejemplo, la capacidad instalada en todo el país para generar energía eléctrica, es mucho menor, a la correspondiente capacidad del estado norteamericano de Texas.
- La energía, al igual que el ingreso, está mal distribuida. Alrededor de 8 millones de habitantes no disponen de energía eléctrica en sus hogares (aunque quizá tampoco disponen de hogares), por habitar en comunidades muy alejadas de las líneas de distribución eléctrica.
- Se depende excesivamente de los combustibles fósiles para la "producción" de la energía. De acuerdo con el último balance nacional de energía publicado por la Secretaría de Energía, correspondiente a 1998, los hidrocarburos contribuyeron con un 90% a la producción de energía primaria, en tanto que el carbón contribuyó con el 2.1%, por lo que más del 92% de la producción de energía primaria se hizo a partir de los combustibles fósiles.
- Parece no existir la conciencia, ni entre la población ni entre sus gobernantes, de que el esquema tradicional de energización es insostenible. No se puede seguir construyendo termoeléctricas ni grandes hidroeléctricas sin ningún límite. Se deben buscar opciones novedosas, la más viables en el mediano y largo plazo es basar el sistema energético nacional en las fuentes renovables de energía, que en nuestro país, afortunadamente son muy abundantes.

SISTEMA ELÉCTRICO EXISTENTE.

SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL.

En las últimas décadas, el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) ha evolucionado a un ritmo acelerado.

Para la planeación de capacidad, el SEN se divide en las siguientes áreas

AREAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL



Las siete primeras se encuentran interconectadas entre sí y forman el Sistema Interconectado Nacional (SIN), que cubre prácticamente todo el macizo continental y la Península de Yucatán, las otras dos áreas que corresponden a la Península de Baja California, permanecen con sistemas independientes, debido a que su interconexión con el resto de la red nacional no se ha justificado por razones técnicas y económicas

El sistema eléctrico de Baja California tiene interconexiones con la red eléctrica de Estados Unidos.

Las nueve áreas en que se ha dividido el SEN para su planeación corresponden a las áreas de control coordinados por el Centro de Control de Energía, ubicado en la ciudad de México.

Con la interconexión de las áreas del sistema eléctrico se han logrado los siguientes beneficios.

- Reducir el requerimiento de capacidad instalada, ya que se aprovecha la diversidad de las demandas y se comparten las reservas de capacidad.
- Hacer posible el intercambio de energía entre regiones, de manera que resulten menores costos de producción para todo el conjunto
- Incrementar la confiabilidad del suministro ante condiciones de emergencia.

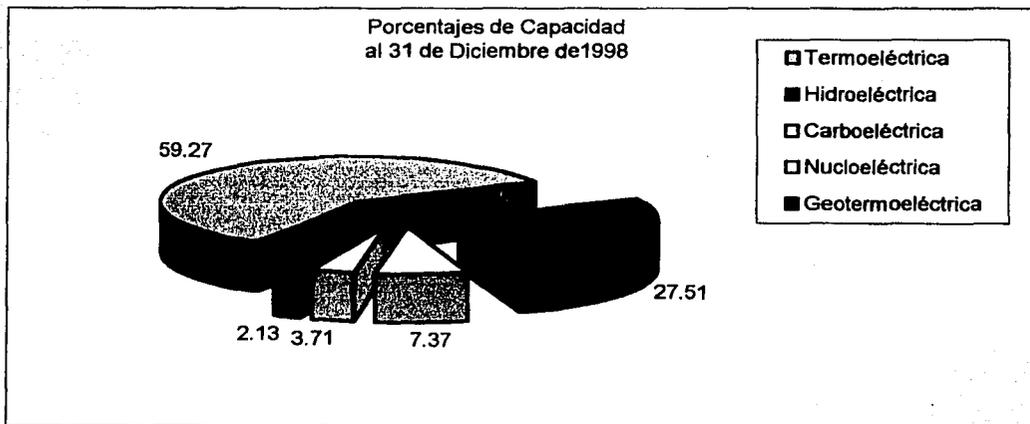
ESTRUCTURA DE GENERACIÓN

CAPACIDAD DE GENERACIÓN

El sistema de generación está integrado por centrales de diferentes tipos que utilizan distintos combustibles o fuentes de energía primaria. En diciembre de 1998, la capacidad instalada total alcanzó 35,256 MW distribuida en las diferentes áreas como se muestra en la siguiente tabla.

Capacidad 35,255.20 MW EN 1998

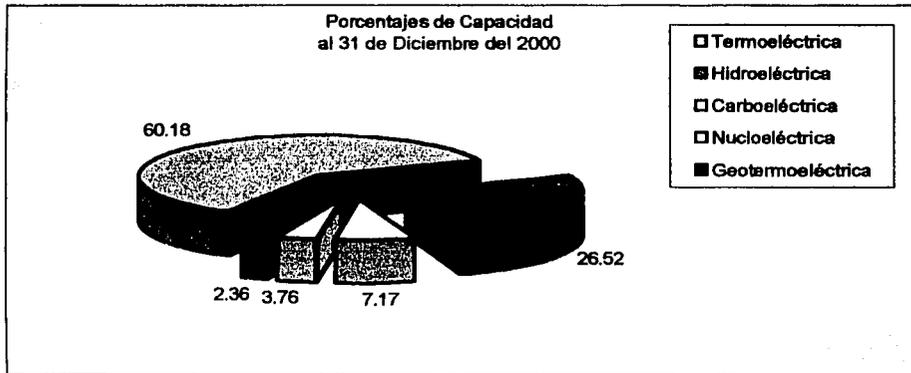
MW	%	TIPO DE GENERACION
20,894.60	59.27	Termoeléctrica
9,700.10	27.51	Hidroeléctrica
2,600.00	7.37	Carboeléctrica
1,309.10	3.71	Nucloeléctrica
749.90	2.13	Geotermoeléctrica
1.60	0.00	Eolico



En diciembre del 2000, la capacidad instalada total alcanzó 36268.50 MW distribuida en las diferentes áreas como se muestra en la siguiente tabla.

Capacidad 36,268.50 MW EN EL 2000

MW	%	TIPO DE GENERACION
21,825.40	60.18	Termoeléctrica
9,618.80	26.52	Hidroeléctrica
2,600.00	7.17	Carboeléctrica
1,364.90	3.76	Nuclioeléctrica
857.20	2.36	Geotermoeléctrica
2.20	0.01	Eolico
	100.00	



COGENERACIÓN

De acuerdo con la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento, existe un proceso de cogeneración cuando la generación de energía eléctrica se lleva a cabo:

- A través de un mismo proceso que en forma sucesiva genere energía térmica.
- A partir de energía térmica generada y no aprovechada en otros procesos.
- Utilizando combustibles producidos en otros procesos.

Hoy en día han surgido los procedimientos de cogeneración como consecuencia del encarecimiento de la energía producida en las centrales generadoras y principalmente en las térmicas convencionales.

Existen diferentes formas de definir la cogeneración, entre las cuales se enlistan algunas de ellas:

La cogeneración es la producción de manifestaciones de energía a partir de una misma fuente energética.

La cogeneración es la producción conjunta de energía eléctrica y de energía térmica aprovechable en forma de gases o líquidos calientes, a partir de una sola fuente energética.

Las ventajas que pueden presentar los diferentes sistemas de cogeneración son distintas desde el punto de vista de los intereses nacionales que desde la perspectiva de un solo industrial.

En estos casos se ha elaborado un resumen de dichas ventajas que se muestra en la relación siguiente:

- Ahorro energético:

El consumo de energía primaria es inferior en un sistema de cogeneración que el producir de forma independiente energía térmica y eléctrica.

-Ahorro económico:

Se deriva del ahorro energético mencionado en el punto anterior.

-Mejora del medio ambiente:

La mejora del medio ambiente se deriva de los siguientes casos:

- La cantidad de energía primaria necesaria para producir la misma cantidad de energía útil es menor.
- El impacto ambiental causado por el transporte, refinado y extracción de la energía puede ser más bajo.
- Posibilita la industrialización de zonas alejadas de las redes de distribución de alta tensión.

-Reducción de capital de inversión:

Si los industriales que consumen grandes cantidades de energía eléctrica cogeneran, el gobierno tiene que invertir menos para abastecer la demanda creciente de electricidad.

Enseguida se presenta la Capacidad en MW en las diferentes centrales de Generación, ubicadas en las distintas áreas del Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD



No	Central	Tipo	Capacidad (MW)	Área a la que Pertenece	Combustible ó Energético Primario
1	Belisario Dominguez (Angostura)	Hidroeléctrica	900	Oriental	Energía Hidráulica
2	M. Moreno Torres (Chicíasén)	Hidroeléctrica	1,500	Oriental	Energía Hidráulica

3	Malpaso	Hidroeléctrica	1,080	Oriental	Energía Hidráulica
4	A. Albino Corzo (Peñitas)	Hidroeléctrica	420	Oriental	Energía Hidráulica
5	Tamascal	Hidroeléctrica	354	Oriental	Energía Hidráulica
6	C. Ramirez Ulloa (Caracol)	Hidroeléctrica	600	Oriental	Energía Hidráulica
7	Infiernillo	Hidroeléctrica	1,000	Central	Energía Hidráulica
8	J. Ma. Morelos (Villita)	Hidroeléctrica	295	Central	Energía Hidráulica
9	Necaxa	Hidroeléctrica	109	Central	Energía Hidráulica
10	P. Elías Calles (El Novillo)	Hidroeléctrica	135	Noroeste	Energía Hidráulica
11	Raúl J. Marsal (Comedero)	Hidroeléctrica	100	Noroeste	Energía Hidráulica
12	Bacurato	Hidroeléctrica	92	Noroeste	Energía Hidráulica
13	Aguamilpa Solidaridad	Hidroeléctrica	960	Occidental	Energía Hidráulica
14	L. Donald Colosio (Huites)	Hidroeléctrica	422	Noroeste	Energía Hidráulica
15	V. Gómez Farias (Agua Prieta)	Hidroeléctrica	240	Occidental	Energía Hidráulica
16	Zimapán	Hidroeléctrica	292	Occidental	Energía Hidráulica
17	Fco. Perez Rios (Tula)	Termoeléctrica	1,982	Central	Combustóleo y Gas
18	Valle de México	Termoeléctrica	838	Central	Combustóleo y Gas
19	J. Luque	Termoeléctrica	224	Central	Gas
20	Manzanillo I y II	Termoeléctrica	1,900	Occidental	Combustóleo
21	Salamanca	Termoeléctrica	866	Occidental	Combustóleo
22	Villa de Reyes (SLP)	Termoeléctrica	700	Occidental	Combustóleo
23	Allamira	Termoeléctrica	770	Noreste	Combustóleo
24	A. López Mateos (Tuxpan)	Termoeléctrica	2,100	Oriental	Combustóleo
25	Monterrey	Termoeléctrica	465	Noreste	Combustóleo y Gas
26	Río Bravo	Termoeléctrica	375	Noreste	Combustóleo y Gas

27	Francisco Villa	Termoeléctrica	399	Norte	Combustóleo
28	Samalayuca	Termoeléctrica	316	Norte	Combustóleo y Gas
29	Gpe. Victoria (Lerdo)	Termoeléctrica	320	Norte	Combustóleo
30	Puerto Libertad	Termoeléctrica	632	Noroeste	Combustóleo
31	C. Rodríguez R. (Guaymas II)	Termoeléctrica	484	Noroeste	Combustóleo
32	J. Aceves Pozos (Mazatlán II)	Termoeléctrica	616	Noroeste	Combustóleo
33	Páte. Juárez (Rosarito)	Termoeléctrica	620	B. California	Combustóleo
34	Lerma (Campeche)	Termoeléctrica	150	Peninsular	Combustóleo
35	Mérida II	Termoeléctrica	168	Peninsular	Combustóleo
36	J.de Dios Bátiz(Topolobampo II)	Termoeléctrica	390*	Noroeste	Combustóleo
37	F. Carrillo P. (Valladolid)	Ciclo Combinado	212	Peninsular	Combustóleo/Diesel
38	J. López Portillo (Río Escondido)	Carboeléctrica	1,200	Noreste	Carbón
39	Carbón II	Carboeléctrica	1,400	Noreste	Carbón
40	Cerro Prieto	Geotérmica	620	B. California	Vapor Endógeno
41	Laguna Verde	Nuclear	1,309	Oriental	Óxido de Uranio
42	A. Olachea A. (San Carlos)	Combust. Interna	65	B. C. Sur	Combustóleo y Diesel
43	Páte. P. Elías Calles (Petacalco)	Dual	2,100	Occidental	Combustóleo y Carbón

TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN

El sistema de transmisión y distribución lo integran diferentes redes eléctricas con objetivos funcionales bien definidos:

a) La red de transmisión troncal, formada por líneas de transmisión y subestaciones de potencia a muy alta tensión (230 y 400 kV), permite movilizar grandes cantidades de energía entre regiones alejadas. Esta red es alimentada por las centrales generadoras y abastece las redes de subtransmisión, así como las instalaciones en 230 kV de algunos usuarios industriales. Al finalizar el año 2000 se alcanzó una longitud de 35,912 Km en líneas de transmisión en 230 y 400 kV.

b) Las redes de subtransmisión tienen una cobertura regional y utilizan altas tensiones de transmisión (69 a 161 kV). Suministran la energía a las redes de distribución en media tensión y a cargas de usuarios conectadas en alta tensión de subtransmisión. Al finalizar el año 2000 se alcanzó una longitud de 43,396 Km en líneas de transmisión de 69 a 161 kV.

c) Las redes de distribución en media tensión (2.4 a 60 kV) permiten distribuir la energía dentro de zonas geográficas relativamente pequeñas y abastecen las redes de distribución en baja tensión e instalaciones de usuarios conectadas en media tensión de distribución. La longitud acumulada de líneas de distribución en media tensión es de 550.102 Km, incluyendo 17.013 Km de líneas subterráneas.

d) Las redes de distribución en baja tensión (220 ó 240 volts entre líneas) alimentan las cargas de los usuarios de consumos pequeños.

En total, el SEN cuenta con 646,424 Km de líneas de transmisión en niveles de tensión de 2.4 a 400 kV. Del total anterior, el 8.2% corresponde a líneas de 230 y 400 kV; 9.8% a líneas de 69 a 161 kV, y el 82% a líneas con tensiones de 2.4 a 60 kV.

En subestaciones se tiene una capacidad instalada de 144,093 MVA de los cuales 96,679 MVA corresponden a subestaciones de transmisión y 28,241 MVA a distribución de CFE y 19,173 MVA a subestaciones de LFC.

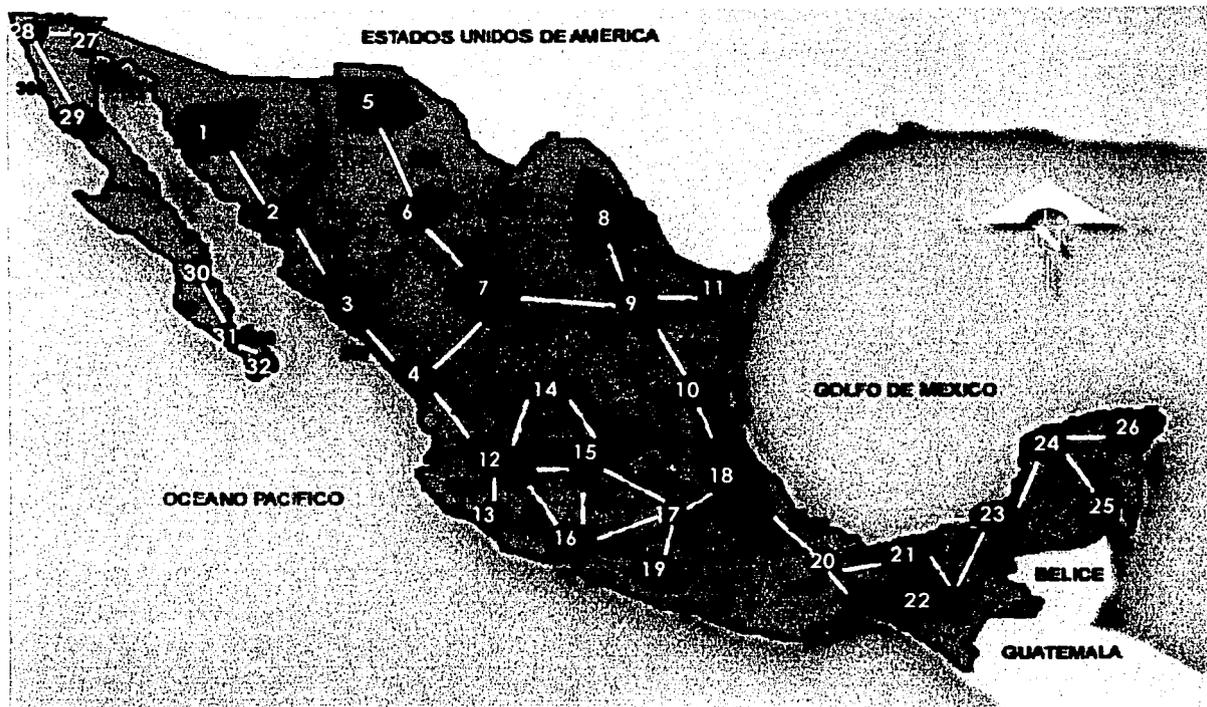
La red de transmisión se ha desarrollado tomando en cuenta tanto la magnitud y dispersión geográfica de las cargas, como la localización de las centrales generadoras. En ciertas áreas del país, los núcleos de generación y consumo de electricidad se encuentran alejados entre sí, por lo que la interconexión entre ellas se ha hecho de manera gradual, en la medida en que los proyectos se han justificado técnica y económicamente.

Debido a su estructura longitudinal y poco mallada, así como a la extensa cobertura de la red, la capacidad de transmisión de los enlaces entre las regiones del sistema depende de manera importante de las condiciones instantáneas de la demanda y de la capacidad de generación disponible. En términos generales, la potencia máxima que se puede transmitir por un enlace depende de los siguientes factores:

- a) Límite térmico de los conductores
- b) Límite aceptable de voltaje en los extremos del enlace
- c) Margen de seguridad que permita preservar la integridad y estabilidad del sistema ante una desconexión imprevista de una unidad generadora o de una línea de transmisión.

En el caso de la red nacional, los factores b) y c) son los que, con mayor frecuencia, restringen la potencia máxima de transmisión entre los enlaces.

**SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL
CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN ENTRE REGIONES (MW)
2001**



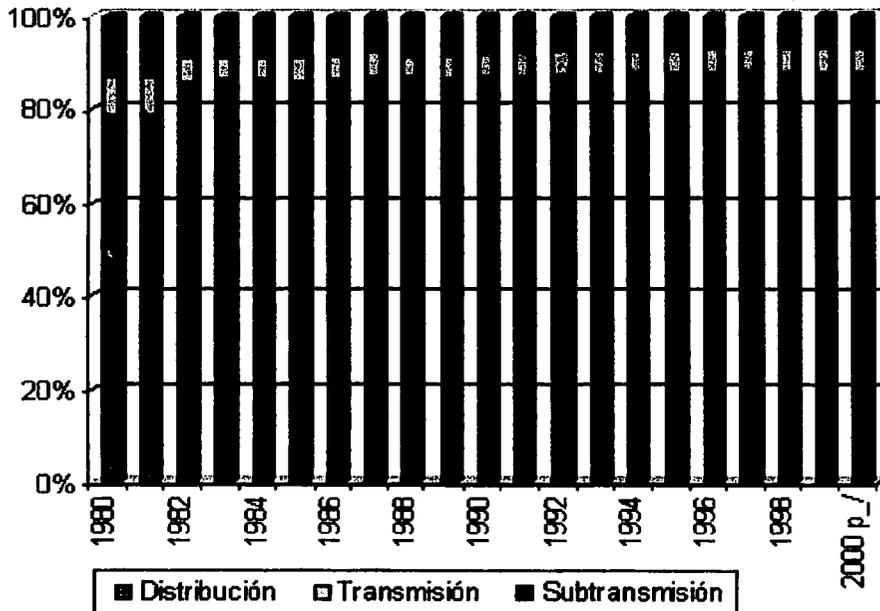
REGIÓN	NOMBRE	REGIÓN	NOMBRE	REGIÓN	NOMBRE
1	Sonora Norte	16	Lázaro Cárdenas	31	La Paz
2	Sonora Sur	17	Central	32	Cabo San Lucas
3	Mochis	18	Oriental		
4	Mazatlán	19	Acapulco		
5	Juárez	20	Temascal		
6	Chihuahua	21	Minatitlán		
7	Laguna	22	Grijalva		
8	Río Escondido	23	Lerma		
9	Monterrey	24	Mérida		
10	Huasteca	25	Chetumal		
11	Reynosa	26	Cancún		
12	Guadalajara	27	Mexicali		
13	Manzanillo	28	Tijuana		
14	San Luis Potosí	29	Ensenada		
15	Bajío	30	C. Construcción		

----- Línea adicional
 - - - - - Aumento de
 Capacidad

LONGITUD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DEL SUBSECTOR ELÉCTRICO PARAESTATAL

Año	LÍNEAS DISPONIBLES (KM)			
	Total	Transmisión	Subtransmisión	Distribución
1980	204,715.9	18,021.3	26,000.7	160,693.9
1981	218,154.0	19,126.4	27,954.2	171,734.0
1982	342,488.0	18,774.0	29,705.0	294,009.0
1983	363,050.0	18,913.0	30,747.0	313,390.0
1984	382,068.0	19,736.0	32,047.0	330,285.0
1985	400,462.0	22,035.0	34,219.0	344,208.0
1986	414,532.0	22,557.0	33,811.0	358,164.0
1987	431,557.0	23,510.0	33,420.0	374,627.0
1988	465,728.0	25,595.0	37,258.0	402,875.0
1989	477,489.0	27,002.0	38,145.0	412,342.0
1990	489,887.0	27,433.0	38,616.0	423,838.0
1991	509,544.0	28,343.0	38,430.0	442,771.0
1992	524,886.0	28,794.0	38,542.0	457,550.0
1993	540,500.0	29,617.0	38,568.0	472,315.0
1994	553,757.2	30,412.0	39,021.6	484,323.6
1995	564,599.6	30,791.0	39,469.5	494,339.1
1996	579,042.0	31,495.3	39,655.5	507,891.2
1997	599,727.4	32,183.3	40,124.1	527,420.0
1998	615,486.2	33,442.3	41,540.9	540,503.0
1999	629,633.8	34,458.3	42,168.3	553,007.2
2000 p./	646,423.5	35,912.3	43,395.7	567,115.5

Participación en el número de kilómetros de líneas disponibles en el transporte del fluido eléctrico

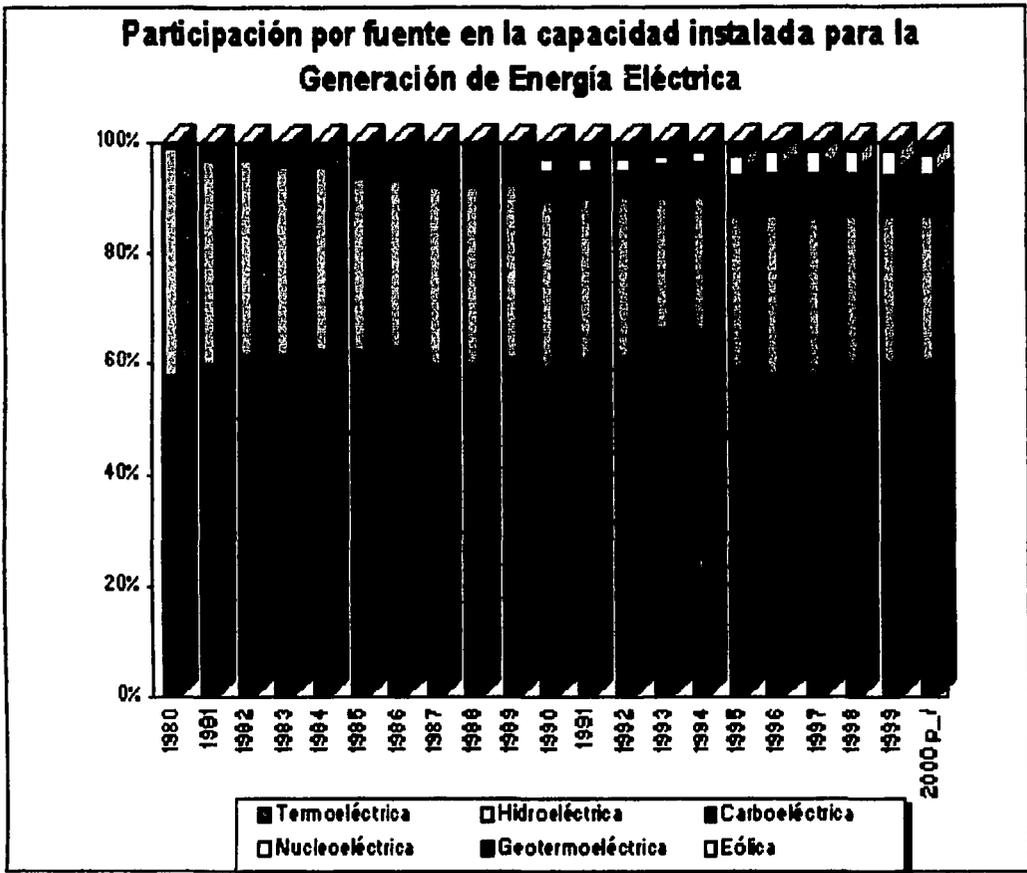


Los incrementos de capacidad de generación y transmisión que se requieren para el SEN a una visión futura, quedarán cubiertas mediante obras que se encuentran en proceso de producción o contratadas.

Los requerimientos no cubiertos por la capacidad comprometida serán abastecidos mediante proyectos de generación desarrollados por particulares o por la CFE, de acuerdo con la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE) y su reglamento, y se les denomina capacidad adicional.

CAPACIDAD INSTALADA DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL SECTOR PARAESTATAL

AÑOS	Total Sector Paraestatal	Termoeléctrica MW	Hidroeléctrica MW	Carboeléctrica MW	Nucleoeléctrica MW	Geotermoeléctrica MW	Eólica MW
1980	14,625.0	8,483.0	5,992.0	-	-	150.0	-
1981	17,396.0	10,366.0	6,550.0	300.0	-	180.0	-
1982	18,390.0	11,335.0	6,550.0	300.0	-	205.0	-
1983	19,004.0	11,667.0	6,532.0	600.0	-	205.0	-
1984	19,360.0	12,023.0	6,532.0	600.0	-	205.0	-
1985	20,807.0	12,950.0	6,532.0	900.0	-	425.0	-
1986	21,266.0	13,299.0	6,532.0	900.0	-	535.0	-
1987	23,145.0	13,749.0	7,546.0	1,200.0	-	650.0	-
1988	23,554.0	13,955.0	7,749.0	1,200.0	-	650.0	-
1989	24,439.0	14,779.0	7,760.0	1,200.0	-	700.0	-
1990	25,293.0	14,914.0	7,804.0	1,200.0	675.0	700.0	-
1991	26,797.0	16,271.0	7,931.0	1,200.0	675.0	720.0	-
1992	27,068.0	16,532.0	7,931.0	1,200.0	675.0	730.0	-
1993	33,572.3	22,086.3	8,171.0	1,900.0	675.0	740.0	-
1994	36,017.8	23,567.3	9,121.0	1,900.0	675.0	752.9	1.6
1995	33,037.3	19,394.8	9,329.0	2,250.0	1,309.1	752.9	1.6
1996	34,791.0	20,102.1	10,034.4	2,600.0	1,309.1	743.9	1.6
1997	34,814.8	20,120.1	10,034.1	2,600.0	1,309.1	749.9	1.6
1998	35,255.2	20,894.6	9,700.1	2,600.0	1,309.1	749.9	1.6
1999	36,666.3	21,327.4	9,618.8	2,600.0	1,368.0	749.9	2.2
2000p- /	36,268.5	21,825.4	9,618.80	2,600.0	1,364.9	857.2	2.2



EXPANSIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Los proyectos de generación y transmisión de energía eléctrica tienen largos períodos de maduración, de cuatro a siete años. Si hablamos de líneas de transmisión se requiere períodos de 4 a 6 años, considerando que la vida útil de las instalaciones es de 30 años, es necesario planificar a largo plazo la expansión del SEN.

El programa de expansión cumple con el objetivo de ser lo más óptimo, se determina mediante un análisis sistemático de diversas configuraciones de proyectos, que se evalúan en el marco del sistema eléctrico.

La carga total tiene un sin número de variaciones estacionales a lo largo del año, lo cual obliga a producir la energía eléctrica en el instante que la requieren los

usuarios. Por lo tanto es necesario contar con una capacidad de reserva adicional a la carga total.

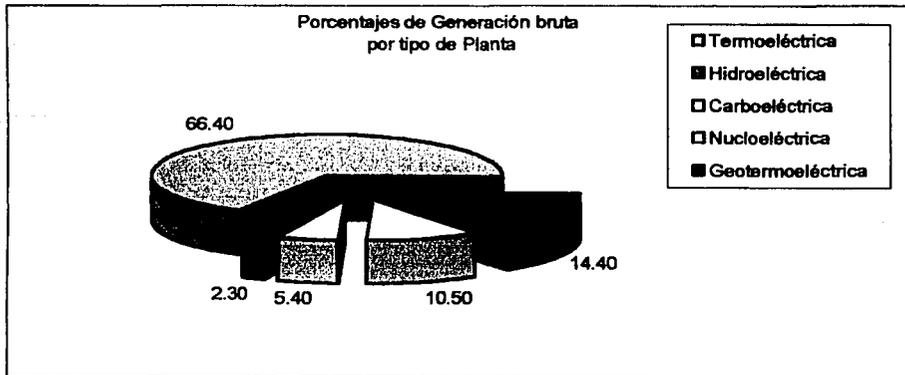
La expansión del SEN se planifica de manera integral, analizando las opciones de generación de las diferentes regiones del sistema conjuntamente con las posibles adiciones de capacidad de transmisión

GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN MÉXICO

En México, la fuente de energía primaria que tiene mayor participación en la generación de electricidad es la de los hidrocarburos. Se consideran fuentes alternas, las energías hidráulica, geotérmica, nuclear, eólica, y el carbón. En 1998 se generó un total de 170,983 GWh de los cuales el 66.4% correspondió a los hidrocarburos, 14.4% a hidroelectricidad, 10.5% al carbón, 5.4% a Nucleoeléctrica y 3.3% a geotérmica y eólica.

Generación 170,983.00 GWh de Enero a Diciembre de 1998

GWh	%	TIPO DE GENERACION
113,532.71	66.40	Hidrocarburos
24,821.55	14.40	Hidroeléctrica
17,953.22	10.50	Carboeléctrica
9,233.08	5.40	Nucleoeléctrica
3,932.61	2.30	Geotermoeléctrica
1,709.83	1.00	Eolico
	100.00	



AÑO	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Capacidad (MW)	33,037	34,791	34,815	35,255	36,666	36,269
Generación (TWh)	140.82	149.97	159.83	170.98	179.07	189.99

FUENTES DE ENERGÍA

TIPOS DE FUENTES DE ENERGÍA

Descripción

No Renovables

Energía que no es capaz de regenerarse:

Hidrocarburos:

- Petróleo
- Gas Natural

Carbón
Nuclear

Renovables

Flujo de energía que ocurre en forma natural y repetida en el ambiente:

Solar:

- Fotovoltaica
- Fototérmica

Eólica
Biomasa
Hidroenergía
Geotermia
Maremotriz

Uso de cada fuente como porcentaje de la energía total generada en el país

De acuerdo al Balance Nacional de Energía 1998, la estructura de participación de las diferentes fuentes de energía en el total de la producción primaria del país, es la siguiente:

Hidrocarburos	90%
Biomasa	3.3%
Hidroenergía	2.5%
Carbón	2.1%
Nuclear	1.0%
Geotermia	0.6%
Eólica	0.3%
Solar	0.2%

100%

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA UNA DE LAS FUENTES DE ENERGÍA EN CUANTO A EFICIENCIA, COSTO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE

Los combustibles fósiles (hidrocarburos y carbón) son la principal fuente de energía, como consecuencia de su menor costo y mayores eficiencias en su transformación. Sin embargo, el impacto ambiental por la emisión de gases efecto invernadero como consecuencia de su combustión, puede limitar su utilización en el futuro.

Por su parte, la generación a partir de otras fuentes resulta una opción cada vez más atractiva, aún cuando se estima que representará solamente una parte de los requerimientos totales de energía.

En particular, la energía eólica ha alcanzado precios competitivos a escala internacional, no representa impactos ecológicos negativos, se cuenta con un potencial adecuado para su desarrollo en varias regiones y ha superado los principales problemas técnicos que limitaban su uso. Como los sistemas eólicos son modulares, ofrecen una gran flexibilidad de planeación y reducen los riesgos de predicción en la demanda de energía, aún cuando persisten los problemas en la inseguridad de la generación, debido a la intermitencia de la fuente energética.

En las regiones alejadas de las redes de transmisión eléctrica y que tienen una buena cantidad de insolación a lo largo del año, resultan económicamente atractivos los **sistemas fotovoltaicos** o híbridos en combinación con los eólicos, para abastecer del fluido eléctrico a desarrollos turísticos y pequeñas comunidades, repetidoras de microondas, telefonía rural, bombeo de agua, etc., no obstante, su empleo se ve restringido por el período de exposición a la luz solar y por mejoras en el diseño de las baterías utilizadas para el almacenamiento de la energía generada.

La hidroelectricidad, si bien es una de las fuentes convencionales de amplio uso en el ámbito mundial y con menores impactos al medio ambiente, requiere grandes inversiones que limitan su desarrollo. En similar situación se encuentra la generación de electricidad a través energía nuclear, a cuya inversión necesaria para la instalación de la central generadora, se le debe sumar el costo requerido para su desmantelamiento al término de su vida útil.

La generación de electricidad por medio de fuentes geotérmicas se encuentra circunscrita a la disponibilidad de este tipo de yacimientos. Aún cuando su empleo es atractivo, presenta un impacto ecológico derivado de las salmueras obtenidas durante el proceso.

Existe una serie de fuentes que aún se encuentran en una etapa de transición entre la investigación y su utilización a escala industrial, tales como la energía maremotriz, celdas de combustibles, biomasa, etc., las cuales se estima que pueden tener potencial a futuro, una vez que superen los problemas técnicos y se abatan sus costos de generación.

El desarrollo sustentable de un país lleva implícito un crecimiento económico constante y de largo plazo, el cual garantice mejores niveles de vida a sus habitantes (empleo, salarios decorosos, educación, etc.) y un uso eficiente y racional de los recursos naturales con el menor impacto posible al medio ambiente. Es así como existe una interrelación estrecha entre la economía y el sector energético, debido a que el sector energético tiene fuertes impactos en el sector externo de la economía, en los ingresos fiscales y en general sobre las finanzas públicas.

Actualmente, la contribución del sector energético es generar beneficios e inversiones que incorporen progreso técnico y ser enlace con los sectores productivos de la economía para suministrar en forma suficiente, en cantidad y calidad, los energéticos necesarios para la realización de sus actividades, lo que se traduce en un aumento del valor agregado interno.

FUENTES DE ENERGÍA APLICACIONES E IMPLICACIONES

Las fuentes de energía se aplican para el desarrollo de todas las actividades propias del ser humano, encaminadas al mejoramiento de las condiciones de vida y los sistemas de producción, que van desde la obtención de alimentos, el desarrollo de todas las actividades económicas, hasta el logro de las grandes hazañas espaciales de los últimos años.

Actualmente no se concibe un desarrollo económico sin energéticos, pues implicaría una regresión a los albores de la humanidad cuando se desconocían éstos y su forma de aprovechamiento.

Desafortunadamente el desarrollo de todas las actividades se han basado en una franca dependencia de los energéticos, lo que ha motivado un marcado dispendio y una ineficiente utilización de las fuentes de energía, fundamentalmente aquellas provenientes de los combustibles fósiles (hidrocarburos y carbón).

Por otra parte se están haciendo grandes esfuerzos por racionalizar su uso, promoviendo una mayor eficiencia, además de diversificar las fuentes primarias de energía.

NUESTRAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA

Generalidades.

México posee un potencial considerable de generación de energía a partir de fuentes renovables, tanto por su extensión territorial de casi 2 millones de kilómetros cuadrados, como por su ubicación geográfica comprendida entre las latitudes norte de 32° 43' y 14° 32'. Al Oeste y al Este, el país está limitado por grandes litorales de más de 10 mil km de longitud, en donde se producen lluvias ciclónicas prácticamente durante todo el año y varias zonas geográficas preferenciales de viento.

Por otra parte, cuatro serranías captan todo el potencial pluvial ciclónico y ciertas fallas geológicas volcánicas permiten el aprovechamiento de los recursos geotérmicos para la generación de electricidad. Además, casi tres cuartas partes del territorio nacional se pueden considerar como zonas áridas o semiáridas en las que se observa una irradiancia solar promedio superior a los 5.5 kilowatts hora por metro cuadrado al día.

En el país existe una amplia experiencia en el uso de ciertas fuentes renovables de energía (FRE), particularmente en los llamados sistemas descentralizados o de autoabastecimiento, generalmente sistemas fotovoltaicos, foto térmicos y generadores eólicos de pequeña escala y especialmente el aprovechamiento de energía geotérmica y la energía hidroeléctrica en grandes centrales.

ENERGÍA SOLAR.

Nuestro país recibe una cantidad inmensa de radiación solar; en casi el 40% de su extensión territorial de aproximadamente 2 millones de kilómetros cuadrados, se reciben unos 21 MJ/M² día. En un día despejado en las horas de mayor insolación, se recibe cerca de 1kW térmico por cada metro cuadrado de superficie sobre una azotea de 100 m² de planta, se reciben unos 550 kilowatt-hora/cada día.

En principio, si se lograra convertir en energía eléctrica tan sólo el 1% de la energía solar que incide sobre el territorio nacional, ¡En un día se generaría prácticamente toda la electricidad consumida en México en el 2001!

Las opciones para aprovechar directamente esta energía son 4 en total, si se tiene en cuenta la "solarización pasiva", que aunque no es una forma de producir energía, sí es una manera de evitar tener que consumirla.

Se pueden emplear colectores planos de diversos diseños para la producción de agua caliente para usos domésticos en el baño y la cocina, por ejemplo. El empleo de este tipo de colectores, cuya tecnología está bien desarrollada en nuestro país, ayudaría a ahorrar gas, que debe emplearse en aplicaciones industriales que requieran temperaturas mucho mayores (de unos 100 °C). En tanto que en países como Japón o Israel, es obligatorio el empleo doméstico de

este tipo de colectores, en México se siguen instalando entre 600 y 700 mil calentadores de gas cada año. Convendría legislar a fin de desalentar el empleo de éstos últimos y propiciar su sustitución por los primeros. Las más de 30 empresas nacionales fabricantes de estos sistemas, asegurarían su suministro masivo y se verían ellas mismas fortalecidas en gran medida.

Si se emplean concentradores solares de enfoque, se pueden alcanzar temperaturas superiores a los 3000 °C, suficientemente altas para todos los procesos industriales y cualquier aplicación que se requiera. La desventaja de estos sistemas estriba en que requieren un sofisticado, y por ende costoso, mecanismo de seguimiento solar.

Otra manera de aprovechar la energía solar, es **transformarla directamente en energía eléctrica** mediante **celdas fotovoltaicas**. Su elevado precio es por el momento su principal limitación para su empleo masivo. Sin embargo, para algunas aplicaciones específicas, como el suministro de energía de estaciones meteorológicas remotas, o la iluminación de viviendas lejanas a la red de distribución eléctrica, resultan la opción más conveniente. Por otra parte, se investiga en varios países, México entre ellos, cómo reducir sus costos de producción.

CAPÍTULO II

II.- MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

II.1.- CONCEPTOS FUNDAMENTALES.

CONCEPTOS DE ENERGIA

La energía ha llegado a convertirse en una magnitud indicativa de primer orden, verdadera "moneda universal" que cuantifica el grado de desarrollo tecnológico y capacidad económica de los pueblos.

No entrando aquí en consideraciones socio-filosóficas acerca de si la constante utilización de cantidades cada vez mayores de energía es el camino adecuado, lo cierto es que esta ha sido la tendencia de los últimos dos siglos, en los que la potencia de las maquinas utilizadas en beneficio (al menos en principio) del hombre ha ido aumentando en proporciones impresionantes.

Definición y formas de la energía

Energía es la magnitud que permite conocer la mayor o menor capacidad de un ente físico para producir trabajo. Es, pues la medida de esa capacidad o ese trabajo que podría realizarse. De la anterior definición se desprende que las unidades de energía son las mismas que las de trabajo.

Conviene recalcar que, cuando decimos que un cuerpo o un sistema posee una determinada cantidad de energía, estamos hablando acerca de su potencialidad teórica para producir trabajo, lo cual no quiere decir que dicho trabajo llegue efectivamente a realizarse, ni que se establezca, un limite máximo al trabajo que se podría obtener del mismo.

Los entes físicos pueden tener la posibilidad de realizar trabajo a través de muchas diferentes vías. Al trabajo capaz de ser realizado gracias a cada una de las formas o aptitudes del ente en particular le corresponde un tipo diferente de energía, que conviene distinguir de los restantes.

Uno de los ejemplos más claros en que un cuerpo posee cierta capacidad para realizar trabajo ocurre cuando dicho cuerpo se mueve con respecto a su entorno. Un balón de fútbol lanzado por la patada de un jugador podría teóricamente proporcionarnos un trabajo útil, si se aprovechase la velocidad que lleva.

La energía que un cuerpo, de masa **m** y que se mueve con velocidad **v**, se conoce con el nombre de **energía cinética Ec** y es posible obtener una expresión elemental de la misma:

$$E_c = mv^2 / 2$$

Otros tipos o formas de energía que no tienen que ver con la velocidad de los cuerpos, es decir, que no son energías cinéticas, se denominan **energías potenciales (Ep)**.

Existen muchas clases de energías potenciales. Una particularmente importante es la **energía potencial gravitatoria**, que es la que un objeto posee debido a la posición que ocupa respecto a un plano horizontal de referencia. Si su masa es **m** y está situado a una altura **h** del suelo, su energía potencial gravitatoria respecto al mismo vale

$$E_p = mgh$$

Otros tipos de energía potenciales que merece la pena citar son: la energía eléctrica, la química, la elástica, la calorífica de los combustibles, etc.

CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA.

Uno de los aspectos más característicos de la energía es que se puede pasar de una forma a otra. Una piedra que cae convierte su energía potencial en cinética a medida que va cayendo. Un dinamo que carga un acumulador eléctrico convierte la energía cinética del rotor en energía química de las sustancias del interior del acumulador, el cual a su vez la podrá convertir posteriormente en energía eléctrica, etc.

La mayor parte de las máquinas y aparatos que utilizamos convierten la energía de una forma a otra más apropiada para satisfacer unas necesidades específicas.

CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA.

Es un hecho avalado por la experiencia y constituye uno de los pilares básicos de la Física que, en un sistema aislado (aquel que no intercambia masa ni energía con el entorno exterior), la energía total se conserva. Puede adoptar formas diversas y variar la proporción relativa de unas y otras con el transcurso del tiempo pero la suma de todas ellas, es decir la energía total, es siempre constante.

Es evidente que, si en vez de a un sistema aislado nos refiriésemos a un sistema abierto (puede haber intercambios con el exterior), también se podrá aplicar el anterior **Principio de Conservación** siempre y cuando se tengan en cuenta las cantidades de energía que hayan entrado o salido del sistema. Este principio

representa una ley universal y es de continua aplicación en todos los campos de la Ciencia y la Técnica.

RENDIMIENTO

Cualquier sistema o dispositivo físico capaz de transformar una determinada clase de energía en otra más apropiada para un cierto uso o aplicación resulta tecnológicamente interesante.

Se denomina rendimiento, η , o eficiencia al cociente (frecuentemente expresado en tanto por ciento) entre la cantidad de energía transformada útil para su uso y la cantidad de energía absorbida o consumida por el sistema. La diferencia entre la energía que "entra" y la que "sale" es normalmente disipada en forma de energía térmica, de forma que el principio de conservación de la energía no se viola.

$$\eta = \frac{\text{energía}_{\text{útil}}}{\text{energía}_{\text{consumida}}} \times 100$$

Por ejemplo, si mediante una bomba que funciona con corriente eléctrica, extraemos de un estanque un volumen V de agua, elevándola hasta un depósito situado a una altura h por encima del estanque, estamos transformando parte de la energía eléctrica que alimenta a la bomba en energía potencial del agua (otra parte se transforma en calor, fenómeno que inevitablemente ocurre en todos los procesos reales de conversión de energía).

TERMODINÁMICA

Es la rama de la física que se ocupa del estudio de los procesos y de los cambios energéticos de un sistema cuando interviene el calor.

Anteriormente hemos introducido el concepto de calor como ente físico capaz de ser medido y de propagarse. Ahora, profundizando algo más, consideramos el calor como un tipo particular de energía: la **energía térmica**.

Actualmente el calor se considera únicamente como una manifestación particular de la energía en aquellos procesos que implican transferencia de esta de unos cuerpos a otros. De acuerdo con este concepto, el calor se puede medir en las mismas unidades en que se mide el trabajo y la energía. Así, por ejemplo, una caloría es completamente equivalente a 4.184 joules.

Tanto el trabajo como el calor son conceptos dinámicos que siempre se refieren a energía que se transmite de un lugar a otro. Así, el calor que se puede extraer de un cuerpo no es una cantidad definida a priori sino que depende de cada proceso concreto.

ENERGÍA RADIANTE

Es la energía asociada con las ondas que se propagan de un lugar a otro. En particular nos interesa la energía de las ondas electromagnéticas, de las que la luz es un caso particular.

POTENCIA E INTENSIDAD DE LA RADIACIÓN

Si consideramos una superficie imaginaria de área S perpendicular a la dirección de propagación de las ondas, se llama **intensidad de radiación, I** , a la energía radiante que atraviesa dicha superficie dividida por el área de la misma y por el tiempo que tarda en atravesarla, es decir,

$$I = \frac{E}{St}$$

La unidad en el SI será el joules/m² . s = W/m²

Dado que $P = E/t$, otra posible expresión para I será:

$$I = \frac{P}{S}$$

Donde P es la potencia de la radiación incidente.

Todo cuerpo, por el mero hecho de estar a una cierta temperatura, emite continuamente radiación en todas las direcciones. Consecuentemente, pierde constantemente energía y, por tanto, su temperatura tiende a bajar.

Por otra parte, también la superficie de dicho cuerpo estará recibiendo las radiaciones provenientes de otros cuerpos alrededor. Así, se establece un balance energético de emisión-absorción que tiende a alcanzar un estado de equilibrio en el cual la cantidad de energía que el cuerpo absorbe sea igual a la que emite y, por tanto, su temperatura permanecerá invariable.

Sin embargo, antes de alcanzarse dicho estado, el desequilibrio entre la energía emitida y absorbida a través de la superficie del cuerpo origina una variación en la temperatura de este, que puede tener importancia práctica.

EL CUERPO NEGRO

Con esta denominación nos referimos a un cuerpo ideal, perfecto emisor y absorbente de radiación, que obedece a ciertas leyes conocidas.

El cuerpo negro emite radiación, no de una única longitud de onda (o frecuencia) sino de muchas simultáneamente, aunque no con la misma intensidad para todas ellas.

Si representásemos en una gráfica la distribución de intensidad de la radiación emitida en función de la longitud de onda de la radiación, obtendríamos lo que se llama **espectro** de la radiación.

Para un cuerpo negro dicha distribución espectral es una curva perfectamente definida y que solamente depende de la temperatura en la superficie del mismo.

Es interesante la relación existente entre la longitud de onda λ que corresponde a la máxima intensidad relativa, es decir, la longitud de onda más predominante entre todas (la que corresponde a la parte más alta de la curva) y la temperatura absoluta T de la superficie emisora. Dicha relación es:

$$\lambda_M \cong 2.9 \times 10^{-3} / T$$

La anterior fórmula nos indica que, al descender la temperatura de los cuerpos calientes, en un espectro predominan cada vez más las ondas "largas", que son aquellas que tienen mayor longitud de onda y por lo tanto menor frecuencia (dada la relación $f = c/\lambda$).

La intensidad de radiación total del cuerpo negro correspondiente a la totalidad de las longitudes de onda de la radiación emitida viene expresada también por una sencilla ley:

$$I = 5.67 \times 10^{-8} T^4 \text{ (SI)}$$

Dicha intensidad es, como puede verse, proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta de la superficie del cuerpo, teniendo la anterior relación importantes aplicaciones, entre otras la de evaluar las pérdidas de calor por radiación en los colectores solares térmicos.

Los cuerpos reales se aproximan más o menos al comportamiento del cuerpo negro ideal (tanto mejor cuando más oscuros son) y las leyes anteriormente citadas son también aproximadamente válidas, aunque para evaluaciones cuantitativas hay que introducir unos coeficientes de corrección que dependen del color y características de la superficie de cada cuerpo.

LA ENERGÍA DE LA RADIACIÓN

La energía de una radiación es directamente proporcional a la frecuencia de la onda (recuérdese que la frecuencia era una medida de la rapidez con que se produce la oscilación electromagnética). Cuanto mayor sea la frecuencia y, por tanto, menor sea la longitud de onda, mayor será el poder energético de la radiación y por consiguiente será también mayor la capacidad de penetración de dicha radiación a través de cuerpos que ofrezcan alguna facilidad para ello, tales como el vidrio.

La radiación infrarroja, de longitud de onda relativa grande, es emitida de acuerdo con la expresión;

$$\lambda_M \cong 2.9 \times 10^{-3} / T$$

Por cuerpos de temperatura no muy elevada. Dicha radiación de frecuencia baja, tiene poco poder energético para atravesar el vidrio, aunque podemos sentir sus efectos al ceder su energía sobre los cuerpos cuya superficie incide, calentándolos.

Un radiador de una calefacción central por agua caliente emite fundamentalmente radiación infrarroja, ya que su temperatura no es muy elevada, entre 60 °C y 90 °C. Las brasas incandescentes de una hoguera, de temperatura mucho mayor, emiten, además de radiación infrarroja, también radiación visible, de menor longitud de onda, por eso precisamente brillan al rojo vivo.

El sol, cuya temperatura superficial es aproximadamente de 5900 °K, emite radiaciones infrarrojas, visibles (la luz que vemos) y ultravioleta, con un espectro energético.

FOTONES

En realidad, tanto la energía radiante solar como la de cualquier otra fuente de ondas electromagnéticas no es rigurosamente continua. La física cuántica ha demostrado que las ondas viajan en pequeñas agrupaciones llamadas **fotones** a los que se puede aplicar, a efectos prácticos, los conceptos de longitud de onda, frecuencia y energía que hemos definido. Así, hablamos de fotones ultravioletas o fotones infrarrojos según sea su longitud de onda.

Así como percibimos el viento como un fluido continuo que sopla a nuestro alrededor, pero que en realidad está formado por innumerables moléculas de aire que, moviéndose en una determinada dirección y golpeando los objetos que se encuentran en su camino, producen la sensación típica de viento, también la luz solar está formada por un enorme número de fotones que, aparentemente de forma continua pero en realidad discontinuamente, bombardea la superficie terrestre. Cada fotón posee una determinada energía que puede transmitir a los

cuerpos sobre los que incida. Este hecho es el fundamento de la conversión fotovoltaica.

ABSORCIÓN, REFLEXIÓN Y TRANSMISIÓN.

Si no existe obstáculo alguno que dificulte su camino, ni campos gravitacionales que alteren su curso, la energía radiante se propaga rectilíneamente en todas las direcciones y su intensidad disminuye con el cuadrado de la distancia al foco emisor. Esto es lo que ocurre cuando la luz del Sol llega hasta nosotros a través del espacio vacío.

Al atravesar los medios materiales (gases, líquidos o sólidos) la intensidad de la radiación sufre una progresiva atenuación de acuerdo con la siguiente ley:

$$I = I_0 e^{-\mu l}$$

Siendo I_0 la intensidad de la radiación incidente, I la intensidad después de haber penetrado una distancia d dentro de la sustancia considerada, e la constante base de los logaritmos neperianos ($e \cong 2.7182818$) y μ el llamado **coeficiente de absorción** el cual depende de la frecuencia de la radiación y de la naturaleza de la sustancia.

La absorción de la radiación supone una verdadera pérdida de la energía de la misma, la cual normalmente se convierte en calor que pasa a la sustancia que es atravesada por la radiación y no debe confundirse con el fenómeno de la **dispersión** de las ondas, en el que la energía radiante se reparte en muchas diferentes direcciones y, aunque también disminuye la intensidad en la dirección incidente, la energía total se mantiene.

La onda, al incidir en la superficie de separación entre dos medios, puede ser reflejada parcial o totalmente.

Llamamos **factor de transmisión** o **transmitancia**, T_t , al cociente entre la intensidad transmitida I_t y la intensidad total incidente I .

El **factor de reflexión** o **reflectancia** R_r , es el cociente entre la intensidad I_R que no traspasa la superficie de separación de los medios (intensidad reflejada) y la total incidente.

Es evidente que la intensidad total I debe ser igual a la suma de la transmitida a través de la superficie y la reflejada por la misma.

$$I = I_t + I_R \rightarrow 1 = I_t/I + I_R/I \rightarrow 1 = T_t + R_r$$

Si, en vez de una simple superficie de separación, considerásemos un cuerpo de cierto espesor, como por ejemplo un vidrio, habría que tener en cuenta que parte

de la energía será absorbida en el interior del vidrio, en menor o mayor grado según el grosor de éste, y por tanto, la suma de la intensidad finalmente transmitida a través de dicho vidrio y de la reflejada será algo menor que la intensidad total incidente.

El factor de reflexión depende del ángulo con la que la onda incide sobre la superficie.

La reflectancia es mucho mayor en el caso de que la sustancia reflectante sea buena conductora de la electricidad (metales). Por eso se suele recubrir la superficie de los vidrios que desean hacerse muy reflectantes con una fina capa de óxidos metálicos.

II.1.1.-ENERGÉTICA SOLAR

LA ENERGÍA DEL SOL

El sol es una de las innumerables estrellas que hay en nuestra galaxia, la más cercana y sin duda, también la más importante para nosotros, ya que sin ella no existiríamos, ni existiría ninguna forma de vida sobre la Tierra. Es una estrella de tipo medio; su radio es de unos 700,000 km y su masa equivale a la que se obtendría juntando unos 300,000 planetas iguales a la tierra, brilla en el espacio desde hace más de 500 mil millones de años y se calcula que el tiempo que le resta de vida es aproximadamente el mismo.

El origen de la energía que el Sol produce e irradia está en las reacciones nucleares que ininterrumpidamente se realizan en su interior. En ella los átomos de hidrógeno, que es el elemento más abundante en el Sol, se combinan entre sí para formar átomos de helio y al mismo tiempo, una pequeña parte de la masa de dichos átomos se convierte en energía, de acuerdo con la famosa fórmula de Einstein $E=mc^2$ la cual fluye desde el interior hasta la superficie (fotosfera) y desde allí es irradiada al espacio en todas las direcciones.

Aunque el Sol también emite partículas materiales, la mayor parte de la energía irradiada es transportada en forma de ondas electromagnéticas (Fotones) en una amplia de longitudes de onda diferentes, las cuales se desplazan en el espacio vacío a una velocidad de 300,000 km/s tardando solamente 8 segundos en recorrer los 150 millones de kilómetros que hay entre el Sol y la Tierra.

Cada segundo el Sol irradia en todas las direcciones del espacio una energía de 4×10^{26} joules esto es genera una potencia de 4×10^{23} kw.

Para darnos una idea de la enorme magnitud que representan estas cifras, basta considerar que la potencia generada por todas plantas industriales del mundo trabajando juntas sería unos doscientos billones de veces más pequeña.

En el breve lapso de tiempo de un solo segundo el Sol irradia mucha más energía que la consumida por todo el género humano desde sus albores hasta nuestros días.

El número de ondas que a una velocidad constante pasan por un determinado punto cada segundo se le llama frecuencia (ν). Mientras menor sea la longitud de onda, más ondas pasarán cada segundo, siendo por lo tanto mayor la frecuencia, y cuando λ es mayor, menos ondas pasarán y por tanto la frecuencia será menor, por lo que, a la velocidad de la luz (c), la frecuencia será inversamente proporcional a λ .

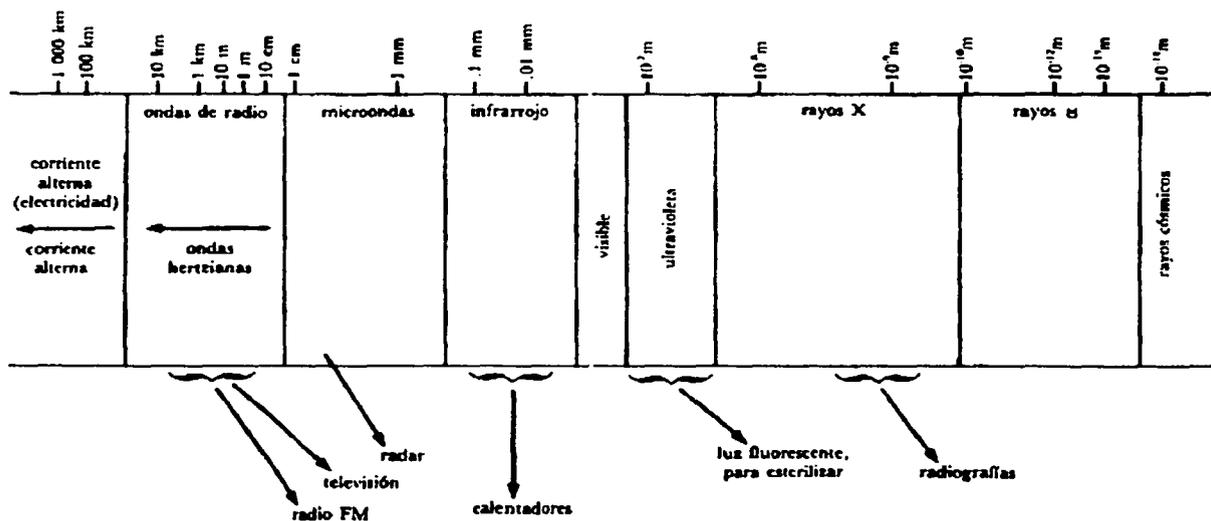
$$\nu = c / \lambda$$

Las radiaciones de mayor frecuencia tendrán también mayor energía, ya que la energía (E) es igual a la frecuencia y multiplicada por la constante de Plank (h), siendo $h = 6.626 \times 10^{-34}$ J.s. La energía será, por lo tanto, $E = h\nu$.

La pequeña porción del espectro electromagnético que percibe el ojo humano es llamada "luz visible" y está compuesta por radiaciones de poca energía, con longitudes de onda λ que van de 0.4 a 0.8 μm . La luz de menor longitud de onda ($\lambda = 0.4 \mu\text{m}$) es de color violeta; le sigue la de color azul; después tenemos la luz verde, seguida de la luz amarilla y la anaranjada y, por último, a 0.8 μm , la luz roja con la que termina el espectro visible.

Antes del violeta, es decir a longitudes de onda menores de 0.4 μm , existen radiaciones de alta energía que el ojo humano no puede percibir, llamadas ultravioleta. Otras radiaciones de alta energía, y por lo tanto peligrosas para la vida, son los llamados rayos X y las radiaciones gamma. Por su parte, a longitudes de onda mayores que la de la luz roja (0.8 μm) existen radiaciones de baja energía, llamadas infrarrojo, microondas y ondas de radio.

Espectro electromagnético



LA CONSTANTE SOLAR.

Al extenderse por el espacio en todas las direcciones, la energía radiante procedente del Sol se reparten en una superficies esférica hipotética, cuyo centro es el foco emisor (el Sol) y cuyo radio crece a la misma velocidad que la propia radiación. Así pues la intensidad en un punto de dicha superficie esférica, al repartirse la energía solar sobre un área cada vez mayor, será más pequeña cuanto mayor sea el radio de la misma, es decir, cuanto mayor sea la distancia de dicho punto al Sol. Así la radiación se debilita a medida que la distancia aumenta.

Calculando el valor aproximado de esta intensidad del sol en que se encuentra nuestro planeta.

$$I = \frac{P}{S}$$

En este caso:

$P = 4 \times 10^{26}$ W (Potencia que irradia el sol en todas sus direcciones)

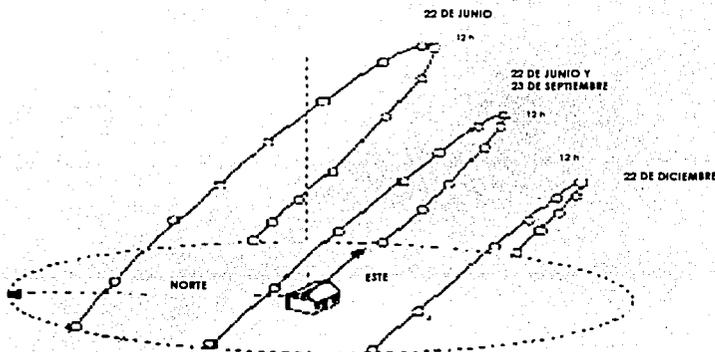
$S =$ (Superficie de la esfera hipotetica) $4\pi r^2$

$r = 1.5 \times 10^{11}$ metros (Distancia entre el Sol y la tierra)

$$I = \frac{4 \times 10^{26}}{4\pi(1.5 \times 10^{11})^2} \cong 1.4 \times 10^3 \text{ W/m}^2 = 1.4 \text{ kW/m}^2$$

Este valor coincide con la intensidad de la radiación medida por medio de satélites artificiales en el espacio justamente por encima de la atmósfera que rodea nuestro planeta. Con mas precisión el valor medio de lo que se conoce como **Constante Solar** es de 1367 W/m^2 .

En la realidad la constante solar en el hemisferio norte sufre algunas variaciones debido a que la distancia entre la tierra y el sol no es rigurosamente constante, ya que en los meses de junio y julio la distancia tierra-sol es mayor y en los meses de diciembre y enero la distancia es menor.



La expresión que permite calcular la constante solar para cada día del año es:

$$C = 1367 [1 + 0.033 \cos(0.973N)]$$

(N es el número secuencial del día considerado: N=1 para el 1 de Enero y N=365 para el 31 de diciembre)

EFECTO DE LA ATMÓSFERA

No toda la radiación solar interceptada por nuestro planeta llega hasta su superficie, debido a que la capa atmosférica supone un obstáculo al libre paso de la radiación mediante diversos efectos, entre los que cabe destacar la reflexión en la parte superior de las nubes y la absorción parcial por las diferentes moléculas del aire atmosférico.

Este último fenómeno hace que la intensidad que llega a la superficie, aun en días despejados y con atmósferas muy limpia, sea como máximo de unos 1100 W/m², aunque en la práctica rara vez se miden valores superiores a los 1000 W/m².

También es preciso tener en cuenta que, a pesar de que los rayos solares viajen en línea recta, al llegar a las capas atmosféricas los fotones chocan con las moléculas y el polvo en suspensión, sufren difusiones y dispersiones que se traducen en cambios bruscos de dirección.

Aunque esta luz difundida finalmente llega también a la superficie al haber cambiado muchas veces de dirección a medida que ha atravesado la atmósfera, lo hace, no como si procediese directamente del disco solar, sino de toda la bóveda celeste.

Esta radiación es conocida con el nombre de difusa, en contraposición con la radiación directa, que es aquella que alcanza la superficie manteniendo la línea recta desde el disco solar. La suma de las radiaciones directa y difusa es la radiación total que es la que nos interesa a efectos energéticos.

La radiación difusa hace que un cuerpo siempre esté recibiendo una cierta cantidad de energía por todas sus partes, incluso por las que nos recibe la luz del sol directamente.

Aunque en un día despejado la radiación directa es mucho mayor que la difusa, esa última será, evidentemente, la única forma posible de radiación en los días cubiertos, filtrándose mas o menos homogéneamente por toda la bóveda celeste a través de la capa nubosa.

La radiación difusa supone aproximadamente un tercio de la radiación total que se recibe a lo largo del año.

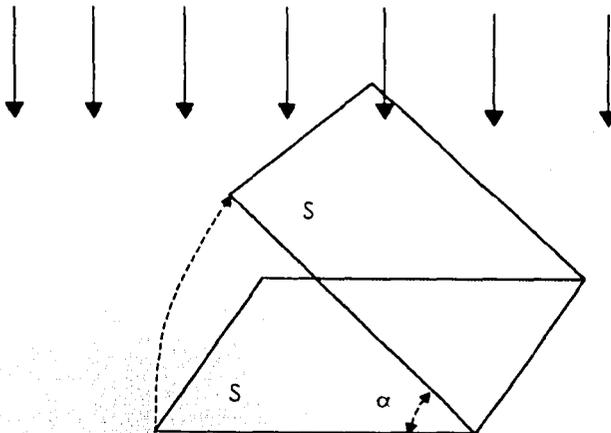
En cuanto a su distribución energética, hay que tener en cuenta que casi un 40% de la radiación que alcanza la superficie lo hace, no en forma de luz visible sino como radiación infrarroja, lo cual tiene gran importancia.

IRRADIACIÓN SOBRE UNA SUPERFICIE.

Irradiación E es la cantidad total de energía radiante que llega a una superficie determinada en un tiempo determinado. Se trata pues, de una medida de la energía incidente sobre dicha superficie, expresándose en cualesquiera de las unidades habituales usadas para medir la energía. **Intensidad radiante I**, también denominada irradiancia, es la energía incidente por unidad de tiempo y de superficie.

$$I = \frac{E}{St}$$

La cantidad de energía debida a la radiación directa que una superficie expuesta a los rayos solares puede interceptar dependerá del ángulo formado por los rayos y la superficie en cuestión. Si la superficie es perpendicular a los rayos este valor es máximo, disminuyendo a medida que lo hace dicho ángulo



Es evidente que la intensidad sobre la superficie varía en la misma proporción que lo hace la energía **E**, por lo que si llamamos I'_D a la intensidad directa sobre la superficie inclinada, e I_D a la intensidad directa sobre la superficie horizontal se tiene:

$$I'_D = I_D \cos \alpha$$

Este efecto de inclinación es la causa por la que los rayos solares calientan mucho más al mediodía que en las primeras horas de la mañana (o en las últimas de la tarde), ya que en estos últimos casos el ángulo que forma el rayo con la normal a la superficie es grande y, por tanto el factor $\cos \alpha$ hace que la intensidad sea pequeña.

La diferente inclinación de los rayos solares es asimismo la causa por la que las regiones de latitudes altas (más cercanas a los polos) reciban mucho menos energía que las más cercanas al ecuador.

En cuanto a la radiación difusa, la ley que rige el valor de su intensidad sobre una superficie inclinada un ángulo α sobre la horizontal, I'_f en función de su intensidad sobre horizontal, I_f , es:

$$I'_f = I_f (1 + \cos \alpha) / 2$$

Cabe citar la radiación de albedo,¹ que es la reflejada por los cuerpos situados alrededor de la superficie sobre la que nos interesa evaluar la radiación, y que hay que añadirla a la directa y a la difusa que dicha superficie recibe. El albedo de los cuerpos es tanto mayor cuanto más claro sea el color de los mismos.

La influencia del albedo del entorno sobre la radiación incidente en un colector solar suele ser despreciable y tan sólo en casos de ubicaciones muy particulares, como por ejemplo cuando existen paredes de color claro detrás de los colectores puede suponer una pequeña ganancia adicional de energía.

CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR.

El flujo de radiación solar que llega a la tierra es la fuente primaria principal (y casi la única) de todas las formas de energía conocidas, incluidas las asociadas a los procesos vitales.

Procesos Naturales.

Casi el 30% de la radiación que llega a nuestro planeta es devuelta al espacio por reflexión. Un 47% se convierte en calor, al ser absorbida por la atmósfera, el suelo y los mares. Un 23% se invierte en la evaporación del agua de los océanos, lagos y ríos, así como en el ciclo hidrológico completo. El 0.2% es responsable de los movimientos de circulación atmosférica y oceánica. Solamente el 0.02% de la energía radiante incidente se utiliza en la producción de materia viviente, al ser capturada por las hojas verdes de las plantas. Este es el único proceso natural, aparte de otros procesos fotoquímicos de menor cuantía, que utiliza la radiación directamente, sin necesidad de convertirla previamente en energía térmica, como es frecuente en los demás procesos.

En los últimos cientos de millones de años se ha ido acumulando bajo las capas de materiales térreos materia orgánica con energía conservada, sufriendo lentos

1.-Albedo: Potencia reflectora de un cuerpo iluminado

procesos químicos y dando origen a los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural). El hombre ha logrado extraer de ellos la energía almacenada que, millones de años atrás, había sido absorbida del Sol.

Hay que considerar, sin embargo que este capital energético acumulado día con día durante millones de años, no va a durar mucho si se sigue consumiendo con el creciente ritmo de los últimos años, consecuencia de las necesidades, cada vez mayores, de una sociedad altamente industrializada. Por supuesto, el proceso de acumulación continúa pero con ritmo muchísimo más lento que el de extracción, de tal suerte que pronto habremos agotado esta fuente de energía la cual debemos considerar más bien como una herencia del pasado remoto que como un logro del presente.

Los animales al alimentarse de las plantas, utilizan la energía en ellas acumulada, mediante procesos metabólicos. Esta energía liberada se emplea en el trabajo mecánico desarrollado por los músculos, en la síntesis de proteínas y de otras sustancias constituyentes de los tejidos, y en la producción del calor. Toda la energía que el cuerpo humano utiliza también tiene su origen primario en el sol.

PROCESOS TECNOLÓGICOS. CONVERSIÓN ÚTIL DE LA ENERGÍA SOLAR.

El objetivo es aprovechar al máximo los efectos físicos de la radiación, adecuando los dispositivos de captación de la misma a fin de obtener la energía en la forma que se precise para cada necesidad.

La conversión es directa cuando está se realiza en una sola etapa, es decir, cuando se pasa en un solo proceso de la energía de radiación electromagnética que transporta la luz solar a la forma final de energía utilizable, e indirecta cuando la forma final de energía proviene de la energía solar a través de dos o más procesos intermedios.

Por conversión directa la energía solar es capaz de transformarse en energía térmica o en energía eléctrica, procesos que tienen una gran importancia tecnológica.

Indirectamente la energía solar puede producir energía útil a través de procesos intermedios, podrían citarse varios procesos termoeléctricos y termodinámicos. En estos últimos, la energía solar se convierte en energía térmica y ésta a su vez en cinética, normalmente de rotación, para producir finalmente energía eléctrica.

II.1.2.- CONVERSIÓN ELÉCTRICA

La electricidad es una de las formas de energía más versátil y que mejor se adapta a cada necesidad. Su utilización es tan extendida que hoy difícilmente podría concebirse una sociedad tecnológica que no hiciese uso de ella.

Miles de diferentes aparatos están diseñados para funcionar alimentados con energía eléctrica, bien en forma de corriente continua de pequeña tensión o de corriente alterna, a tensiones mayores. Por ello resulta muy interesante la posibilidad de producir electricidad mediante una fuente energética segura y no contaminante, como es la energía solar.

Existen dos conjuntos de procedimientos para lograr la conversión de energía solar en eléctrica, según empleen o no la energía cinética como la forma intermedia del proceso de conversión.

El primer grupo está formado por los sistemas de conversión termodinámica, el segundo grupo lo constituyen los sistemas directos, que no requieren partes móviles y están basados en las interacciones físicas entre los fotones de la radiación incidente y los electrones de los materiales sobre los que inciden.

De entre ellos, el que tiene mayor interés a escala industrial por el creciente número de aplicaciones prácticas que encuentra es el basado en el **efecto fotovoltaico**.

La luz esta formada por un gran número de entidades físicas llamadas fotones, los cuales participan tanto de las propiedades de los corpúsculos materiales como de las ondas.

Los fotones son capaces de interactuar con los electrones de los cuerpos sobre los que inciden, y lo hacen de dos maneras conocidas:

- El efecto fotoeléctrico externo
- El efecto fotovoltaico

El efecto fotoeléctrico externo, descubierto por Hertz en 1887 consiste en un desprendimiento de electrones de la superficie de los metales al chocar con dicha superficie, fotones de suficiente energía, dando lugar a una corriente eléctrica denominada fotoeléctrica. Las células fotoeléctricas se basan en este efecto.

Mucho mas interesante desde el punto de vista práctico de la obtención de energía eléctrica directa a partir de la radiación solar es el efecto fotovoltaico.

ELECTRICIDAD FOTOVOLTAICA

El efecto fotovoltaico.

Consiste en esencia, en la conversión de energía que transportan los fotones de luz cuando inciden sobre materiales semiconductores convenientemente tratados en energía eléctrica capaz de impulsar los electrones despedidos a través de un circuito exterior realizando un trabajo útil.

Un especial tratamiento de un material semiconductor es necesario porque, en principio la energía originalmente cedida por el fotón a los electrones de dicho

material está destinada a convertirse en calor inútil, tras unos cuantos choques del electrón en su movimiento a través de la red atómica.

La clave para producir una corriente eléctrica útil esta en lograr extraer los electrones liberados fuera del material antes de que éstos vuelvan a recombinarse con los huecos (lugares vacíos que dejan los electrones). Una forma de lograr esto es introducir en el material semiconductor elementos químicos que contribuyan a producir un exceso de electrones y de huecos.

Dichos elementos, que alteran significativamente las propiedades intrínsecas de los semiconductores, se denominan dopantes y el proceso de su incorporación al semiconductor se llama dopado.

Un dopante adecuado para el silicio es el boro, el cual tiene un electrón de enlace menos que el silicio, y por tanto, cada átomo de boro puede unirse con solo tres átomos de silicio dejando un hueco donde existiría el cuarto electrón de enlace en el caso de que el átomo fuese, al igual que los demás que le rodean, también del silicio. La estructura así creada se denomina semiconductor de **tipo P** (positivo)

Otro posible dopante para el silicio es el fósforo, en este caso, al tener un electrón de enlace más que el silicio y sustituir un átomo de fósforo a un átomo de silicio en la red cristalina, el electrón sobrante queda libre y el semiconductor se llama de **tipo N** (negativo).

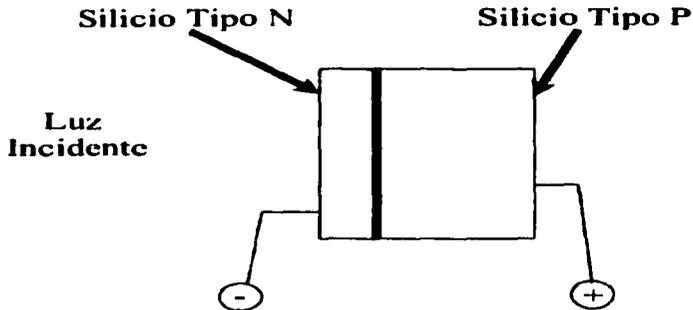
Nótese que en ambos casos la carga eléctrica neta del cristal sigue siendo rigurosamente cero, ya que cada átomo tiene igual número de protones que de electrones, equilibrándose sus cargas. Los nombres de positivo y negativo hacen referencia a una carga aparente que queda libre en la red cristalina pero no a un estado eléctricamente descompensado.

Si ambas regiones, la P y la N, se disponen adyacentes una de la otra, algunos de los electrones libres de la región N pueden difundirse hasta la zona P, atravesando la frontera entre ambas y ocupando los huecos libres de la misma. Así la zona inmediata a la frontera de separación queda ahora cargada negativamente en el semiconductor P y positivamente en el N. Se crea así una típica unión P-N en la cual el campo eléctrico creado como consecuencia del paso de las cargas antes mencionado establece una barrera de potencial que impide que el proceso de paso de electrones continúe indefinidamente.

En estas condiciones, si incide la luz y los fotones comunican energía a los electrones del semiconductor algunos de estos electrones pueden atravesar la barrera de potencial, siendo expulsados fuera del semiconductor a través de un circuito exterior: se produce una corriente eléctrica. Los electrones, tras recorrer el circuito externo, vuelven a entrar en el semiconductor por la cara opuesta.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

El material semiconductor en ningún momento almacena energía eléctrica como lo haría, por ejemplo, un acumulador electroquímico, sino que lo único que hace es generarla, o mejor transformar la energía radiante únicamente cuando está incide sobre él.



No todos los fotones se comportan del mismo modo en la producción de electricidad por efecto fotovoltaico. Unas frecuencias son más apropiadas que otras para producir dicho efecto, según los tipos de materiales semiconductores utilizados.

La respuesta espectral es una medida de la eficiencia con que en un determinado dispositivo fotovoltaico se produce la conversión energía luminosa → energía eléctrica para una determinada frecuencia de luz incidente.

Como la luz solar llega hasta nosotros esta formada por una mezcla de fotones de frecuencias diferentes, dentro de un amplio rango, la eficiencia de conversión será la conjunción de la respuesta espectral para cada frecuencia, dando un resultado global para cada material utilizado.

Tipos de Celdas:

Existen tres tipos de celdas; dependiendo su diferenciación según el método de fabricación.

- Silicio Monocristalino:

Estas celdas se obtienen a partir de barras cilíndricas de silicio Monocristalino producidas en hornos especiales.

Las celdas se obtienen por cortado de las barras en forma de obleas cuadradas delgadas (0,4-0,5 mm de espesor).

Su eficiencia en conversión de luz solar en electricidad es superior al 12%.

- Silicio Policristalino:

Estas celdas se obtienen a partir de bloques de silicio obtenidos por fusión de trozos de silicio puro en moldes especiales.

En los moldes, el silicio se enfría lentamente, solidificándose. En este proceso, los átomos no se organizan en un único cristal. Se forma una estructura policristalina con superficies de separación entre los cristales.

Su eficiencia en conversión de luz solar en electricidad es algo menor a las de silicio Monocristalino.

- Silicio Amorfo:

Estas celdas se obtienen mediante la deposición de capas muy delgadas de silicio sobre superficies de vidrio o metal.

Su eficiencia en conversión de luz solar en electricidad varía entre un 5 y un 7%.

La Física Cuántica predice una eficiencia máxima teórica para la célula a base de silicio de un 26%, valor cercano al obtenido en laboratorio, pero para células comerciales obtenidas en procesos industriales dicho valor no supera el 17%. Para otros materiales el rendimiento es incluso menor, aunque puede aumentarse elevando la intensidad de la radiación incidente mediante algún dispositivo concentrador.

En cualquier caso, aunque en el futuro se rozasen los máximos rendimientos teóricos alcanzables, sólo una pequeña parte de la energía solar incidente podría ser convertida en energía eléctrica, a diferencia de lo que ocurre en los procesos térmicos directos en los que, si las condiciones son favorables, los colectores térmicos pueden trabajar con rendimientos de hasta el 80%. Este hecho impone una primera limitación a la potencia eléctrica obtenible, la cual se verá todavía disminuida por otros varios factores.

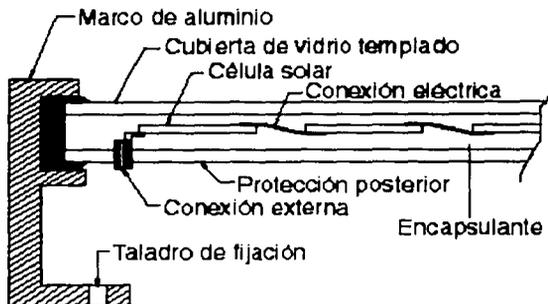
II.2.- MODULOS FOTOVOLTAICOS.

El módulo solar es la unidad de generación fotovoltaica más pequeña que se dispone comercialmente. Consiste en un agrupamiento de celdas solares, interconectadas entre sí y laminadas entre hojas de plástico y vidrio para protegerlas del medio ambiente, con terminales para conectar el cableado al exterior.

Las celdas solares en el módulo se interconectan usualmente en serie para elevar su voltaje, ya que por sí mismas entregan un voltaje demasiado pequeño (0.5 volts en un punto de potencia máximo para cualquier aplicación practica).

Ha sido costumbre agrupar entre 30 y 36 celdas solares para dar el voltaje de carga de una batería convencional de 12 volts más las pérdidas de voltaje en el circuito que va desde los módulos solares a las baterías, pasando por el control de carga.

Cada módulo solar tiene sus características propias de corriente y voltaje en función del nivel de insolución y de la temperatura de operación.



II.2.1 CARACTERISTICAS DE LOS MÓDULOS

Fabricación de los módulos fotovoltaicos.

Al módulo se busca otorgarle rigidez en su estructura, aislamiento eléctrico y resistencia a los agentes climáticos. Por esto, las celdas conectadas en serie son encapsuladas en un plástico elástico (Etilvinilacetato) que hace las veces de aislante eléctrico, un vidrio templado de bajo contenido de hierro, en la cara que mira al sol, y una lámina plástica multicapa (Poliéster) en la cara posterior. En algunos casos el vidrio es reemplazado por una lámina de material plástico transparente.

El módulo tiene un marco que se compone de aluminio o de poliuretano y cajas de conexiones a las cuales llegan las terminales positivo y negativo de la serie de celdas. En las borneras de las cajas se conectan los cables que vinculan el módulo al sistema.

Etapas del proceso de fabricación del módulo:

- Prueba eléctrica y clasificación de las celdas
- Interconexión eléctrica de las celdas entre sí

- **Ensamble del conjunto.** Colocación de las celdas soldadas entre capas de plástico encapsulante y láminas de vidrio y plástico.
- **Laminación del módulo.** El conjunto se procesa en una máquina semiautomática a alto vacío que, por un proceso de calentamiento y presión mecánica, conforma el laminado.
- **Curado.** El laminado es procesado en un horno de temperatura controlada en el cual se completa la polimerización de plástico encapsulante y se logra la perfecta adhesión de los distintos componentes. El conjunto, después del curado forma una sola pieza.
- **Enmarcado.** Se coloca primero un sellador elástico en todo el perímetro del laminado y luego los perfiles de aluminio que forman el marco. Se usan máquinas neumáticas para lograr la presión adecuada. Los marcos de poliuretano se colocan utilizando máquinas de inyección.
- **Colocación de terminales, borneras, diodos y cajas de conexiones**

Ensayo de los módulos:

- Sobre los módulos debe medirse y observarse:
 - Características eléctricas operativas
 - Aislación eléctrica (a 3000 Volt de C.C.)
 - Aspectos físicos, defectos de terminación, etc.
 - Resistencia al impacto
 - Resistencia a la tracción de las conexiones
 - Resistencia a la niebla salina y a la humedad ambiente
 - Comportamiento a temperaturas elevadas por tiempos prolongados (100 grados centígrados durante 20 días)
 - Estabilidad al ciclado térmico (- 40 grados C a + 90 grados C) en ciclos sucesivos.

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS

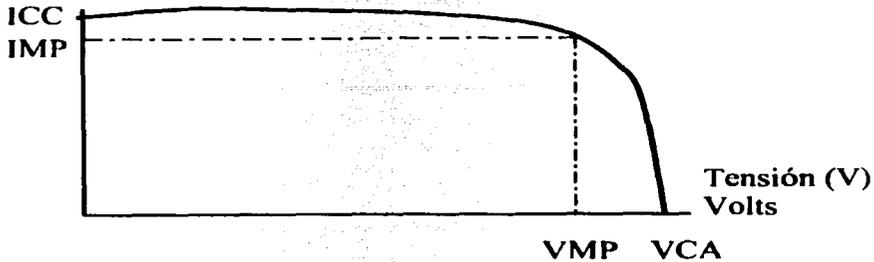
Curva de corriente vs tensión (curva I-V)

La representación típica de la característica de salida de un dispositivo fotovoltaico (celda, módulo, sistema) se denomina curva corriente tensión.

La corriente de salida se mantiene prácticamente constante dentro del rango de tensión de operación y, por lo tanto el dispositivo se puede considerar como una fuente de corriente constante en este rango.

La corriente y tensión a la cual opera el dispositivo fotovoltaico están determinadas por la radiación solar incidente, por la temperatura ambiente, y por las características de la carga conectadas al mismo.

Corriente (I)



Los valores trascendentes de esta curva son:

Corriente de cortocircuito (I_{cc}): Máxima corriente que puede entregar un dispositivo bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura correspondiendo a tensión nula y consecuentemente a potencia nula.

Tensión de circuito abierto (V_{ca}): Máxima tensión que puede entregar un dispositivo bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura correspondiendo a circulación de corriente nula y consecuentemente a potencia nula.

Potencia Pico (P_{mp}) Es el máximo valor de potencia que puede entregar el dispositivo. Corresponde al punto de la curva en el cual el producto $V \times I$ es máximo.

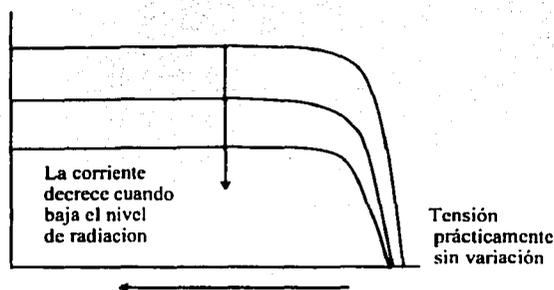
Corriente a máxima potencia (I_{mp}): Corriente que entrega el dispositivo a potencia máxima bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura. Se la utiliza como corriente nominal del mismo.

Tensión a máxima potencia (V_{mp}): tensión que entrega el dispositivo a potencia máxima bajo condiciones determinadas de radiación y Temp. Se la utiliza como tensión nominal del mismo.

EFECTO DE FACTORES AMBIENTALES SOBRE LA CARACTERÍSTICA DE SALIDA DEL DISPOSITIVO.

Efecto de la intensidad de radiación solar

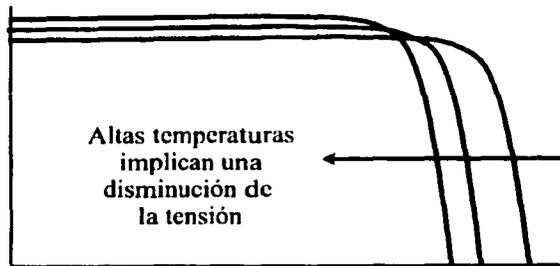
El resultado de un cambio en la intensidad de radiación es una variación en la corriente de salida para cualquier valor de tensión. La corriente varía con la radiación en forma directamente proporcional. La tensión se mantiene prácticamente constante.



Efecto de la temperatura:

El principal efecto provocado por el aumento de la temperatura del módulo es una reducción de la tensión en forma directamente proporcional. Existe un efecto secundario dado por un pequeño incremento de la corriente para valores bajos de tensión.

Es por ello que para lugares con temperaturas ambientales muy altas son aptos módulos que poseen mayor cantidad de celdas en serie para que los mismos tengan la suficiente tensión de salida para cargar baterías.



Combinaciones de celdas y curvas resultantes

La tensión en el punto de máxima potencia de salida para una celda es de aproximadamente 0,5 Volts a pleno sol.

La corriente que entrega una celda es proporcional a la superficie de la misma y a la intensidad de la luz. Es por ello que para lograr módulos con corrientes de salida menores se utilizan en su fabricación tercios, cuartos, medios, etc. de celdas.

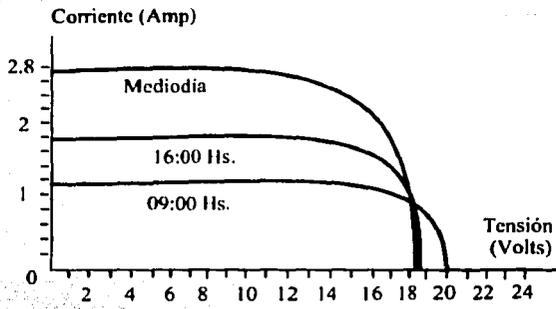
Un módulo fotovoltaico es un conjunto de celdas conectadas en serie (se suman sus tensiones) que forman una unidad con suficiente tensión para poder cargar una batería de 12 volts de tensión nominal. (Esta batería necesita entre 14 y 15 Volts para poder cargarse plenamente). Para lograr esta tensión se necesitan entre 30 y 36 celdas de silicio Monocristalino conectadas en serie.

Interacción del dispositivo fotovoltaico con la carga

La curva I-V corregida para las condiciones ambientales reinantes, es solo parte de la información necesaria para saber cual será la característica de salida de un módulo. La otra información imprescindible es la característica operativa de la carga a conectar. Es la carga la que determina el punto de trabajo en la curva I-V.

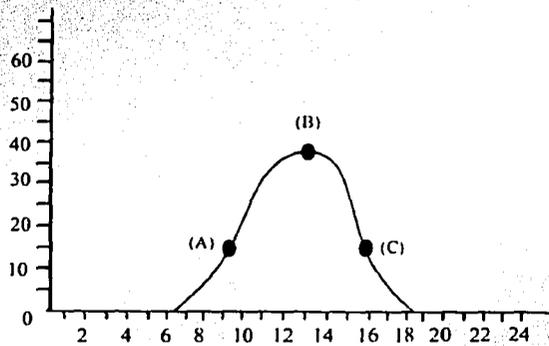
Potencia máxima de salida durante el día

La característica I - V del módulo varía con las condiciones ambientales (radiación, temperatura) Ello quiere decir que habrá una familia de curvas I-V que nos mostrarán las características de salida del módulo durante el día y una época del año.



Curva tensión Vs Corriente

La curva de potencia máxima de un módulo en función de la hora del día tiene la forma indicada en la siguiente gráfica



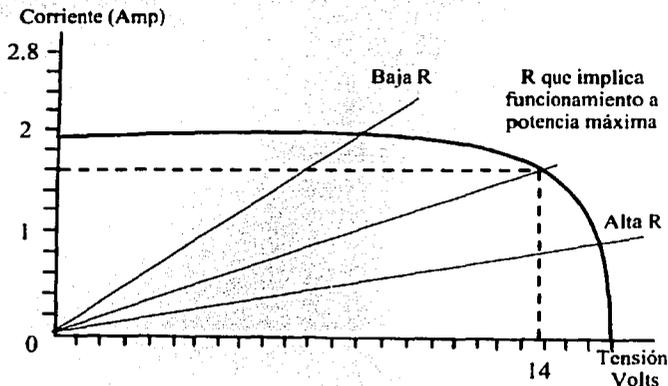
Curva de potencia máxima

La cantidad de energía que el módulo es capaz de entregar durante el día esta representada por el área comprendida bajo la curva de la figura anterior y se mide en Watts hora/día.

Se observa que no es posible hablar de un valor constante de energía entregada por el módulo en Watts hora ya que varía dependiendo de la hora del día. Será necesario entonces trabajar con valores de cantidad de energía diarios entregados. (Watts hora/día).

Interacción con una carga resistiva

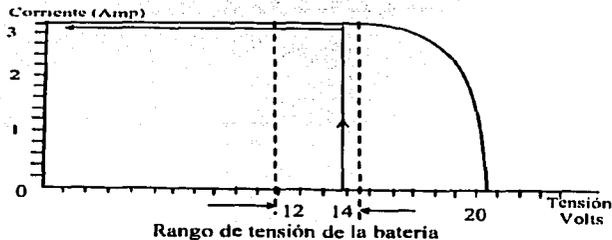
En el ejemplo más simple, si se conectan los bornes de un módulo a los de una lámpara incandescente (que se comporta como una resistencia eléctrica) el punto de operación del módulo será el de la intersección de su curva característica con una recta que representa gráficamente la expresión $I = V / R$ Siendo R la resistencia de la carga a conectar.



Curva tensión Vs Corriente
Interacción con una carga resistiva

Interacción con una batería

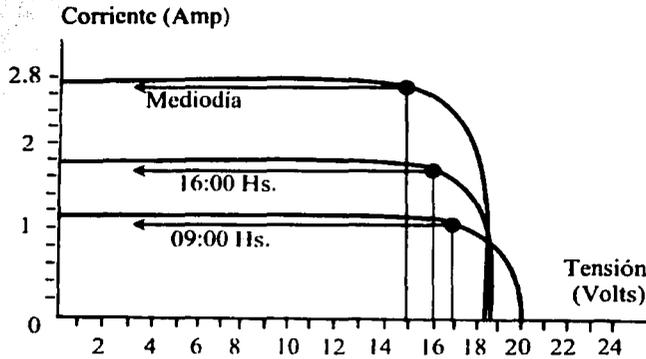
Una batería tiene una tensión que depende de su estado de carga, antigüedad, temperatura, régimen de carga y descarga, etc. Esta tensión se la impone a todos los elementos que están conectados a ella, incluyendo el módulo fotovoltaico.



Es incorrecto pensar que un módulo que tiene una tensión máxima de salida de 20 volts llevará a una batería de 12 volts a 20 volts y la dañará. Es la batería la que determina el punto de operación del módulo.

La batería varía su rango de tensión entre 12 y 14 volts.

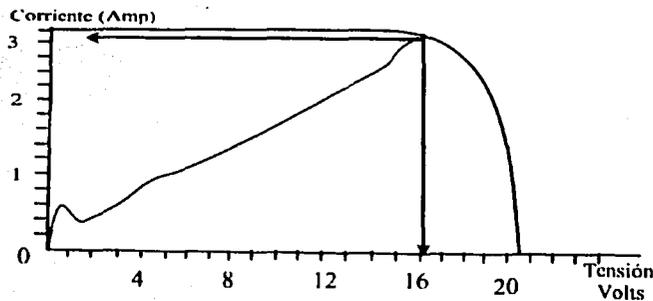
Dado que la salida del módulo fotovoltaico se ve influenciada por las variaciones de radiación y de temperatura a lo largo del día, esto se traducirá en una corriente variable que ingresa a la batería.



Curva tensión Vs Corriente
Interacción con una batería

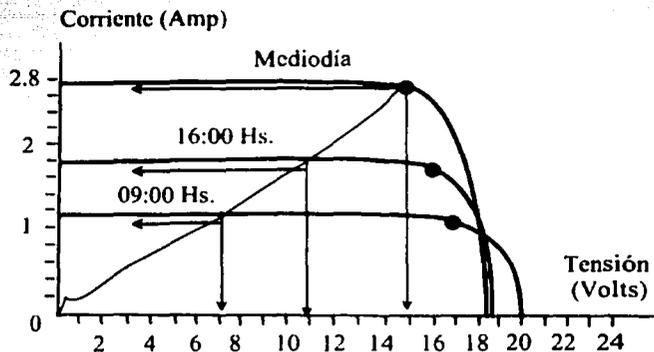
Interacción con un motor de corriente continua

Un motor de corriente continua tiene también una curva I-V. La intersección de ella con la curva I-V del módulo determina el punto de operación.



Cuando se conecta un motor directamente al sistema fotovoltaico, sin batería ni controles de por medio se disminuyen los componentes involucrados y por lo tanto aumenta la confiabilidad.

Pero como muestra la figura no se aprovechará la energía generada en las primeras horas de la mañana y al atardecer.



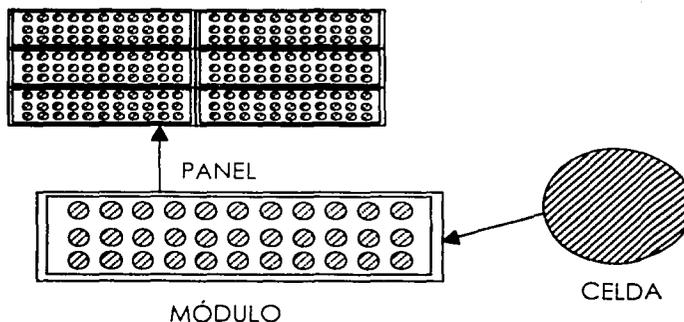
Curva tensión Vs Corriente
Interacción con una motor de corriente continua

II.2.2.- FUNCIONABILIDAD DE LOS MÓDULOS EN EL PANEL SOLAR.

Introducción

Una célula es capaz de producir una tensión de algunas décimas de volts (típicamente alrededor de medio voltio para las células de silicio) y una tensión máxima de uno o dos volts. Es preciso conectar entre sí en serie un determinado número de células Módulos fotovoltaicos para producir tensiones de 6,12 ó 24 volts aceptadas en la mayor parte de las aplicaciones.

Al conjunto de módulos ensamblados entre sí se le denomina panel fotovoltaico.



El proceso de conexión de los módulos es automático, efectuándose mediante soldadura especial que unen al dorso de una célula con la cara frontal de la adyacente.

Para producir un panel de 12 volts nominales usualmente se necesita un número de células entre 30 y 40 formando estas sus respectivos grupos de módulos

Los paneles fotovoltaicos convierten la radiación solar en energía eléctrica. El material sobre el que incide la luz solar debe ser capaz de absorber la mayor cantidad posible de fotones, utilizando la energía que estos transportan para la liberación de electrones, capacidad que poseen los materiales semiconductores.

El material semiconductor más utilizado en la fabricación de paneles es el silicio, no sólo debido a sus favorables propiedades físicas, sino también a su disponibilidad en la naturaleza, lo cual se traduce en menores costos de producción

El proceso de fabricación incluye la fusión del silicio y su posterior solidificación en estructuras denominadas celdas, las cuales una vez interconectadas eléctricamente, constituyen los módulos. De acuerdo al método de solidificación utilizado, las celdas se pueden clasificar en monocristalinas, policristalinas y amorfas, siendo las primeras las que presentan una mayor eficiencia en la conversión de luz solar en energía eléctrica.

ETAPAS DE LA FABRICACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS

En general, las etapas requeridas para fabricar un módulo fotovoltaico de silicio son básicamente las siguientes:

1. Obtención del silicio grado metalúrgico.
2. Obtención del silicio grado semiconductor.
3. Fabricación de las celdas fotovoltaicas.
4. Armado de los módulos

CARACTERÍSTICAS Y TIPOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS.

Aunque tanto las características externas o de construcción como las de respuesta eléctrica, varían de un tipo de módulo a otro.

Características físicas:

Los módulos adoptan siempre la forma cuadrada o rectangular, con áreas que van desde aproximadamente 0.1 m² hasta 1 m². El grueso total, sin incluir el marco protector, no suele superar los 3 cm. Son relativamente ligeros (un panel de unos 0.5 m² puede pesar 6 ó 7 Kg), aunque rígidos en apariencia, son capaces de sufrir ligeras deformaciones para adaptarse a los esfuerzos a los que pudieran estar sometidos.

- Una cubierta de vidrio templado (en algunos modelos se utilizan materiales orgánicos especiales).
- Varias capas de material encapsulante a base de siliconas u otros productos orgánicos que tengan una alta transmisión de la radiación y una baja degradabilidad a la acción de la misma durante largo tiempo.
- Los geles de siliconas son muy adecuados como encapsulantes ya que, a su excepcional transparencia, se añade la poca pérdida de sus propiedades plásticas con el paso del tiempo, su precio moderado y su eficaz protección contra la corrosión. Las superficies cubiertas con estos geles adquieren un carácter hidrófobo, que evita que la humedad se condense y se creen vías de agua, permitiendo que el material respire, y manteniendo el nivel de humedad por debajo de los valores críticos.
- Una o varias cubiertas protectoras posteriores, también de vidrio, o más frecuentemente, TEDLAR o algún otro material análogo. Las cubiertas opacas y de color claro presentan la ventaja adicional de reflejar la luz que ha logrado pasar por los intersticios de células, haciendo que ésta vuelva hacia la parte frontal del módulo, donde puede ser nuevamente reflejada por la cara interior de la cubierta frontal e incidir otra vez sobre las células.
- Un marco de acero inoxidable o aluminio anodizado, que sujeta al conjunto rodeándolo en todo su perímetro. Dicho marco debe estar ya preparado de fábrica con los taladros o accesorios para el montaje del módulo en el bastidor, sin necesidad de manipulación alguna por parte del operario montador que pueda debilitar el módulo.

CAPITULO III

III.- EQUIPO DEL SISTEMA.

III.1.- ACUMULADORES.

La presencia del acumulador es necesaria, ya que los paneles sólo generan energía eléctrica en los momentos en que incide sobre ellos la luz (bien sea directa o difusa) pero a menudo dicha energía se requiere precisamente en los momentos en que no existe incidencia luminosa o ésta es demasiado débil (caso por ejemplo de las viviendas aisladas).

Además el acumulador cumple también dos importantes misiones.

1. Suministrar una potencia instantánea o durante un tiempo limitado, superior a la que el campo de paneles podría generar aun en los momentos más favorables posibles. Tal es el caso de los arranques de los motores, por ejemplo los de los frigoríficos, que requieren durante unos segundos una potencia varias veces superior a la de su normal funcionamiento.

2. Mantener un nivel de tensión estable. La tensión de salida del panel varía en función de la intensidad radiante, lo cual no puede ser adecuado para el funcionamiento de los aparatos. El acumulador proporciona voltaje estable y constante (dentro de un cierto rango) independientemente de las condiciones de incidencia luminosa.

Lo primero que es preciso saber es que al conectarse los bornes de la batería de acumuladores a los correspondientes terminales de los paneles (uniendo polos del mismo signo) el voltaje de la batería, que es aproximadamente constante, es el que determina el voltaje de funcionamiento de los paneles, es decir en la curva I-V de respuesta eléctrica del panel, el voltaje será aquel que la batería le proporcione y nunca al revés. Esto significa que aunque un panel o un conjunto de paneles pueda suministrar teóricamente un voltaje de 19 V, no quiere esto decir que al conectarlos a una batería de 12V se estén aplicando sobre los bornes de la misma 19 V; ya que la intensidad de la corriente suministrada por el panel se ajustará automáticamente al valor tal que en su curva I-V el voltaje sea precisamente de 12V (si la intensidad es suficiente; la tensión en los bornes de la batería puede incrementarse en uno o dos volts).

Como el voltaje de una batería de 12 V de valor inicial nominal puede variar según su estado de carga y otros factores, 1 ó 2 volts por encima o por debajo de su valor medio, se define una zona de trabajo del panel, en lo que al voltaje se refiere, usualmente comprendida entre los 11 y los 15 volts. Esta es la razón por la que suelen unirse varios módulos obteniéndose un voltaje total que, dependiendo de la temperatura, puede ser en la práctica de unos 17 V. Aunque dicho valor puede parecer todavía demasiado alto, ya que para cargar perfectamente una batería únicamente son necesarios unos 14.5 V. Este pequeño margen de seguridad es conveniente pues, si la temperatura de trabajo de la célula aumenta, el voltaje caerá, pero todavía el panel estará en condiciones de

cumplir su cometido. Si ajustásemos demasiado la salida máxima teórica de tensión al valor idóneo para cargar la batería en condiciones de temperatura media (por ejemplo 25° C) cuando las condiciones fueran desfavorables el panel no podría generar suficiente energía para introducir corriente en la batería.

Como contrapartida este pequeño margen de seguridad supondrá una pequeña pérdida respecto a la potencia máxima que el panel pueda teóricamente suministrar y que normalmente se alcanza a voltajes algo mayores a los que en realidad trabaja el panel (el voltaje que determina la propia batería). Globalmente, dicha pérdida puede representar alrededor de un 10% respecto a la potencia máxima del panel que, de forma más bien optimista, los fabricantes anuncian en su catálogo. En cualquier caso, resulta más fiable calcular la potencia real de trabajo de un panel que está conectado a una batería de la forma siguiente.

El acumulador ideal para una instalación fotovoltaica no existe en la realidad, aquellos que tienen, por ejemplo, una autodescarga muy baja (lo cual es deseable) no soportan descargas excesivas y los que admiten profundidades de descargas grandes resultan muy caros.

La elección es a menudo un compromiso entre la economía y la calidad, respetando, por supuesto, el principio de procurar la calidad necesaria que asegure la eficiencia y la larga vida de la instalación.

El acumulador fotovoltaico no debe estar sometido a intensidades de descarga grandes, por lo que su capacidad real superará incluso a la nominal especificada por el fabricante.

Básicamente las dos grandes clases de baterías que se utilizan para aplicaciones fotovoltaicas son las alcalinas (Ni-Cd, Pb-Sb y Pb-Ca) y las de plomo-ácido

Las primeras son más caras pero ofrecen una excelente fiabilidad y resistencia. Pueden soportar descargas de hasta el 90% de su capacidad teórica recuperándose totalmente y aguantar temperaturas extremadamente bajas. Además ocasionales cortocircuitos que dañarían las baterías de plomo no son demasiado peligrosos para las de Ni-Cd, así como la eventual falta de agua, que haría que la batería sólo dejara temporalmente de funcionar hasta que se le añadiera. Tampoco producen gases corrosivos y su mantenimiento es mínimo.

La vida útil de las baterías de Ni-Cd es en general mayor que las de plomo-ácido, aunque en este último grupo también existen tipos que, con el mantenimiento adecuado, logran funcionar durante muchos años.

Sin embargo el alto precio de los acumuladores alcalinos hace que todavía se sigan utilizando preferentemente los de plomo-ácido, por otra parte ya muy experimentados y fiables.

El tipo de acumulador más adecuado para las instalaciones fotovoltaicas son los acumuladores estacionarios, apto para servicio semicontinuos o intermitentes, sin que se vea en ningún momento forzado a producir intensidades elevadas por

cortos períodos de tiempo (como ocurre en los acumuladores de arranque). El acumulador de Pb-Sb (plomo-antimonio) de placas tubulares es el más utilizado para instalaciones medias o grandes. Admite descargas moderadamente altas, aunque el número de ciclos de carga-descarga y por tanto la vida útil, será mayor cuanto menor sea la profundidad de descarga a la que es regularmente sometido. Lo ideal es que ésta se mantenga inferior al 30%, pudiéndose llegar eventualmente al 80% como máximo, razón por la que se denomina a este tipo de baterías de ciclo profundo.

Las baterías estacionarias de Pb-Sb suelen suministrarse en celdas o elementos de polipropileno translúcido, cada uno de ellos con una tensión de un par de volts, uniéndose en serie de 6 ó 12 de estos elementos para conseguir la tensión de 12 ó 24 volts deseada. El conexionado se efectúa mediante atornillado.

Otro tipo de batería adecuada para pequeñas instalaciones es la de Pb-Ca (plomo-calcio) que presenta las ventajas de no necesitar mantenimiento y tener baja autodescarga, aunque, al ser de ciclo superficial no admite gran número de ciclos por debajo del 15% de la capacidad y en ningún caso aguanta profundidades de descarga superiores al 40%, por lo cual la capacidad utilizables es aproximadamente la mitad que la de una estacionaria de igual valor nominal.

Las baterías de Pb-Ca se venden en estructura compacta tipo monoblocs (como las baterías de los automóviles) y su reducido tamaño permite un transporte cómodo lo que unido a su precio relativamente moderado, hace que sean bastante utilizadas en pequeñas instalaciones.

CICLOS DE CARGA-DESCARGA DE LA BATERÍA DE ACUMULADORES

Considérese una típica instalación fotovoltaica que suministra electricidad para la iluminación y otras necesidades básicas de una vivienda. Durante el día, los paneles generarán energía que se empleará, por una parte, en satisfacer los consumos que se efectúen en los momentos coincidentes con los de la producción. La energía sobrante será la que absorberá la batería, a menos que ésta se encuentre ya plenamente cargada, en cuyo caso se disparará en forma de calor o se impedirá el paso de corriente mediante algún dispositivo automático.

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

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

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

Terminado el período de condiciones metereológicas desfavorables y volviendo la intensidad a alcanzar unos valores suficientes, los paneles irán cargando la batería hasta su máxima capacidad de operación que tardará varios días en completarse, ya que el consumo diario continúa, haciendo que sólo una parte de la energía captada pueda destinarse a ser almacenada.

Se completa de esta forma un ciclo autónomo llamado así porque la batería depende únicamente de su propia capacidad útil para satisfacer la demanda energética durante dicho período.

La profundidad de descarga en el ciclo diario es pequeña; típicamente alcanza un nivel entre un 5 y 10% de la capacidad total para instalaciones de electrificación de viviendas. Aun así conviene observar que esta profundidad es mucho mayor que la que afecta a una batería de automóvil, la cual se encuentra siempre totalmente cargada y que en uso normal, nunca descarga más del 1% de su capacidad (durante el arranque del motor)

La profundidad de descarga en el período de autonomía debe ser rigurosamente determinada según el tipo de batería, siguiendo las recomendaciones del fabricante. En ningún caso debe superar el 80% (límite recomendado para la batería de Ni-Cd y la estacionaria de Pb-Sb), reduciéndose al 40% si se trata de baterías no estacionarias pero especialmente diseñadas para uso fotovoltaico (como la de Pb-Ca) y al 20% si se utiliza una batería normal de automóvil (plomo-ácido)

COMPORTAMIENTO DE LA BATERÍA DE ACUMULADORES EN UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.

Las intensidades de carga y descarga de una batería en una instalación fotovoltaica son en general muy bajas, por lo que los rendimientos, al haber poca pérdida en calor por efecto Joule y otras causas, son bastante aceptables, del orden del 90%. Esto requiere decir de cada 100 W que los paneles introducen en la batería podemos esperar razonablemente que ésta nos devuelva al menos 90 W utilizables para el consumo. En todo caso conviene considerar esta pérdida por rendimiento de conversión en el cálculo de las instalaciones.

1.- Nivel o estado de carga

El voltaje disminuye a medida que la batería se descarga y aumenta hasta llegar a un máximo (en torno a los 14 V para las baterías de 12 V de tensión nominal), cuando la batería se carga.

Para obtener una medida fiable de voltaje y, por tanto deducir el estado de carga de la batería, según las curvas de *tensión-profundidad* de descarga suministrada por el fabricante, sería preciso desconectar la batería para evitar que, durante la medida, estuviese sometida a carga o descarga que alterara el resultado de la misma. Esto no siempre es factible hacerlo, por lo que la

indicación del voltímetro cuando la batería está conectada, es una indicación solamente aproximada de su estado de carga.

Una medida mas exacta del nivel de carga se obtiene midiendo la densidad relativa (también llamada gravedad específica) del electrolito por medio de un densímetro y llevando el valor gráfico correspondiente. La densidad relativa se aproxima a 1.3 para el caso de baterías plenamente cargadas, y a 1.05 cuando están totalmente descargadas. Antes de llegar al estado de carga cero, se alcanza el voltaje inferior límite, a partir del cual la batería puede no recuperarse si se continúa descargando. Para una típica batería de plomo de 12 V dicho voltaje inferior límite es aproximadamente igual a 11 V.

2.- Velocidad de carga o descarga

Si una batería esta recibiendo una cierta intensidad de carga, la diferencia de potencial entre bornes es siempre algo superior a la que tendría si desconectamos la corriente de carga, debido a la resistencia interna de la batería, que siempre supone un obstáculo adicional.

Inversamente si la batería está descargándose, la pequeña caída de potencial debido a su resistencia interna hace que la tensión que se mida en los bornes sea un poco inferior.

En ambos casos, debido a que, como sabemos, la caída de tensión interna es el producto de la intensidad y la resistencia interna de la batería, ésta es tanto mayor cuanto mayor sea la intensidad, esto es, el régimen de carga o descarga al que se somete la batería. En cualquier caso si, como es usual en instalaciones fotovoltaicas, las intensidades de descarga son moderadas, estas diferencias de tensión son menores.

3.- Temperatura de la batería.

En la naturaleza química de las reacciones internas que tienen lugar en una batería, la temperatura influirá decisivamente sobre la misma. En efecto, el voltaje final recomendado para conseguir que la batería alcance el estado de plena carga debe ser mayor cuanto más baja sea la temperatura, pues la reacción química se efectuará con mayor dificultad, necesitándose mayor energía para que el proceso se complete. Este hecho tiene importancia, pues según el lugar donde se ubique la instalación, podrá ser necesario corregir el voltaje aplicado, en función de la temperatura media que se espera vaya a soportar la batería.

III.2.- REGULADORES.

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

El inconveniente de esta ligera sobretensión es doble. Por una parte se desperdicia un poco la energía máxima teóricamente obtenible del panel (alrededor del 10%), que se obtendría a tensiones algo mayores que las que impone la batería. Por otra, ocurrirá que, aunque ésta llegue a su estado de plena carga, no alcanzará el potencial máximo que el panel teóricamente puede lograr y éste seguirá intentando inyectar energía a través de los bornes de la batería, produciendo una sobrecarga perjudicial para la misma la cual, si no es evitada, puede llegar a destruirla.

La forma más simple de suprimir el último de los inconvenientes antes expuestos sería instalar un simple interruptor manual entre los paneles y la batería y cuando el usuario observase (mediante un voltímetro) que la tensión de la misma corresponde al estado de plena carga (aproximadamente igual a 13 V, en circuito abierto, para baterías de tensión nominal de 12 V), dejar interrumpido el circuito paneles-batería durante cierto tiempo, hasta que la tensión de la batería bajase un poco. Evidentemente, esta forma de proceder sería muy incómoda, ya que habría que estar pendiente de la lectura del voltímetro y sería totalmente inviable para casos de instalaciones aisladas.

El regulador de carga, como su nombre lo indica (también se le denomina a veces controlador), tiene la misión de regular la corriente que absorbe la batería con el fin de que en ningún momento pueda ésta sobrecargarse peligrosamente pero, al mismo tiempo, evitando en lo posible que deje de aprovechar energía captada por los paneles (lo que inevitablemente ocurriría si el control fuese mediante un simple interruptor de accionamiento manual). Para ello, el regulador mediante dispositivos electrónicos, debe detectar y medir constantemente el voltaje, que será una indicación del estado de carga de la batería y si éste llega al valor de consigna previamente establecido, correspondiente a la tensión máxima admisible, debe actuar de forma que impida que la corriente siga fluyendo hacia la batería, o bien que fluya únicamente la justa para mantenerla en estado de plena carga, pero sin sobrepasarse. Dicha corriente mínima se denomina de *flotación* y se dice que la batería se encuentra en dicho estado cuando sólo recibe la cantidad de energía justamente suficiente para mantenerla a plena carga (que en períodos de ausencia de consumo será únicamente la necesaria para compensar la autodescarga.)

Los cuatro parámetros de regulación que un buen regulador debe ser capaz de aceptar pudiendo ser fijados (dentro de ciertos límites) según las peculiaridades de cada instalación son los siguientes:

- El voltaje máximo admisible, o voltaje máximo de regulación. Es el máximo voltaje que el regulador permite que sea aplicado a la batería.
- El intervalo de histéresis superior. Se denomina así a la diferencia entre el voltaje máximo de regulación y el voltaje al cual el regulador permite el paso de toda la intensidad de la corriente producida por los paneles. Para un voltaje intermedio, el regulador únicamente permite el paso hacia la batería de una fracción de la corriente producida por los paneles, menor cuanto más se acerque el voltaje entre bornes de la batería al voltaje máximo de regulación.

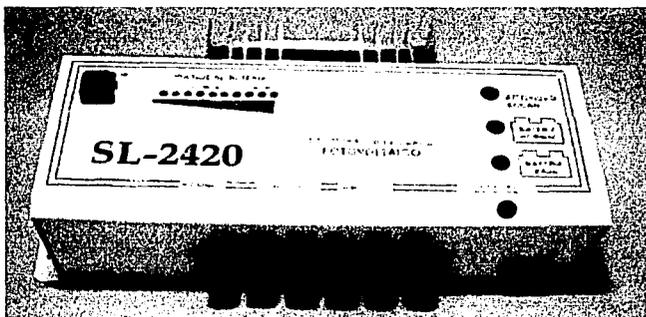
- Voltaje de desconexión. Es el valor al cual se desconectan automáticamente las cargas de consumo, a fin de prevenir una sobredescarga de la batería.
- El intervalo de histéresis inferior. Es la diferencia entre el voltaje de desconexión y el voltaje al cual se permite que las cargas de consumo se reconecten de nuevo a la batería.

TIPOS DE REGULADORES.

Fundamentalmente, existen dos tipos de reguladores, según el sistema que empleen para lograr su objetivo: los de tipo paralelo (también denominados reguladores shunt) y los de tipo serie.

El primero de ellos ha sido el tradicionalmente utilizado en pequeñas instalaciones, aunque últimamente se están imponiendo los reguladores serie, reservados en un principio a instalaciones mayores.

El regulador shunt, al detectar un valor de la tensión demasiado elevado, deriva la corriente a través de un dispositivo de baja resistencia, convirtiendo su energía en calor por efecto Joule, disipando dicho calor mediante unas aletas metálicas de diseño adecuado.



REGULADOR SHUNT

Se comprenden las limitaciones (en cuanto a la potencia de las instalaciones) de este tipo de reguladores, ya que la disipación de una potencia térmica grande conlleva a problemas técnicos diversos.

Los reguladores en serie, en vez de disipar energía, simplemente interrumpen el circuito cuando el voltaje alcanza un valor determinado. Estos aparatos se intercalan en serie (de ahí su denominación) y su resistencia es despreciable cuando permiten paso de corriente.

Al no existir disipación de calor, este tipo de reguladores puede ser de pequeño tamaño y son aptos para ser encerrados en compartimentos herméticos si fuera necesario.

Al realizar la conexión a los bornes de la batería hay que asegurarse bien de la polaridad de los conductores, pues una inversión de polaridad puede producir daños al equipo.

Conviene mencionar la existencia de otros tipos de reguladores, utilizados en grandes instalaciones, que cuando la batería está cargada desvían la corriente de los paneles a fin de aprovechar para otros usos, y también dispositivos que, de forma automática, van desconectando paulatinamente los paneles o grupos de paneles a medida que la tensión de la batería crece, para dejar pasar únicamente la corriente necesaria y nunca en exceso.

Suele aprovechar la estructura externa del regulador para integrar, formando un conjunto compacto, una serie de instrumentos que complementan la función del mismo efectúan un control de la instalación. Así es frecuente disponer de amperímetros y voltímetros-graduado con una escala adecuada a la potencia y voltaje del campo de paneles-una alarma para avisar de la baja tensión en batería, un sensor de temperatura que regula automáticamente el valor de la tensión máxima de carga que, como sabemos, es función de la temperatura.

NECESIDAD DEL REGULADOR.

El regulador, como elemento de seguridad y protección de la batería, siempre es recomendable. Sin embargo, hay casos en que puede no resultar imprescindible. En las instalaciones en las que la relación entre la potencia de los paneles y la capacidad de la batería es muy pequeña (caso de las baterías sobredimensionadas por razones de seguridad u otras razones), la corriente de carga difícilmente podrá llegar a producir daños en la batería.

Si la autonomía del sistema es superior a 20 días es casi seguro que la batería es lo suficientemente grande para absorber la intensidad de corriente producida por los paneles, aún en estado de plena carga, durante bastante tiempo antes de comiencen a presentarse problemas de gasificación (no hay que olvidar que además se producirá una auto descarga constante que contribuirá a aliviar el nivel de carga). Durante este tiempo probablemente se habrán producido consumos que descarguen un poco la batería.

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

También para tratar de evitar el uso del regulador, se han fabricado paneles denominados autorreguladores que, utilizados bajo determinadas circunstancias, eliminan la necesidad de la instalación del mismo.

La idea es simple: Si se utilizan en la fabricación de los módulos tres o cuatro células menos de las que es habitual, es evidente que la curva i-V del mismo caerá en su parte derecha antes de lo que hace un módulo esto es se alcanzará en el eje de abscisas un voltaje menor.

Cuando la batería no está muy cargada, el módulo autorregulado proporciona una intensidad ligeramente inferior a la normal (la potencia será menor debido al menor número de células) pero perfectamente admisible para conseguir una buena alimentación de la batería.

Sin embargo a medida que el estado de carga de ésta se acerca a su valor máximo y por consiguiente la tensión entre sus bornes sube, el punto de trabajo del módulo autorregulado, al trasladarse hacia la derecha de la curva i-V, entra en la zona brusca de la misma y decrece muy rápidamente. Esto conlleva una disminución grande de la corriente de carga la cual se reduce a un valor lo suficientemente pequeño para que apenas pueda seguir cargando la batería, evitando así el peligroso efecto de una sobrecarga.

Al efectuarse consumos y el voltaje disminuye de nuevo, el punto de trabajo del módulo se desplaza otra vez hacia la izquierda, subiendo rápidamente la intensidad de carga

Este sistema de regulación debe utilizarse con ciertas precauciones, no es tan perfecto como el uso de un regulador, ya que a pesar de que la corriente de carga en estado de plena carga de la batería es pequeña, no es nula, y sino se efectúa consumo durante mucho tiempo puede terminar igualmente produciendo una sobrecarga perjudicial, sobre todo si la batería es muy grande en comparación con la potencia de los módulos. Debemos exigir, antes de utilizar este tipo de módulos, que la potencia de los mismos, medida en Wats, sea menor que dos centésimas parte de la capacidad de batería medida en W.h

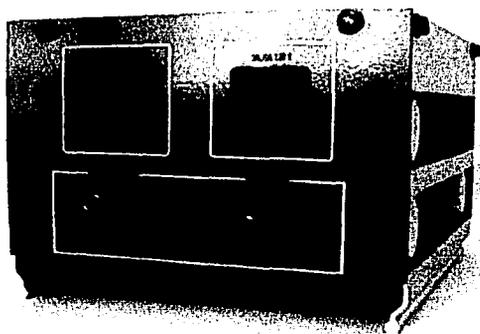
III.3- CONVERTIDORES.

Los convertidores son dispositivos capaces de alterar la tensión y características de la corriente eléctrica que reciben, transformándola de manera que resulte más apta para los usos específicos a que vaya destinada en cada uso.

Los convertidores que reciben corriente continua a un determinado voltaje y la transforman en corriente continua pero a un voltaje diferente reciben la denominación de convertidores de CC-CC, y los que transforman corriente continua a alterna se denominan convertidores de CC-CA, onduladores y también inversores.

En las instalaciones fotovoltaicas los primeros tienen un menor uso, aunque son a veces utilizados cuando la tensión de la batería no coincide con la requerida por los aparatos de consumo, por ejemplo, en el caso de querer alimentar un electrodoméstico a 24 V con una batería de 12 V o viceversa. Su uso presenta la ventaja adicional de conseguir una tensión de salida estable, que beneficiará siempre al elemento de consumo de la corriente.

El procedimiento normal de un equipo de CC-CC es convertir previamente mediante un dispositivo electrónico inversor, la corriente continua de entrada en corriente alterna, la cual es elevada o reducida de tensión mediante un simple transformador, volviéndose posteriormente a convertirla en continua, pero ya al voltaje requerido. Todos estos procesos se comportan, como fácilmente se comprende, una cierta pérdida de rendimiento, que debe ser tenida en cuenta.



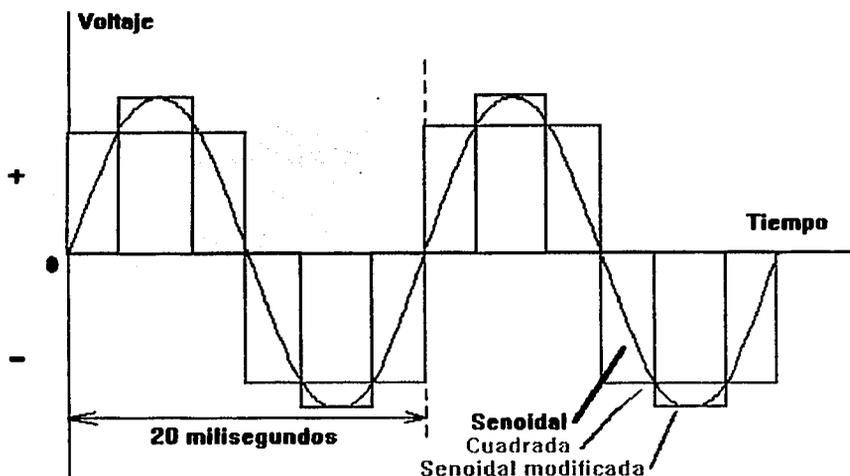
CONVERTIDOR CC/CA 24V/127V

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

Un convertidor CC-CA mediante un circuito electrónico con transistores o tiristores, es capaz de cortar muchas veces cada segundo la corriente continua que recibe, produciendo una serie de impulsos alternativos de corriente que simulan las características de la corriente alterna convencional.

Según la forma de onda característica de la corriente que el convertidor produce, se habla de convertidores de onda cuadrada, de onda cuadrada modificada, de onda senoidal modificada o cuasi-senoidal verdadera.

Dado que la corriente alterna se presenta bajo forma de onda senoidal pura, el convertidor más perfecto será el de tipo senoidal, aunque también es el más caro, y para muchas aplicaciones innecesario (iluminación, pequeños motores, etc) bastando utilizar una onda cuadrada que resulta mucho más económico.



Los convertidores pueden obtenerse en una amplia gama de potencias, desde 100 W hasta varios kW.

Los últimos avances en las tecnologías de la electrónica de potencia han conducido al desarrollo de los inversores denominados IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistor), con características superiores, que se vislumbran como una de las opciones con más futuro.

Es importante exigir del convertidor unas cualidades determinadas que lo hagan apto para su empleo en instalaciones solares, a saber.

1. Capacidad de resistir potencias punta, como la producida en los arranques de los motores, durante breves instantes sin que se colapse el dispositivo inversor. Los convertidores de onda cuadrada tienen muy poca capacidad de resistir estas subidas de potencia instantánea.
2. Una eficiencia razonable. En este aspecto hay que considerar que si un convertidor diseñado para trabajar con una potencia determinada se hace funcionar solamente a una fracción de dicha potencia, como en el caso de períodos en los que el consumo sólo sea una pequeña parte del máximo previsto,

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

3. Estabilidad en el voltaje. Debe mantener un voltaje de salida para el circuito de consumo aproximadamente constante, con independencia de la potencia demandada en cada momento. Son admisibles variaciones de hasta un 5% para convertidores de onda senoidal y hasta un 10% para las onda cuadrada. Por otra parte, en instalaciones con acumuladores (que son la mayoría) la tensión de entrada real no deberá ser mayor del 125%, ni menor del 85% de la tensión nominal de entrada del convertidor.

4. Baja distorsión armónica. Este es un parámetro que se refiere a la calidad de la onda producida. Los componentes parásitos de dicha onda son parcialmente eliminados mediante filtros electrónicos, aunque en este proceso también se pierde algo de potencia útil. La variación de la frecuencia de salida deberá ser inferior al 3% de la nominal.

5. Posibilidad de poder ser combinado en paralelo. Esto permite un posible futuro crecimiento de la instalación y de la potencia de consumo.

6. Arranque automático. Los convertidores deber ser capaces de conectarse automáticamente cuando detecten una demanda energética por encima de un nivel umbral previamente fijado. Esto evita el que estén permanentemente activos aunque no se necesite energía.

7. Seguridad. Los convertidores utilizados en instalaciones fotovoltaicas deberán estar dotados de protección contra corto circuitos, sobrecarga e inversión de polaridad, así como de un mecanismo de desconexión por falta de carga.

8. Buen comportamiento frente a la variación de temperatura. El rango de operación deberá ser como mínimo, entre -5°C y 40°C

9. Señalización adecuada. Deberá incluir una señal luminosa que nos indique un posible cortocircuito.

10. Documentación técnica suficiente. Deberá ser exigida, al menos, la información siguiente:

- Tensiones de trabajo de entrada y salida.
- Potencia nominal.
- Frecuencia nominal y factor de distorsión.
- Forma de la onda
- Rango de temperaturas admisibles.
- Rendimiento en función de la potencia demandada
- Sobrecarga que resiste.
- Resistencia a cortocircuito.
- Factor de potencia.

NECESIDAD DEL USO DEL CONVERTIDOR.

Existe entre los profesionales del sector una polémica acerca de si es aconsejable transformar la corriente continua de 12 ó 24 V, utilizando un convertidor y efectuar el consumo a esta última tensión o si es preferible utilizarla directamente, adaptando todos los dispositivos y elementos de consumo para poder funcionar con corriente continua.

La decisión en cualquier caso, requiere un cuidadoso análisis de los factores que afectan a cada instalación en concreto y de las necesidades y previsiones del usuario.

Parece claro que para una pequeña instalación de electrificación mínima de una vivienda (puntos de luz, televisor y algún pequeño aparato) es más rentable prescindir del convertidor y proyectar la red de consumo para funcionar con continua, ya que este elemento es muy caro. Si con el tiempo el número de electrodomésticos aumenta, pueden conseguirse en el mercado modelos de corriente continua de 12 o 24 V, y aunque su precio es mayor que los normales, puede compensar el sobrecosto.

En otros casos, como por ejemplo cuando el usuario desea aprovechar aparatos de un consumo a corriente alterna que ya posee, puede ser interesante la instalación de un convertidor; en estos casos se aconseja el tendido de las líneas de reparto para el consumo independientes: una a continua, tomada directamente de la batería, sin ninguna transformación y otra, alterna al comienzo en la cual se instaló el convertidor. Esto tiene lógicamente, el inconveniente de un costo adicional al tener que duplicar la toma de corriente, llaves de contacto, fusibles, etc., pero tiene la ventaja de poder hacer uso o no de convertidor a voluntad y dependiendo de los aparatos que se utilicen.

Para aquellas instalaciones de cierta potencia casi siempre se utiliza un convertidor, al menos que estén destinadas a un uso muy específico en el que los aparatos de consumo hayan sido fabricados para trabajar con corriente continua únicamente.

En definitiva, el decidirse o no por la instalación del convertidor es una cuestión fundamentalmente económica y dependiendo de los requerimientos exigibles y de los costos, podremos optar por una u otra posibilidad.

Si se decide instalar un convertidor de onda cuadrada o de onda cuadrada modulada (modificada) es importante que el fabricante o proveedor del mismo garantice su aptitud para hacer funcionar sin problemas los aparatos previstos de consumo (TV, equipos de música, pequeños ordenadores y electrodomésticos, etc.)

Los convertidores de orden senoidal son aptos para cualquier tipo de consumo, aunque su precio, sobre todo a partir de una cierta potencia, los hace casi prohibitivos para las instalaciones domésticas habituales.

Una cualidad adicional de los modernos convertidores es la posibilidad de funcionar al revés, actuando como cargadores de baterías, tomando corriente alterna de un grupo electrógeno o de la red.

III.4.- OTROS ELEMENTOS

Además de los tres elementos característicos de la mayoría de las instalaciones fotovoltaicas (módulos, batería y regulador), existen varios accesorios que, aunque no estrictamente imprescindibles, son recomendables en áreas de mayor seguridad o control de la instalación. A menudo estos elementos vienen presentados por los distintos fabricantes en carcasas que agrupan varios de ellos, para facilitar su montaje y para mayor comodidad del usuario. Describiré los más característicos dejando para el final los equipos de iluminación, los cuales requieren una especial atención.

ALARMAS Y DESCONECTADORES POR BAJO VOLTAJE.

Si por circunstancias imprevistas o debido a un inadecuado dimensionado, la batería se descarga, hasta un nivel peligroso, resulta conveniente instalar un dispositivo que, o bien avise al usuario mediante una alarma luminosa, acústica o señal de radio, o bien desconecte la batería del consumo, aun a costa de interrumpirlo, hasta que ésta haya recuperado un nivel de carga mínimo. En instalaciones medias y grandes pueden montarse varios desconectores que afecten a diferentes equipos y que, siguiendo un orden prioritario, se vayan desconectando a medida que la batería entra en la zona peligrosa de profundidad de descarga.

Hay que advertir que los contactos del sistema de desconexión pueden no resistir bien la intensidad de la corriente, debiendo en ese caso instalar un relé más robusto que fuese el encargado de abrir y cerrar el circuito y que podría ser comandado por el desconector propiamente dicho.

PROGRAMADORES HORARIOS

Son equipos ampliamente utilizados en instalaciones convencionales, existiendo también para corriente continua. Normalmente admiten programar conexiones del servicio de un mínimo de media hora a lo largo de las 24 horas del día. Son útiles, por ejemplo, en instalaciones que alimentan señales luminosas que deben encenderse a partir de una cierta hora del día. En los que un control de luz ambiental da la orden de arranque.

TEMPORIZADORES.

A veces existen casos en que es preciso que un dispositivo se conecte durante un tiempo determinado en momentos que no pueden predecirse de antemano, por depender de factores circunstanciales. Por ejemplo, una alarma debe sonar durante cinco minutos cuando un módulo fotovoltaico detecte el paso de una persona, o en una luz debe encenderse únicamente el tiempo justo para permitir la visión de un transeúnte. En estos supuestos se utilizan temporizadores, existiendo de dos tipos: de tiempo fijo y de tiempo variable.

En los primeros actuando sobre un pulsador, se cierra el circuito de consumo requerido durante un tiempo determinado (siempre el mismo) y en los segundos el tiempo de actuación puede fijarse a voluntad mediante unos micro interruptores. Los temporizadores a tiempo variable encuentran su principal campo de aplicación en el encendido de luminaria autónomas, balizas de señalizaciones, etc.

DISPOSITIVOS DE CONTROL Y SALIDA.

Suelen ir integrados en otros equipos, como: el regulador o los dispositivos de seguridad. En una instalación fotovoltaica puede interesar conocer la intensidad radiante que reciben los paneles (medida mediante un solarímetro), la tensión y la intensidad de la corriente que producen, el voltaje de la batería, la intensidad que recorre el circuito de consumo etc.

En la mayoría de los casos son un voltímetro y un amperímetro, con posibilidad de realizar medidas de circuito primario módulos-regulador y en el secundario batería-carga de consumo, será suficiente, aunque también pueden resultar útiles los denominados contadores de amper.hora que como su nombre lo indica, miden la cantidad de electricidad que ha circulado por una línea eléctrica en un tiempo determinado, permitiendo conocer, tanto la carga que aportan los módulos, como los consumos acumulados. Los contadores mecánicos tienen la ventaja de que, si se produce un corte temporal en la alimentación de sus circuitos, el valor medido hasta ese momento no se pierde aunque el dispositivo quede bloqueado. Para conseguir ésto, en los electrónicos se requiere el uso de una pequeña pila de seguridad que permita conservar en la memoria el valor acumulado.

FUSIBLES Y ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

Se utilizan para proteger los aparatos contra sobreintensidades accidentales, cortocircuitos, etc. Normalmente cada aparato lleva su propio fusible incorporado

Aunque el impacto directo de los rayos en los paneles es poco frecuente, el disponer de una serie de varillas metálicas, a modo de pararrayos, de 1 metro de

altura y situadas a unos pocos centímetros de los paneles, a intervalos de 2 metros, constituirá una protección eficaz contra los efectos del rayo.

Un sistema fotovoltaico debe contener la línea de puesta a tierra para proteger al sistema, aplicado tanto a sistemas autónomos como a los sistemas aplicados a la red. El sistema de puesta a tierra aumenta la seguridad del personal y minimiza los efectos de sobretensión inducido en los equipos.

Como mínimo, en cada grupo de paneles se debería instalar, en serie, un protector de sobretensiones, para prevenir daños en los módulos por causa de las corrientes inducidas generadas por las tormentas.

Para limitar la intensidad en el circuito de consumo puede instalarse un interruptor termo-magnético, semejante a los que habitualmente se disponen en las viviendas, que saltará cuando se conecte algún aparato de excesiva potencia antes de que pueda causarse daño a la batería.

ELEMENTOS DE ILUMINACIÓN

Gran parte de las pequeñas instalaciones que se realizan están destinadas a dotar de energía eléctrica, principalmente para la iluminación, a viviendas rurales, granjas, refugios, etc.

Paneles y batería son elementos caros, por lo que debemos tratar de optimizar el dimensionado procurando utilizar elementos de consumo que desaprovechen la menor cantidad posible de energía, es decir que funcionen con un rendimiento lo más elevado posible. Es por tanto necesario que la distribución y la potencia de los puntos de luz sea correcta y que las lámparas empleadas posean una *eficiencia luminosa* (razón entre la energía luminosa que producen y la energía eléctrica que consumen) lo más alta posible.

Si se usa corriente continua para alimentar el circuito de consumo, se ahorrará el costo del convertidor y los posibles inconvenientes de éste (pérdidas adicionales, averías, etc.).

Sin embargo las lámparas o tubos fluorescentes, que tienen una eficiencia luminosa mucho mayor que las tradicionales bombillas incandescentes (unas tres veces superior), no pueden, por su propia naturaleza, encenderse conectándolas, sin más, a la toma de corriente continua de bajo voltaje propia de las instalaciones fotovoltaicas.

Las lámparas halógenas de bajo voltaje, aunque son aptas para aplicaciones fotovoltaicas, no tienen un rendimiento tan elevado y además su vida es más corta que la de las fluorescentes.

La solución adoptada es convertir la corriente continua en alterna, y así lograr fácilmente aumentar el voltaje y la frecuencia de ésta, para conseguir unos valores óptimos para el funcionamiento de la lámpara fluorescente. Estas

funciones las realizan unos inversores especiales denominados reactancias electrónicas o balastos transistorizados capaces de generar frecuencias del orden de 20 kHz e incluso mayores, adecuados para el buen funcionamiento de las lámparas o tubos fluorescentes.

También existen balastos para lámparas de sodio a baja presión, las cuales, debido a su gran potencia lumínica, son muy apropiadas para exteriores.

Existen varios tipos de reactancias electrónicas, que podríamos clasificar en dos grupos:

- Reactancias electrónicas convencionales, que integran un multivibrador, un transistor para producir la conmutación y un transformador-elevador.
- Reactancias electrónicas avanzadas, basadas en un bloque PWM (modulador de anchura de pulsos) integrado con un filtro de salida.

En todas las reactancias electrónicas el calentamiento de los filamentos de la lámpara, el encendido y el mantenimiento de la descarga, así como las funciones de protección y regulación del funcionamiento son completamente realizadas por los componentes electrónicos integrados.

Los balastos deben estar protegidos contra inversión de polaridad y funcionamiento en vacío. Además debemos exigir que el fabricante especifique el rendimiento eléctrico y luminosos del sistema balasto-lámpara y demás características técnicas del balasto, entre las que citaremos:

- Marca de origen y tipo.
- Seguridad de encendido, y si puede o no soportar inversión de polaridad.
- Respuesta ante temperaturas elevadas.
- Protección ante cortocircuito, sobretensiones y variaciones de tensión
- Forma simétrica de la tensión y corriente.
- Grado de aproximación a la onda sinusoidal
- Ausencia de componente continua.
- Tensión de circuito abierto y tensión con respecto a tierra cuando esta última sea superior.
- Valores de tensión y corriente que no debería ser excesivas, tanto en el encendido como en funcionamiento estable.
- Potencia nominal.
- Frecuencia de operación.
- Función de precalentamiento de electrodos.
- Factor de flujo
- Si se requieren disipadores de calor complementarios
- Máxima temperatura admitida por la envolvente.

Una típica reactancia electrónica tradicional tiene como características: alimentación a 12 V (CC) salida de cuatro hilos (dos en cada extremo del tubo, en vez de uno); protecciones contra tensión inversa y desconexión del tubo; control de frecuencia fija a 21 kHz.

Las reactancias avanzadas presentan un grado de variación en la tensión de alimentación (por ejemplo, de 11 a 15 volts) e incorporan circuitos más sofisticados de protección y compensación, consiguiendo que la variación de iluminación al disminuir la tensión sea insignificante.

En cualquier caso, hemos de tener en cuenta que, debido a los componentes electrónicos que incorporan, estas reactancias son dispositivos sensibles, no debiendo ser sometidos a continuos procesos de conexión y desconexión, ya que pueden acortar apreciablemente la vida útil del sistema.

Deben escogerse las lámparas y tubos fluorescentes de alta eficiencia que, aunque son más caros que los normales, terminan siendo rentables, combinando adecuadamente sus tonalidades para que el resultado sea agradable, siguiendo las recomendaciones de los fabricantes.

Recientemente, se han introducido en el mercado las denominadas lámparas de inducción. En ellas, un campo electromagnético inducido por una corriente que circula a través de una bobina, provoca la luminiscencia de un gas. Al no necesitar electrodos, este tipo de lámparas posee una vida útil muy grande, del orden de las 60 000 horas, con una eficiencia semejante a las de las lámparas fluorescentes.

ELEMENTOS OPTIMIZADORES DE ACOPLAMIENTO.

Bajo esta denominación genérica se agrupan un conjunto de dispositivos electrónicos aparecidos recientemente que, generalmente mediante micoprecesadores e incorporado las instrucciones adecuadas, consiguen un mejor aprovechamiento de la energía generada por los paneles, en función de las necesidades específicas de cada consumo.

Ya se han mencionado los seguidores del punto de máxima potencia, capaces de hacer trabajar a los paneles siempre en el punto donde el producto V_i es máximo. Estos dispositivos pueden encontrarse incluso incorporados dentro de otros aparatos, como los convertidores de conexión a red, ya que en este caso, al no existir acumuladores, no hay ningún requerimiento en cuanto al voltaje de entrada del convertidor (éste lo transforma a un valor idéntico al voltaje de red).

En las instalaciones con acumuladores se pierde una parte apreciable de la energía que teóricamente podría generar el panel, si el voltaje de la batería- que siempre definirá el voltaje de trabajo del panel, está apreciablemente por debajo del punto que corresponda a la máxima potencia del panel.

Para compensar el anterior inconveniente se han desarrollado los llamados *convertidores de acoplamiento panel-batería*, que son dispositivos que se instalan entre ambos elementos y que permiten al panel trabajar a una tensión superior a la que existe entre los bornes del acumulador, consiguiéndose así una mayor potencia. Puesto que ésta es el producto del voltaje y la intensidad, si la tensión

de la batería es menor que la del panel, el convertidor de acoplamiento es capaz en este caso de aumentar la intensidad de la corriente de salida hacia baterías, manteniendo el producto V_i aproximadamente constante (naturalmente, durante el proceso de conversión se producen algunas pérdidas). Con ese dispositivo pueden lograrse incrementos netos de potencia inyectada en batería de un 10% ó 15% sobre todo en los meses invernales que es cuando las baterías suelen estar con tensiones más bajas.

Por último, mencionaremos también unos dispositivos de adaptación, usados exclusivamente en grandes instalaciones, donde se utilizan elevadas tensiones de salida (110 o más volts), disponiendo en serie un gran número de módulos. Dichos adaptadores son capaces de conectar y desconectar automáticamente algunos de los últimos paneles de cada serie, variando así la tensión final de salida y consiguiendo que ésta sea en todo momento la adecuada, independientemente de la radiante incidente o la temperatura ambiente.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Coordenadas geográficas extremas	Al norte 19°08', al sur 18°20' de latitud norte; al este 98°38', al oeste 99°30' de longitud oeste. (a)
Porcentaje territorial	El estado de Morelos representa el 0.2% de la superficie del país. (b)
Colindancias	Morelos colinda al norte con el estado de México y el Distrito Federal; al este con México y Puebla; al sur con Puebla y Guerrero; al oeste con Guerrero y México. (a)

FUENTE: (a)INEGI. Marco Geoestadístico, 2000. (b)INEGI-DGG. Superficie de la República Mexicana por Estados. 1999.

DIVISIÓN MUNICIPAL

Clave	Municipio	Cabecera municipal
001	Amacuzac	Amacuzac
002	Atlatlahucan	Atlatlahucan
003	Axochiapan	Axochiapan
004	Ayala	Cd. Ayala
005	Coatlán del Río	Coatlán del Río
006	Cuautla	Cuautla
007	Cuernavaca	Cuernavaca
008	Emiliano Zapata	Emiliano Zapata
009	Huitzilac	Huitzilac
010	Jantetelco	Jantetelco
011	Jiutepec	Jiutepec
012	Jojutla	Jojutla
013	Jonacatepec	Jonacatepec
014	Mazatepec	Mazatepec
015	Miacatlán	Miacatlán
016	Ocuituco	Ocuituco
017	Puente de Ixtla	Puente de Ixtla
018	Temixco	Temixco
019	Tepalcingo	Tepalcingo

020	Tepoztlán	Tepoztlán
021	Tetecala	Tetecala
022	Tetela del Volcán	Tetela del Volcán
023	Tlalnepantla	Tlalnepantla
024	Tlaltizapán	Tlaltizapán
025	Tlaquitenango	Tlaquitenango
026	Tlayacapan	Tlayacapan
027	Totolapan	Totolapan
028	Xochitepec	Xochitepec
029	Yautepec	Yautepec de Zaragoza
030	Yecapixtla	Yecapixtla
031	Zacatepec de Hidalgo	Zacatepec de Hidalgo
032	Zacualpan de Amilpas	Zacualpan de Amilpas
033	Temoac	Temoac

FUENTE: INEGI. Morelos. XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Resultados Preliminares.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS Y ALTITUD DE LAS CABECERAS MUNICIPALES

Cabecera	Latitud Norte		Longitud Oeste		Altitud
	Grados	Minutos	Grados	Minutos	msnm
Amacuzac	18	36	99	22	900
Atlatlahucan	18	56	98	54	1,640
Axochiapan	18	30	98	45	1,030
Cd. Ayala	18	46	98	59	1,220
Coatlán del Río	18	45	99	26	1,010
Cuatla	18	49	98	57	1,300

Cuemavaca	18	55	99	14	1,510
Emiliano Zapata	18	50	99	11	1,240
Huitzilac	19	02	99	16	2,550
Jantetelco	18	43	98	46	1,420
Jiutepec	18	53	99	11	1,350
Jojutla	18	37	99	11	890
Jonacatepec	18	41	98	48	1,290
Mazatepec	18	44	99	22	980
Miacatlán	18	46	99	22	1,000
Ocuituco	18	53	98	47	1,920
Puente de Ixtla	18	37	99	19	900
Temixco	18	51	99	14	1,280
Tepalcingo	18	36	98	51	1,160
Tepoztlán	18	59	99	06	1,700
Tetecala	18	44	99	24	980
Tetela del Volcán	18	54	98	44	2,220
Tlalnepantla	19	00	99	00	2,060
Tlaltizapán	18	41	99	07	950
Tlaquiltenango	18	38	99	10	910

Tlayacapan	18	57	98	59	1,620
Totolapan	18	59	98	55	1,900
Xochitepec	18	47	99	14	1,110
Yautepec de Zaragoza	18	53	99	04	1,210
Yecapixtla	18	53	98	52	1,580
Zacatepec de Hidalgo	18	39	99	11	920
Zacualpan de Amilpas	18	47	98	46	1,640
Temoac	18	46	98	47	1,580

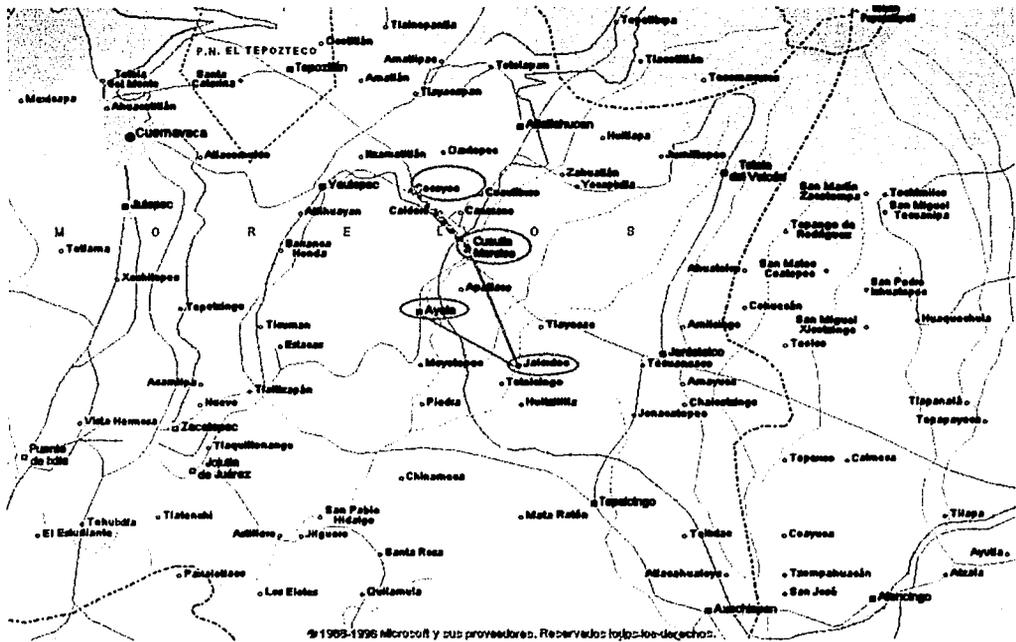
msnm: metros sobre el nivel del mar.
FUENTE: INEGI. Carta Topográfica, 1:50 000.

CLIMAS

Tipo o subtipo	% de la superficie estatal
Cálido subhúmedo con lluvias en verano	67.83
Semicálido subhúmedo con lluvias en verano	18.80
Templado subhúmedo con lluvias en verano	9.70
Semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano	2.46
Semifrío subhúmedo con lluvias en verano	1.17
Frío	0.04

FUENTE: INEGI. Carta de Climas, 1:1 000 000.

El clima que predomina en el estado de Morelos es cálido, que rige sobre todo en las zonas bajas de los ríos Amacuzac y Nexapa.



IV.2.- DEMANDA Y CARACTERÍSTICAS DE LA CASA RURAL.

El pequeño poblado de Jaloxtoc se encuentra ubicado a 11.9 Km de Cuautla Morelos, y 10.5 Km de Cd. Ayala. Esto considerando distancias en línea recta para las líneas de transmisión que pudiesen llegar al lugar.

Sin embargo Jaloxtoc se encuentra a 5 Km del camino más cercano por el cual se podrá acceder al lugar del proyecto para la ejecución del mismo.

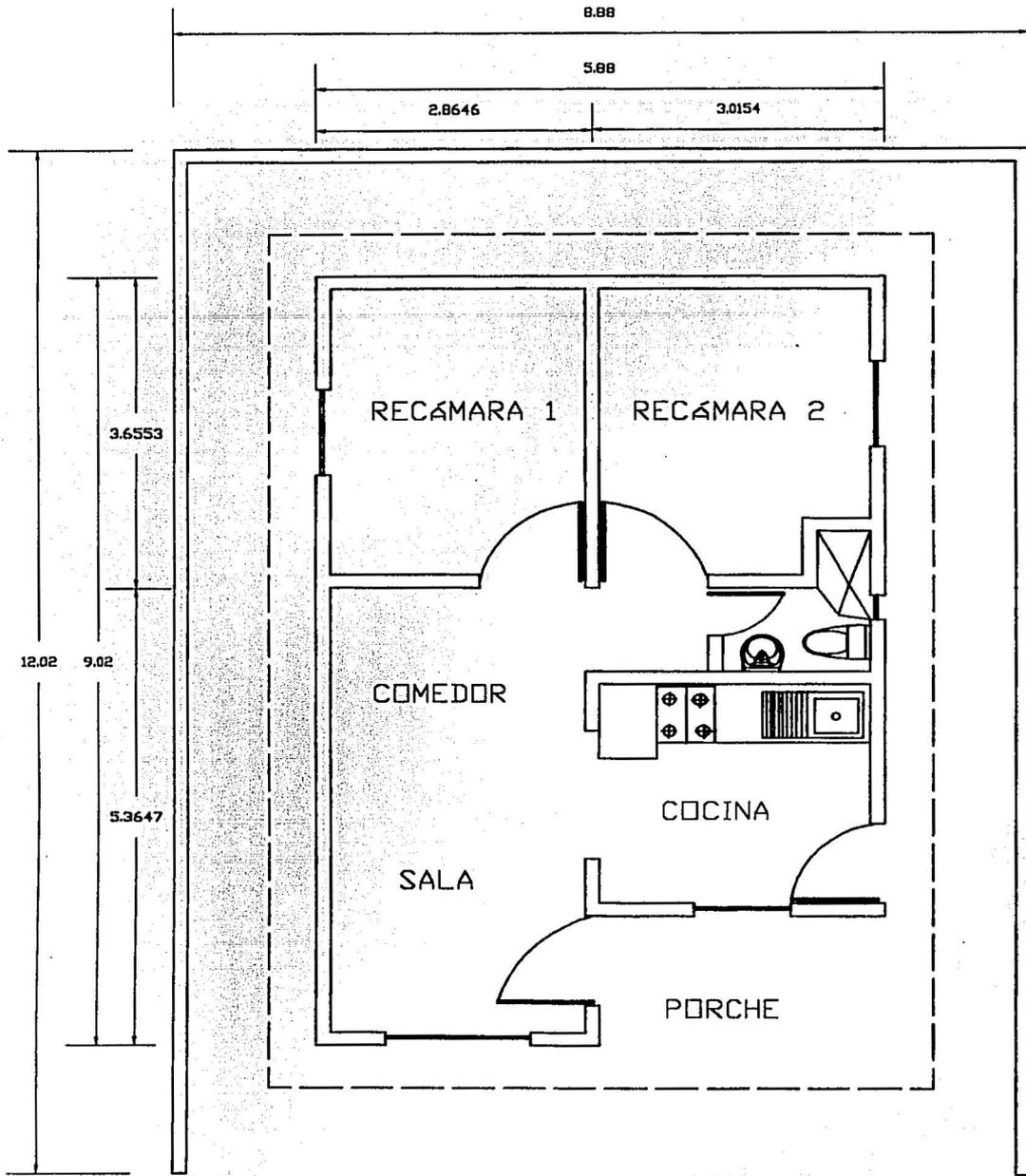
Se tienen que considerar estas distancias sobre todo para cuestiones económicas.

CARACTERÍSTICAS DE LA CASA RURAL

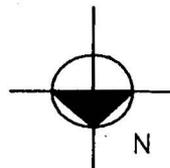
Superficie del terreno: 106.74 m²
 Superficie de construcción: 53.04 m²

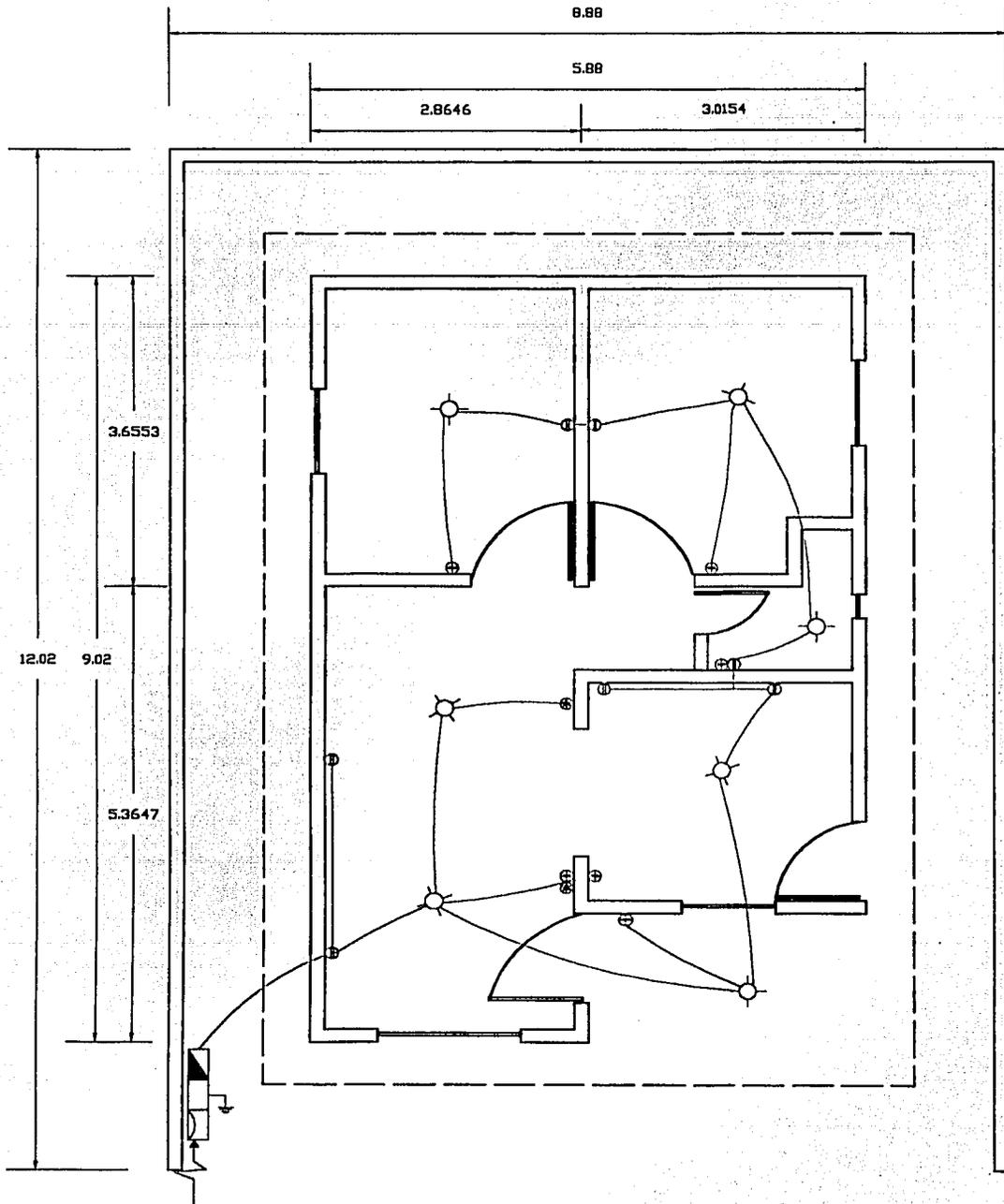
Consta de dos recamaras, sala comedor, 1 baño, cocina y 1 pórtico.

Superficie de 68.94 m² azotea para aprovechamiento de irradiación solar, es decir considerando una superficie horizontal, sin embargo la casa esta a dos aguas constando únicamente de una planta baja única.

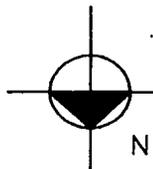


PLANTA CASA RURAL





INSTALACION ELÉCTRICA CONVENCIONAL



Consideramos que la construcción es realizada a través de un proceso constructivo tradicional tomando en consideración materiales y elementos de la misma región, el piso es de concreto, muros de tabique rojo recocido, la bóveda o losa, de vigas de madera, con tabique rojo recocido, con terminación de la techumbre de teja de barro.

CUADRO DE CARGAS			
Circuito			TOTAL
Nº	100 W	180 W	Watts
C1	7	7	1960.

Nota: Ver plano de instalación eléctrica convencional.

Cálculo de los conductores eléctricos, para circuitos derivados.

Datos:

W= 2000 Watts

En= 127 Volts

Solución:

Como las cargas son monofásicas y la suma total no sobre pasa el valor de 4000 watts el sistema escogido debe ser de un monofásico a dos hilos (1φ-2h) por tanto consideramos las siguientes fórmulas

$$I = \frac{W}{En(\text{Cos}\phi)}$$

Cos φ= Factor de potencia 0.85

$$I = \frac{2000}{127(.85)} = 18.52A$$

Factor de utilización (0.70)

$$18.52 (0.70) = 12.964 A \text{ ó } 13 A$$

Para esta corriente con un circuito que trabaje a 15 A, se utilizara un conductor TW # 14.

Cálculo por caída de tensión:

$$e\% = 2\% \quad E_n = 2.54$$

$$S = \frac{4LI}{E_n e\%} = \frac{4 \times 6 \times 15}{127 \times 2.54} = 1.11 \text{ mm}^2$$

Se obtiene un calibre # 14 TW.

IV.3.- DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

El dimensionado debe abordarse antes de comenzar el cálculo de cada elemento, en función de la necesidad razonable del usuario, capacidad económica de éste y preferencias determinadas, siendo imprescindible que el proyectista recoja toda la información posible directamente de quienes van a ser los que disfruten la instalación, tratando de satisfacer sus requerimientos hasta el límite de lo posible.

Ahora obtendremos el dimensionado del sistema fotovoltaico partiendo de los siguientes puntos.

a) Datos de ubicación:

Ubicada en el pueblo de Jaloxtoc, en el Estado de Morelos, perteneciente al Municipio de Ayala. Titular: Sr. Jacinto López Sánchez

b) Superficie útil de la vivienda:
53.04 m²

c) Número de usuarios:
Dos adultos y tres niños

d) Meses de utilización al año:
12 meses

e) Días de utilización a la semana:
7 días.

f) Periodo de utilización máximo y mínimo:
En invierno se utilizará más la iluminación y en verano se utilizará más el refrigerador.

g) Consumos no periódicos:
Al existir estos tener cuidado con el consumo en watts que se sobrepasan así como la descarga del banco de baterías, en este caso no se presentarán consumos no periódicos.

- h) Observaciones:
Indicaciones de usuario, preferencias, grado de atención que va a prestar al control de los consumos.

Para el dimensionado se deben considerar puntos de iluminación con lámparas fluorescentes compactas de 13W y 9W como se muestra en la siguiente tabla:

TABLA 4.3.1. CONSUMOS MEDIOS DIARIOS

CONCEPTO	POTENCIA	TIEMPO	CATIDAD	CONSUMO
	W	Hrs	Pzas	W.h
Sala comedor (2 puntos de luz 13 W)	13	6	2	156
2 Dormitorios (2 puntos de luz de 9W)	9	3	2	54
1 Baño (1 punto de luz de 13 W)	13	3	1	39
1 Cocina (1 punto de luz de 13 W)	13	3	1	39
1 Portico (1 punto de luz de 13 W)	13	2	1	26
1 Refrigerador	75	12	1	900
1 T.V.	50	5	1	250
1 Radio	30	5	1	150
Varios	20	3	1	60
	236			1674

La hoja de datos de consumos representa el punto de partida para el cálculo de la instalación.

Aunque la potencia total obtenida sumando las potencias individuales de los aparatos resulta ser de 236 W, nunca van a estar todos simultáneamente activos, debido que la potencia punta es menor proponiendo 200 W, 84% de la potencia obtenida.

- Potencia de consumo simultáneo 200 W
- Necesitamos un convertidor.
- Tensión elegida de consumo para el convertidor de 24V

Es difícil saber el tiempo del motor del refrigerador permanece funcionando a lo largo de 24 hrs, pues se conecta y desconecta muchas veces, es preciso estimarlo aproximadamente.

Los usuarios de la instalación deben de ser conscientes desde el primer momento de lo importante que es respetar los valores de consumo previstos, de ser posible tendrán que checar estos consumos físicamente, aunque se parte que son datos que son proporcionados por el usuario.

Para servir de base al cálculo de la instalación han de tomarse, pues los consumos del mes más desfavorable del año, entendiendo como tal que el cociente entre la energía solar incidente y la energía consumida alcance el valor más bajo. En muchos casos el mes suele ser el de Diciembre.

El cálculo del calibre de los conductores para la instalación interior de la casa, ya no será necesario hacerlo puesto que con el calibre seleccionado para una instalación eléctrica convencional (Ver página 81) podrá trabajar sin ningún problema cuando llegue la red del suministro eléctrico convencional.

IV.4.- CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD Y DETERMINACIÓN DEL ACUMULADOR.

Lo primero que se determina como paso previo al cálculo del acumulador de una instalación, es el número de días de autonomía N .

En el caso que tratamos y considerando las características climatológicas del lugar se consideró el valor de $N=6$ días

Partiendo de las siguientes fórmulas:

$$E = \frac{Et}{R} \qquad R = 1 - \left[(1 - K_b - K_c - K_v) K_a \cdot \frac{N}{Pd} \right] - K_b - K_c - K_v$$

Et = Consumo medio diario de energía

E = Energía que se requiere diariamente

R = Factor de rendimiento de la instalación

K_b = Coeficiente por pérdidas por rendimiento en el acumulador

K_a = Coeficiente de auto descarga

K_c = Coeficiente de pérdidas en el convertidor

K_v = Coeficiente que agrupa otras pérdidas.

P_d = Profundidad máxima de descarga admisible.

$$R = 1 - \left[(1 - 0.05 - 0.2 - 0.15) 2 \times 10^{-3} \cdot \frac{6}{0.8} \right] - 0.05 - 0.2 - 0.15$$

$$R = 0.591$$

$Et = 1674$ W.h. (De la Tabla de consumos medios diarios)

$$E = \frac{1674}{0.591}$$

$$E = 2832.48 \text{ W.h/día}$$

La capacidad útil del acumulador ha de ser:

$$C_U = EN$$

$$C_U = (2832.48)6 = 16,995.W.h$$

E= 2832.48 W.h/día

N= 6 días de Autonomía

Y trabajando a una tensión de 24 V, expresando dicha capacidad en A.h. se obtiene.

$$C_U = \frac{16995}{24} = 708.125 A.h$$

La capacidad nominal sería:

$$C = \frac{C_U}{P_d} = \frac{708.125}{.80} = 885.16 A.h$$

Seleccionando baterías 220 A.h se obtienen 4 Baterías. (Ver Tabla A.2. de los Anexos)

-CÁLCULO DE LAS POTENCIAS DE LOS PANELES

Buscar la energía H en el mes más desfavorable consultando la (Tabla A.3. de los Anexos) en el mes de diciembre se obtienen los siguiente datos. 14.9 MJ/m² promedio de irradiación global diaria lo equivalente en 4.14 Kw.h (1kw.h=3.6MJ)

El valor de H= 4.174 Kw.h ó 14.9 MJ

$$H.S.P.=0.2778KH$$

H.S.P.= Horas de sol pico

K= Factor de corrección para superficies inclinadas 15° más que la latitud para instalaciones que deben funcionar durante todo el año (Ver tabla A.4. de los Anexos) k= 1.13

Sustituyendo valores:

$$H.S.P.= 0.2778(1.13)14.9$$

$$H.S.P.= 4.67$$

El valor de E obtenido anteriormente es la energía que debe entrar a través de los bornes del acumulador, la cual tiene su origen en los paneles. Sin embargo entre los paneles y los acumuladores suele estar un regulador que disipa la energía en forma de calor o bien corta el suministro durante ciertos periodos por lo que la cantidad diaria que pueden producir los paneles E_p debe ser siempre superior a E .

Es difícil evaluar con precisión las pérdidas del regulador, ya que estas dependen del estado de carga de la batería, que a su vez depende del perfil de consumo diario. Así evidentemente en aquellos momentos en que la batería esta totalmente cargada, el regulador no dejará pasar ninguna energía. Por término medio, consideramos que un 10% de la energía que produzcan los paneles va a ser disipada en el regulador y no se convertirá en energía útil

En las épocas del año más favorables, las baterías se encuentran en un estado de máxima carga durante parte del día y por lo tanto, la energía sobrante que podrían teóricamente producir los paneles sería disipada en el regulador, elevando a bastante mas del 10% el valor del factor de perdidas que hemos considerado. Sin embargo como el periodo que nos sirve de cálculo es el mes de Diciembre que es el mas desfavorable, en el que el estado de carga se alcanzara muy pocas veces, el regulador no desaprovechara mucha energía y puede ser aprovechable tomar un rendimiento del 90%.

Por tanto:

$$E_p = \frac{E}{0.9} \quad E_p = \frac{2833}{0.9} = 3148 \text{ W.h}$$

El número de paneles se obtiene con la expresión:

$$N^{\circ} \text{ Paneles} = \frac{E_p}{0.9P(H.S.P)}$$

En donde P = Potencia típica del módulo fotovoltaico (ver tabla 4.5.1.1)

Sustituyendo valores:

$$N^{\circ} \text{ Paneles} = \frac{3148}{(0.9)(100)(4.67)} = 7.48$$

Se requieren 8 paneles de 100W cada uno, lo que supone una potencia total instalada de 800W. (Conectando un grupo en paralelo con dos paneles en serie 24V. Figura 4.1.)

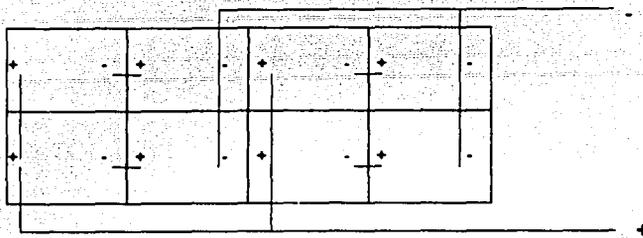


Figura 4.1 Conexión a 24V

DIMENSIONADO DEL REGULADOR.

Para instalaciones fotovoltaicas de baja potencia y que no sufran grandes cambios de temperatura ambiente, los reguladores tipo shunt suelen ser los más empleados, debido a su bajo costo.

Para sistemas de mayor potencia y situados en lugares en los que se puedan producir grandes variaciones de temperatura, los reguladores deberán tener un sensor de temperatura que corrija la tensión. En este caso, hay que tener en cuenta que la tensión máxima d carga de la batería deberá estar por encima de la tensión de gasificación, para que se logre una mayor carga y disminuya la estratificación del electrolito. La tensión de reconexión se deberá elegir entre 2 V y 2.1 V por elemento, de forma que el relé de conexión no tableteé excesivamente pero tampoco permita que la batería sufra ciclos profundos al abastecer al consumo, ya que disminuye su vida de funcionamiento.

En general la elección del sistema de regulación para una instalación fotovoltaica debe asegurar que el dispositivo seleccionado cubra como mínimo las siguientes funciones:

- Protección de la batería contra sobrecarga.
- Protección de la batería contra descargas excesivas mediante desconexión automática de la carga.
- Reconexión automática o manual.
- Sistema de alarma por baja carga de la batería.
- Desconector manual de alarma, que se conecte automáticamente al subir de nuevo la carga de batería por encima de un valor fijado.

Además sería recomendable que llevase incorporado:

- Contador de amperios-hora producidos por el campo de paneles.
- Contador de amperios-hora consumidos por la carga.

Es muy conveniente que el regulador esté instalado de tal forma que produzca la desconexión automática de la carga cuando la tensión en los bornes de la

batería sea la correspondiente al 70% de la profundidad máxima de descarga admisible y el aviso acústico, al 50%. Además se debe cuidar que la tensión de rearme (o reconexión) sea superior a la tensión nominal de la batería.

El dimensionado del sistema de regulación se debe realizar con un factor de seguridad tal que entre la potencia máxima producida por el campo de paneles y la potencia máxima del regulador haya un 10% como mínimo.

En general se debe procurar que el número de reguladores sea el mínimo posible, y si fuera necesario mas de uno, el número de éstos se obtendrá mediante la expresión:

$$Nr = \frac{N_{pp} I_p}{I_r}$$

Nr= Número de reguladores

Npp= Número de paneles en paralelo (Ver figura 4.1)

Ip= Intensidad pico del panel seleccionado. (Ver tabla 4.5.1)

Ir= Intensidad máxima que es capaz de disipar el regulador. (Ver tabla 4.5.2)

$$Nr = \frac{4 \times 8.33}{15} = 2.22$$

Si el valor de Nr es un número no entero, el número de reguladores será igual al número entero inmediato superior. ∴ Nr= 3

DIMENSIONADO DEL CONVERTIDOR.

Las características que definen un convertidor de CC-CA son:

- Tensión nominal de entrada.
- Potencia nominal
- Tensión de operación
- Tensión nominal de salida
- Eficiencia.

La tensión de entrada en un convertidor situado en una instalación fotovoltaica no va ser siempre constante, por lo cual el aparato seleccionado debe ser capaz de transformar distintas tensiones continuas dentro de un rango de operación del orden de un 15%. El valor nominal es un valor de referencia dentro del intervalo de actuación, que sirve para identificar el tipo de convertidor.

En cualquier instalación el convertidor tiene que actuar por encima de su potencia nominal durante un cierto intervalo de tiempo, como por ejemplo en la puesta en marcha de un motor, con lo cual estaría sometido a una sobrecarga.

La variación de la tensión de salida no deberá ser superior a un 5% de la tensión nominal de salida para convertidores de onda senoidal y un 10% para convertidores de onda cuadrada.

Todos los convertidores producen un tanto por ciento de su potencia con frecuencias diferentes de la nominal, este parámetro se denomina distorsión de armónicos y podemos aceptar un valor alrededor del 3% en todo el rango de potencias de salida para factores de potencia comprendidos entre 0.8 y 0.9 para convertidores de onda senoidal y de un 33% para convertidores de onda cuadrada.

La eficiencia del convertidor, definida como la relación entre la potencia que éste entrega a la utilización y la potencia que el convertidor extrae de los paneles o del sistema de acumulación, en función de la carga, tendrá como mínimo los valores representados en la siguiente tabla. (para factores de potencia comprendidos entre 0.8 y 0.9)

Carga en % de potencia nominal	Eficiencia
10	60
20	70
30	75
40	80
>40	85

La potencia de entrada (P_e) del convertidor se calculará mediante la expresión

P_s = Potencia de salida (Ver tabla 4.3.1 en la columna de Potencia 236W + 6% = 250W)

η = Eficiencia. (Ver tabla 4.5.3)

$$P_e = \frac{P_s}{\eta}$$

$$P_e = \frac{250}{.85} = 300W$$

El convertidor seleccionado incorpora un automatismo de desconexión por falta de carga y estará protegido contra:

- > Cortocircuitos
- > Sobrecarga
- > Inversión en polaridad en alimentación

La resistencia al cortocircuito del convertidor será tal que se garantice su desconexión automática, y la sobrecarga admisible del convertidor asegure el buen funcionamiento de la instalación.

SECCION DEL CONDUCTOR.

Respecto al cableado de la instalación es muy importante minimizar todo lo posible la longitud del cable a utilizar, procurando para ello que las distancias entre los paneles y el regulador, la batería y el inversor sean lo menor posible.

Las secciones de los cables se deben elegir de forma que las máximas caídas de tensión en ellos comparadas con la tensión a la que estén trabajando estén por debajo de los siguientes límites.

Tramo	%
Paneles-Acumulador	1
Acumulador -Convertidor	1

$$S = \frac{4LI}{Ene\%} = \frac{4(10)10.42}{24(0.48)} = \frac{416.80}{11.52} = 36.18mm^2$$

S= Sección transversal o área de los conductores eléctricos expresada en mm² (área del cobre sin aislamiento).

L= Distancia expresada en metros desde la toma de corriente.

En= Tensión o voltaje al cual se esta trabajando. (24V)

e%= Porcentaje de la caída de tensión. (2%En)= 0.48

$$I = \frac{250W}{24V} \text{ (Ver tabla 4.3.1 en la columna de Potencia } 236W + 6\% = 250W) = 10.42$$

Consultando los anexos la tabla A.1. correspondiente al área del conductor tenemos que un cable calibre 2 con un área total de cobre sin aislamiento de 43.24 mm² y con aislamiento igual a 89.42 mm², cumple estos requisitos.

IV.5.- ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD

El concepto de factibilidad de una instalación fotovoltaica adquiere matices distintos al de cualquier otra instalación energética.

En el caso de una instalación fotovoltaica, no siempre resulta posible cuantificar en términos económicos la rentabilidad que ésta produce, pues el factor económico no es el principal determinante para decidirse o no por su realización. Pensemos por ejemplo, que el hecho en si mismo, de satisfacer las necesidades básicas de electricidad de una familia de agricultores, o el de dotar de iluminación las viviendas de millones de personas en países del Tercer Mundo,

debe constituir un objetivo prioritario, que trasciende cualquier consideración meramente económica.

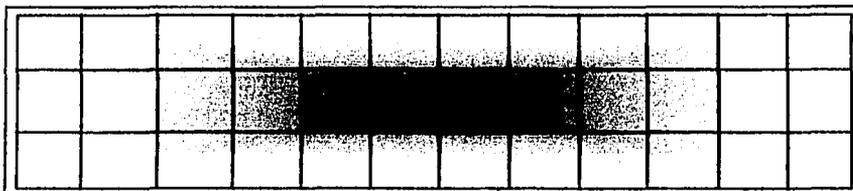
Por otra parte existen otros casos como señalizaciones marinas o en lugares remotos, en que no existe ninguna otra alternativa viable para producir electricidad de forma segura y duradera, por lo que no es posible efectuar comparaciones de costos con otras energías convencionales.

En la valoración de la energía fotovoltaica es preciso tener en cuenta el factor de calidad más el factor de cantidad. En efecto, en la mayoría de las aplicaciones habituales se habla de consumo en W.h y de potencia en W, mientras que estamos acostumbrados a hacerlo en k.W.h y kW cuando nos referimos a consumos de energía eléctrica proveniente de la red general.

Un típico hogar de clase media urbana puede consumir al mes varios cientos de Kw.h de electricidad sin que parezca exagerado, mientras que una vivienda alimentada exclusivamente por energía solar no puede permitirse consumir apenas una décima parte, debiendo reducir el consumo al máximo posible.

La razón de esto es simple: el momento actual el costo de los equipos fotovoltaicos (principalmente el de paneles y acumuladores) no permiten todavía su utilización masiva y en suficiente número para producir altas potencias. Probablemente el valor de la energía eléctrica que un panel de tipo medio es capaz de generar durante la totalidad de su vida (20 o 25 años como mínimo), no llegue a compensar su propio costo, si se valora dicha energía con el precio de tarifa de la compañía eléctrica.

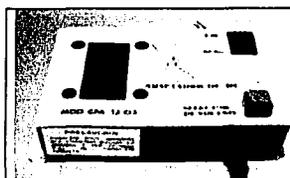
IV.5.1.- ASPECTOS TÉCNICOS.



**TABLA 4.5.1.1 MÓDULO FOTOVOLTAICO
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Y FÍSICAS**

Concepto	Modelo SM -100
Potencia típica	100 W
Corriente a la carga	8.33 A
Voltaje a la carga	12 V
Longitud	115 cm
Ancho	70cm
Espesor	5.0 cm
Peso	10 kg.

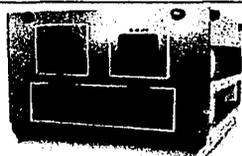
TABLA 4.5.1.2. REGULADOR SHUNT



ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Y FÍSICAS

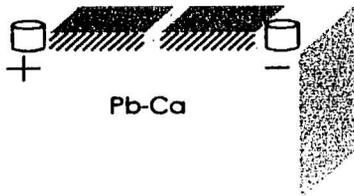
Concepto	Modelo SM -100
Voltaje Nominal	12 V
Corriente máxima de los módulos	15 A
Corriente máxima a las cargas alimentadas	20 A
Voltaje máximo permisible	26 V
Largo	215 mm
Ancho	77 mm
Espesor	52 mm
Peso	410 gr

TABLA 4.5.1.3 CONVERTIDOR CD/CA



ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Y FÍSICAS

Concepto	Modelo SM -100
Voltaje de entrada	24 V C.D. nominales
Voltaje de Salida	127 V regulados, onda cuadrada
Frecuencia	60 HZ \pm 3%
Potencia máxima	400 W continuos
Eficiencia	85% a carga total
Largo	160 mm
Ancho	130 mm
Espesor	130 mm
Peso	3,850 gr.



**TABLA 4.5.1.4 ACUMULADOR PLOMO CADMIO (Pb-Ca)
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Y FÍSICAS**

Concepto	Modelo TROJAN T-105
Tensión Nominal	12V
Capacidad	220 A-h (200 horas a 25°C)
Regulación de tensión	1.25 V a 20°C
Autodescarga	4 A.h por mes a 20°C
Largo	378mm
Ancho	178 mm
Alto	190 mm
Peso	25Kg

IV.5.2.- ASPECTOS ECÓNOMICO FINANCIERO.

TABLA 4.5.2 COSTO DEL SISTEMA

Nº de Orden	Cantidad	Unidad	Concepto	P.U.	Parcial
1	8	Pzas	Módulo Fotovoltaico de 100 W compuesto de 36 células de silicio monocristalino	\$8,500.00	\$68,000.00
2	4	Pzas	Acumulador Trojan Pb-Ca de 220 A.H y 12 Volts	\$1,200.00	\$4,800.00
3	3	Pzas	Regulador CMCX 24/15/20F con accs	\$630.00	\$1,890.00
4	1	Pzas	Inversor CD/CA ICX 24/400, 24 V	\$970.00	\$970.00
5	24.5	m	Cable del Nº 2 de Cu	\$9.50	\$232.75
6	5	Pzas	Lámpara CL-13 W	\$230.00	\$1,150.00
7	3	Pzas	Lámpara CL-9W	\$220.00	\$660.00
8	5	Pzas	Balastro 13 W	\$120.00	\$600.00
9	2	Pzas	Balastro 9W	\$110.00	\$220.00
10	2	Pzas	Conexión para borne de acumulador de 10 mm diámetro	\$5.00	\$10.00
11	2	Pzas	Soporte de aluminio p/4 módulos	\$580.00	\$1,160.00
12	4	Pzas	Juego de escuadra p/módulo	\$110.00	\$440.00
lote de materiales Mano de Obra Total IVA TOTAL					\$80,132.75
					\$801.33
					\$5,609.28
					\$86,543.37
					\$12,981.51
					\$99,524.88

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Considerando el total de la instalación, se ha llegado a un acuerdo con la empresa que hará la instalación al tener un pago de contado, se realizará un descuento del 15% del monto total.

Considerando que el gobierno pagará el costo de contado, financiándole al usuario el 60% de la cantidad, y el 40% por parte del usuario en módicos pagos.

Cantidad con pago de contado =	\$84,596.15
60% cubierto por el gobierno local =	\$50,757.69
40% cubierto por el usuario =	\$33,838.46

Aunado a esto el usuario podrá realizar este pago realizando pagos de \$281.99 mensuales durante los próximos 10 años.

Teniendo en mente que el proyecto tiene una vida útil mayor de 25 años antes de realizar algún mantenimiento de consideración en la instalación, tiene la posibilidad de que en determinado momento pueda conectarse a la red eléctrica para vender el excedente de energía eléctrica producida, teniendo un excelente beneficio.

IV.6.- EJECUCIÓN Y MONTAJE DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.

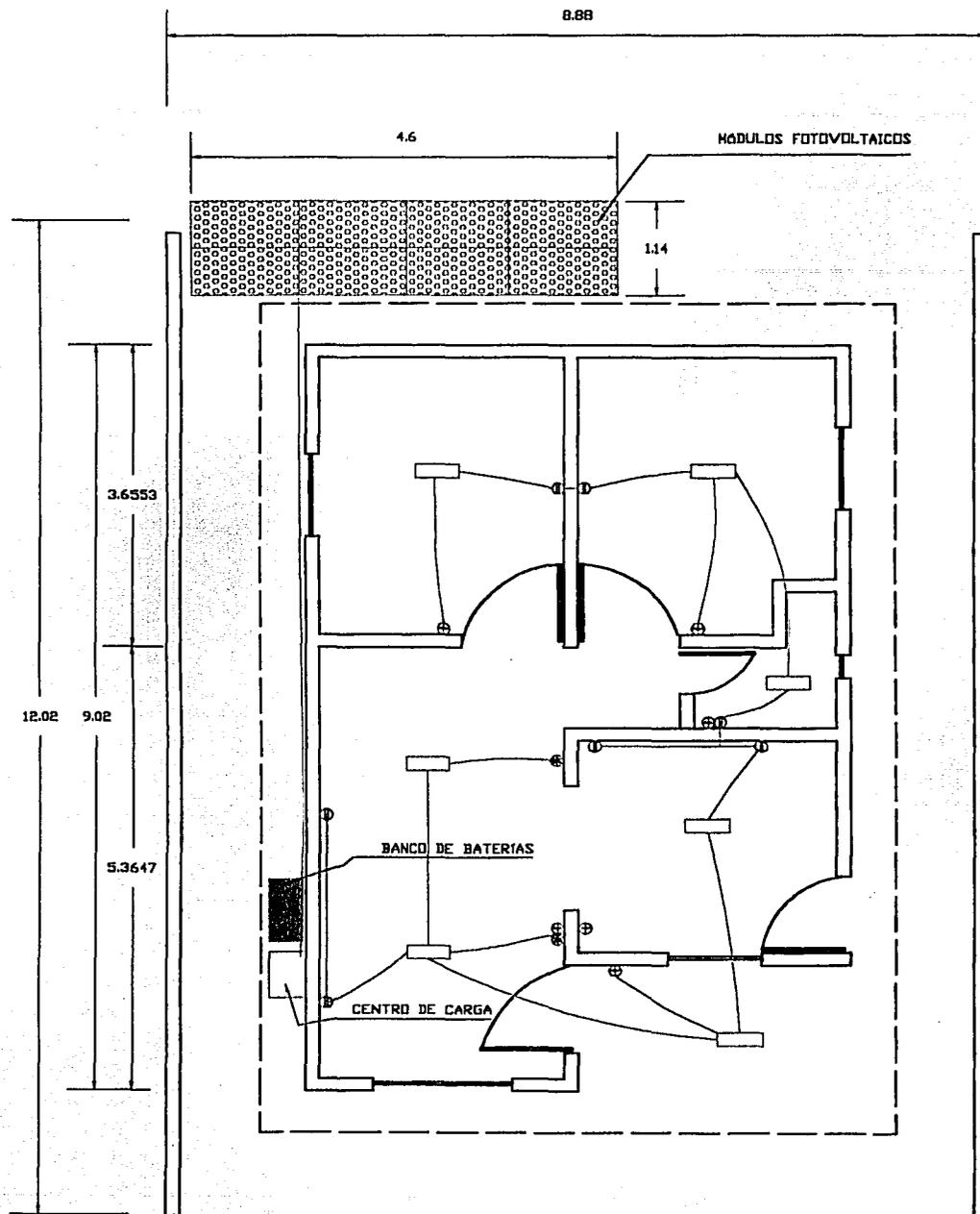
PROCESOS PREVIOS AL INICIO DE LA INSTALACIÓN.

Es imprescindible una visita previa del instalador al lugar, a fin de marcar la ubicación exacta de cada elemento de la instalación y proceder al trazado de las trayectorias que seguirán los cables.

A veces hay que cambiar sobre la marcha algún aspecto menor del proyecto, al comprobar que existe una dificultad. Por ejemplo una pared de poca consistencia no es adecuada para soportar sobre ella un cuadro de mandos, o una cubierta inadecuada para recibir los anclajes de la estructura de los módulos.

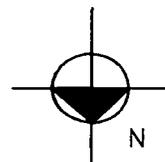
Una de las decisiones más delicadas es la ubicación de los acumuladores, que si no pueden disponer de un cuarto o caseta para ellos solos, que es lo ideal, deben estar en una habitación ventilada, fuera de las zonas de utilización habitual por el usuario.

Cuando la instalación se va a realizar en un lugar apartado, y está es pequeña, a veces se prescinde de esta primera visita, para no ocasionar un costo adicional y los montadores se desplazan con todo el material y equipo necesario para realizar la instalación (a veces en un solo día), debiendo entonces decidir toda la distribución y trazado en el momento. Aun así, conviene no precipitarse y examinar detenidamente todas las posibilidades antes de comenzar los trabajos. A veces, perder una o dos horas efectuando medidas, comprobando sombras, buscando lugares idóneos, etc. es mas rentable que precipitarse y darse cuenta



INSTALACION ELÉCTRICA SISTEMA FOTOVOLTAICO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



más delante de que se podrían haber ahorrado metros de cable si la distribución hubiera sido distinta.

Todas las partes de la instalación que puedan ser montadas en taller, como cuadros de mando, conexiones de diversos aparatos, e incluso acoplamiento de varios módulos en un solo panel estructural, deberán transportarse a la obra ya preparadas.

PLANIFICACIÓN DEL PROCESO DE MONTAJE DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS.

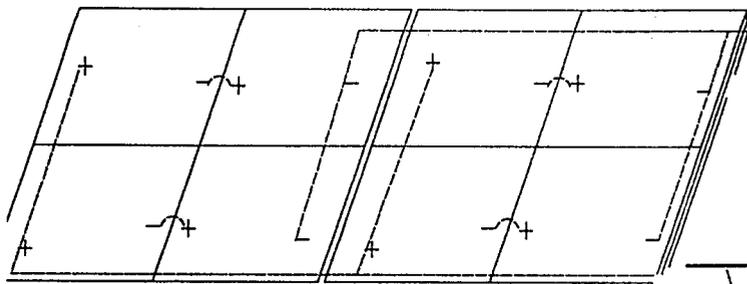
Debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) Un diseño correcto es imprescindible y condiciona el montaje. Por perfecta que sea la ejecución del montaje de la instalación, si el dimensionado y selección de los materiales y equipos no son los adecuados, ésta no funcionará correctamente o aparecerán fallas en poco tiempo
- b) No existe un proceso único de montaje, aunque determinadas fases del mismo deben ser ejecutadas previamente a otras

Fases del proceso de montaje:

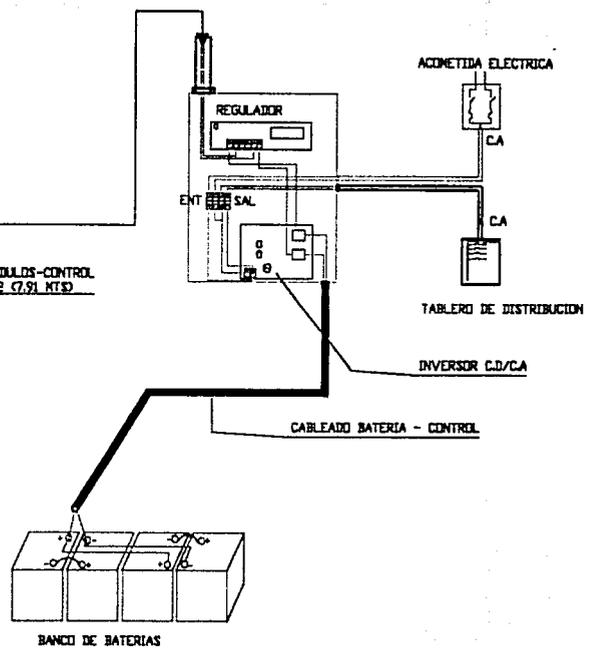
- Montaje de la estructura soporte y colocación de los módulos.
- Conexión de los módulos.
- Montaje de la batería de acumuladores.
- Montaje del cuadro eléctrico, regulador y accesorios.
- Cableado de la instalación
- Pruebas y verificación: puesta en Marcha.

ARREGLO DE MODULOS FOTOVOLTAICOS

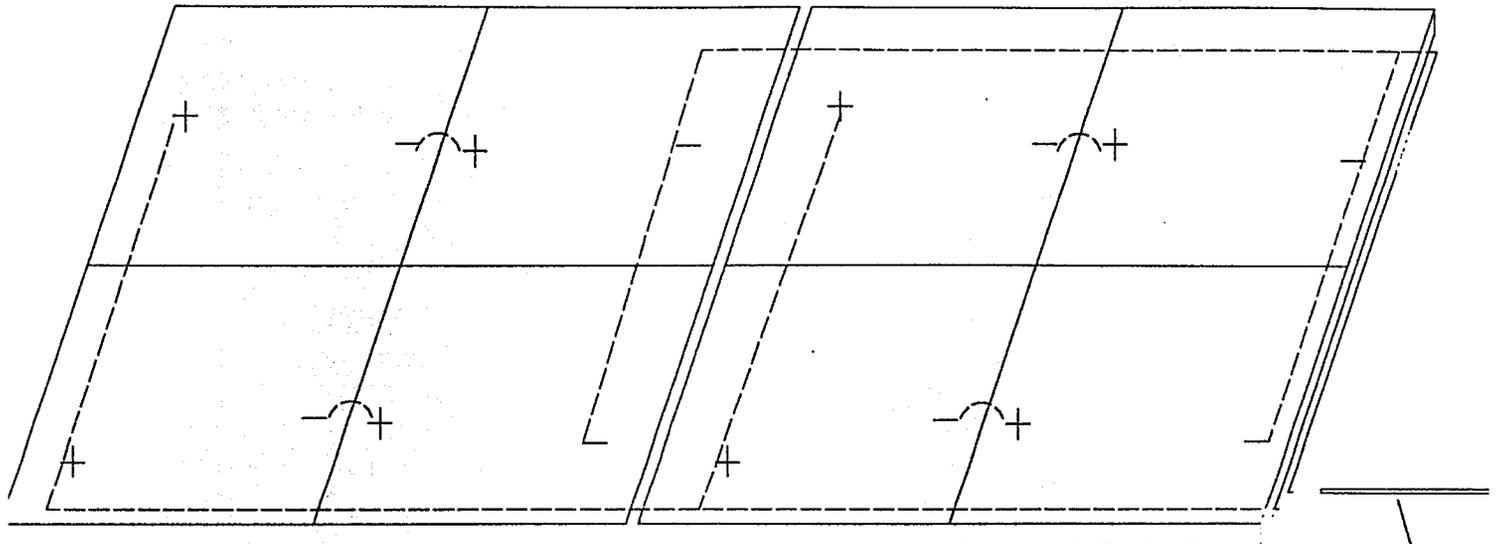


ARREGLO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

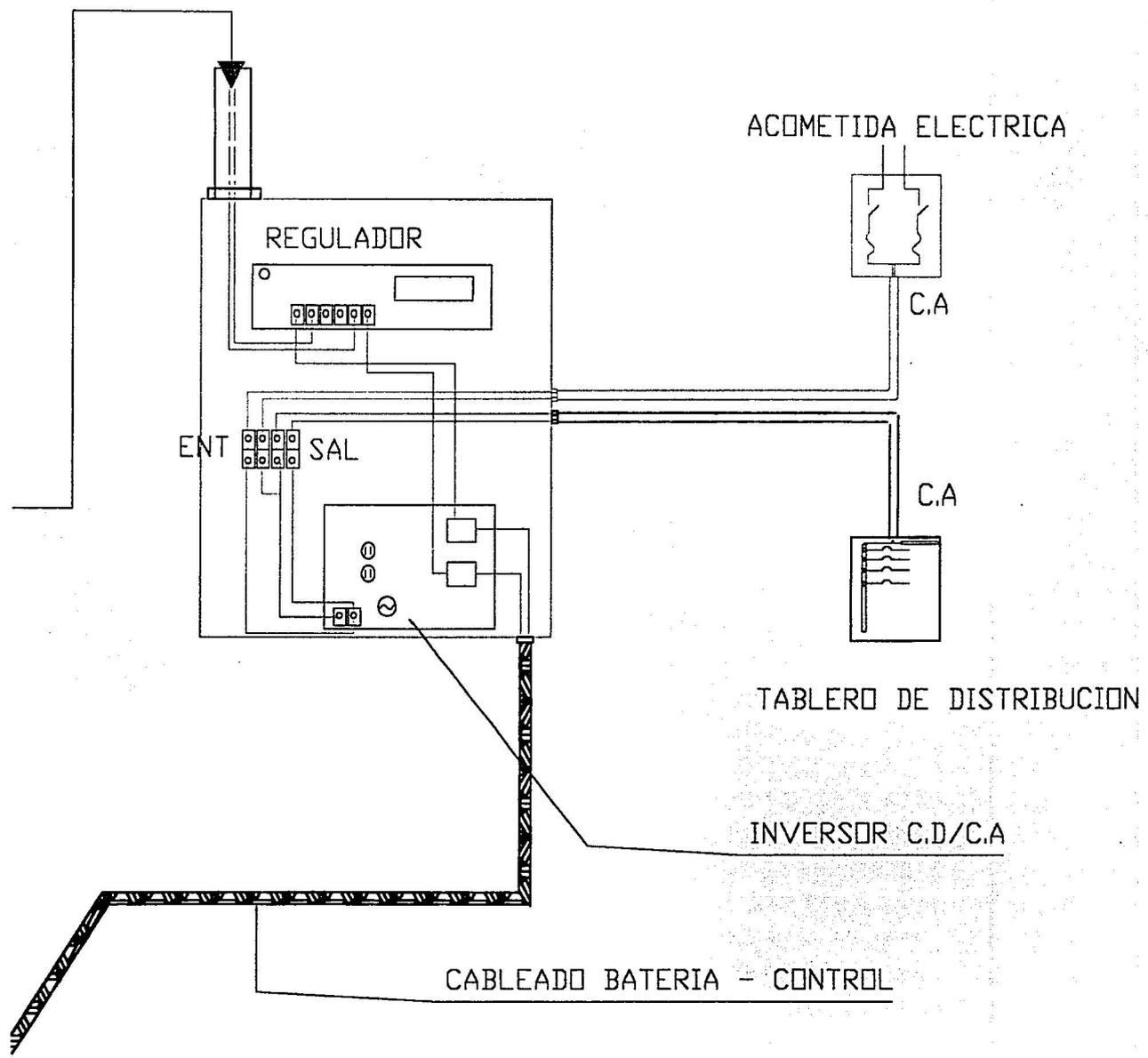
CABLEADOS MODULOS-CONTROL
2 CABLES Nº 2 (7.91 MTS)



ARREGLO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS



ARREGLO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO



REGULADOR

ENT SAL

ACOMETIDA ELECTRICA

C.A.

C.A.

TABLERO DE DISTRIBUCION

INVERSOR C.D./C.A.

CABLEADO BATERIA - CONTROL

CAPÍTULO V

V.- RELACIÓN ENTRE SISTEMAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

V.1.-CARACTERÍSTICAS GENERALES.

Un sistema fotovoltaico se puede emplear en una aplicación dada por una o varias razones:

- Su instalación es muy rápida. Un sistema fotovoltaico puede transportarse y estar en operación en menos de una semana, mientras que extender la línea eléctrica puede llevar meses.
- Su costo (inversión + Operación) es menor que extender la línea eléctrica hasta el lugar donde se localiza la aplicación. Un kilómetro de línea eléctrica de media tensión cuesta entre \$90,000 a \$ 180,000 dependiendo de las características del entorno. Por cada Kilómetro de línea eléctrica se paga el costo de un sistema fotovoltaico con capacidad de 3 Kw/día.
- Su costo es menor que operar un equipo electrógeno (diesel o gasolina). Aún cuando la inversión inicial de un sistema fotovoltaico puede ser más alta que un generador diesel o gasolina, el ahorro en el combustible y en el mantenimiento hacen más rentable al sistema fotovoltaico en aquellas aplicaciones donde la carga eléctrica es menor a 10Kw-H/día
- La instalación fotovoltaica tiene un impacto mínimo en la ecología del sitio. En comparación extender un línea eléctrica puede significar derribar decenas de árboles. Por otra parte la quema de combustible produciría un impacto ambiental considerable.

APLICACIONES.

Las Aplicaciones actuales de los sistemas fotovoltaicos, justificadas técnica y económicamente dentro del marco descrito son variadas y cada día más abundantes:

APLICACIONES PROFESIONALES.

- Repetidores de Radiocomunicación en sitios remotos, en VHF, UHF y microondas, para usuarios tales como Compañías telefónicas, servicios de radiocomunicación interna en organismos como compañías eléctricas, Seguro Social, Compañías petroleras, Telefonía celular, Etc.

- Equipos de telemando en aplicaciones tales como estaciones meteorológicas, supervisión y seccionalización de líneas eléctricas de transmisión, gasoductos y oleoductos; plataformas marinas petroleras, etc.
- Señalización en cruces de ferrocarriles con carreteras.
- Señalización de emergencia en carreteras, para aviso de desviación o cortes en las mismas.
- Señalización marítima de boyas y balizas de canales de navegación, muelles, etc.
- Luces de obstrucción para torres o estructuras metálicas tales como las usadas en líneas de transmisión, edificios, etc.

APLICACIONES SOCIALES Y COMUNITARIAS.

- Centro de Salud en comunidades rurales, con servicios de iluminación, radiocomunicación, equipos médicos eléctricos para auscultación y tratamiento, refrigeración de medicamentos y vacunas.
- Plantas Potabilizadoras de agua para comunidades pequeñas y medianas.
- Bombeo de agua para consumo humano.
- Escuelas apoyadas con televisión, computadoras e internet, incluyendo iluminación y otros servicios.
- Radiotelefonía rural enlazada al sistema telefónico Nacional.
- Centros comunitarios de actividad social: iluminación, equipos de altavoz, televisión (cintas de vídeo, recepción de vía satélite)
- Iluminación y entretenimiento de uso doméstico individual.
- Máquinas de coser eléctricas.
- Iluminación de áreas públicas; parques, jardines, etc.

INDUSTRIA AGROPECUARIA Y PESQUERA.

- Bombeo agua para abreviar ganado.
- Refrigeración de productos pesqueros y producción de hielo.
- Iluminación y ordeño en establos lecheros.
- Iluminación y bombeo de agua en granjas avícolas.
- Riego por goteo o aspersion en invernaderos.
- Recirculación de agua en criaderos de camarón, trucha, etc.

USO DOMÉSTICO

- Suministro de electricidad para casa-habitación: iluminación, televisión, equipos de audio, bombeo de agua, lavadoras, etc.

En general todas las necesidades pueden ser cubiertas aunque es preferible (por costo) considerar la refrigeración acorde a este tipo de energía

V.2.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS SOCIALES, TÉCNICAS Y FINANCIERAS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO Vs CONVENCIONAL

VENTAJAS.

1. No requiere combustible, utiliza la luz del Sol como combustible. El sol es una fuente de energía confiable y generalmente de distribución homogénea en todos los sitios.
2. No contamina pues no produce emisiones al medio ambiente, ni siquiera ruido.
3. Bajo o nulo mantenimiento ya que no tiene partes en movimiento sujetas a desgaste o calentamiento. Todos los componentes del sistema (baterías, controles, inversores, etc) pueden diseñarse o seleccionarse para ser compatibles con este criterio.
4. Vida útil mayor a 20 años ya que los elementos y materiales de que están fabricados los módulos solares prácticamente no sufren procesos internos de desgaste.
5. La vida útil larga permite amortizar la inversión a largo plazo.
6. Los sistemas fotovoltaicos pueden crecer de acuerdo a las necesidades del usuario, simplemente añadiendo más módulos solares, sin necesidad de desechar los anteriores. El sistema es modular en incrementos de potencia pequeños (usualmente 50 W)
7. El sistema fotovoltaico puede combinarse con otras formas de generación eléctrica, donde el análisis técnico-económico de la aplicación específica lo justifique. Ejemplo de ellos son los sistemas híbridos con plantas diesel o generadores eólicos.
8. El sistema es relativamente fácil de transportar, ya que ensambla en el sitio.
9. La instalación es rápida debido al concepto de diseño modular.

DESVENTAJAS

El principal inconveniente de los sistemas fotovoltaicos es el costo inicial relativamente alto que conduce a costos de generación de electricidad a lo largo de la vida útil del sistema de \$3.00 a \$5.00 por kilowatt-hora.

Estos costos dependen en gran parte del módulo solar, así que en la medida que bajen los precios de los módulos, bajará también el costo de energía.

Aún con estos costos de energía, los sistemas fotovoltaicos, son rentable en múltiples aplicaciones, donde extender la red eléctrica sea más costosa y donde llevar combustibles convencional es difícil e impráctico, el siguiente ejemplo lo ilustra:

Construcción de la línea de transmisión Lomas de Cocoyoc-Cuautla II en el Estado de Morelos, a 12 Km. de la zona de proyecto.

La contratación se realizó bajo la siguiente información proporcionada por la Comisión Federal de Electricidad:

- a) Características técnicas de la línea de transmisión como; longitud, voltaje de operación y número de circuitos.
- b) Período de ejecución (fecha de inicio y fecha de terminación).
- c) Catálogo de conceptos de trabajo, incluyendo; ingeniería, suministro e instalación de materiales y equipo de procedencia nacional y extranjera; obra civil, capacitación de personal y puesta en marcha en la línea.
- d) Visitas de reconocimiento al sitio de trabajos.
- e) Juntas de aclaraciones.

De acuerdo a lo anterior, se recibieron diferentes propuestas técnico-económicas, que fueron analizadas, seleccionando la más conveniente.

La obra fue contratada por un importe total de \$6,118,358.16, más el IVA correspondiente. El presupuesto contratado quedó desglosado de la siguiente manera:

Ingeniería	8.92
Obra Civil	18.48
Obra Electromecánica	13.79
Suministro de procedencia nacional	27.42
Suministro de procedencia extranjera	31.39
	100 %

Sin embargo una vez realizada la obra, se presentaron diferentes factores que no habían sido considerados en el alcance de los trabajos y que tuvieron que solucionarse, ejecutando trabajos adicionales a un costo acordado, aún cuando el contrato era a Precio Alzado; dichos factores incrementaron el costo de la obra de acuerdo a lo siguiente

CONCEPTO	IMPORTE \$.
Electrificación del Rancho "Las Iguanas"	130,402.73
Construcción de una torre adicional para el cruce con la línea de 230 KV Sistema de subestación-Cuautla II	666,300.53
Construcción de una torre adicional para el cruce con la línea de 230 KV Tecali-Zapata	666,760.53
Construcción de la Bahía de Salida Lomas de Cocoyoc	835,778.60
Construcción de la Bahía de Llegada Cuautla II	877,960.60
Total	3,177,202.99

Por lo tanto el importe total de la obra fue de \$ 9,313,957.27+ IVA, sabiendo que el proyecto tiene 10.5 Km tenemos un costo de **\$887,043.48 /KM.**

Si quisiéramos extender esta misma línea cerca del poblado de Jaloxtoc, que se encuentra a 12 Km tendríamos un costo de **\$10,644,521.00**

TABLA 5.2.1 COMPARATIVA DE SISTEMAS

SISTEMA CONVENCIONAL	SISTEMA FOTOVOLTAICO
Hacer llegar la línea de transmisión tendría un costo de \$10,644,521.00 y solo considerando la línea. Aparte, cada usuario tendría que pagar su instalación eléctrica convencional	Estableciendo el precio para el sistema fotovoltaico para ejercicio realizado tendrá un costo de \$99,524.88 , (Ver tabla 4.5.2) considerando la inversión solo por la línea de transmisión del sistema convencional cubriríamos las necesidades de 107 usuarios con las mismas características, ó establecer un sistema colectivo, que reduciría considerablemente la inversión inicial.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONCLUSIONES

En una vivienda electrificada por la red convencional, ciertos descuidos, como dejar las luces encendidas, abrir constantemente la puerta del refrigerador o mantener la TV funcionando aunque nadie este observándola, solamente suponen un pequeño incremento adicional en el recibo de electricidad. Sin embargo, en el caso de una instalación solar, pueden suponerse el tener que quedarse a oscuras durante varios días.

Podrían existir muchas quejas por parte de los usuarios relativas a la baja carga de la batería, tiene su origen en que por descuido o ignorancia, al pensar que la energía era gratuita e inagotable, consumían inconscientemente mucho más de lo que ellos mismos suponían.

Es preciso informar a los futuros usuarios o personas que se interesen por una instalación fotovoltaica de la limitación de consumo que esta opción conlleva y así evitar anécdotas causadas por un total desconocimiento del tema.

No obstante lo dicho anteriormente, una instalación fotovoltaica, en multitud de casos, es totalmente viable y altamente aconsejable, por las ventajas que representa frente a otras posibles alternativas, sobre todo en zonas rurales, ya que como se mostró anteriormente hacer llegar la red convencional sería muy costoso.

Hablando de este ejemplo el impacto social puede ser muy representativo, ya que sería integrar en cuanto a cultura y nuevas costumbres, una sociedad rural que se encuentra rodeada por grandes zonas urbanas y que cuentan con todos los servicios como lo son Lomas de Cocoyoc, Cuautla y Cuernavaca. No obstante las personas de las zonas rurales rápidamente comprenden el uso de este tipo de energía así como sus limitantes.

En este ejercicio en concreto podría suponerse que es demasiado costoso instalar el sistema fotovoltaico, se hubiera proyectado de tal forma que el sistema trabajará a Corriente Directa y tal vez ahorraríamos en convertidor y algunos reguladores.

El motivo de proyectar el sistema fotovoltaico a Corriente alterna es decir trabajar a 127 Volts de CA, es que así comúnmente se trabaja en las casas habitación de la red convencional. Esto permite establecer una base para futuras líneas de transmisión.

Si establecemos que este sistema tiene un periodo de vida mayor de 25 años, probablemente durante este periodo la red convencional tendrá programado llegar a estos lugares. Y este sistema como se encuentra trabajando a CA, no tendrá ningún problema en interactuar con la red, ya que no quedará obsoleto, al contrario puede funcionar en unión con la red.

Hablando del banco de baterías, puede seguir funcionando sin ningún problema sobre todo como fuente auxiliar, cuando el suministro de red sea interrumpido.

Sobre los módulos ni que decir, pueden suministrar corriente a la red, sin ningún problema.

Al estar hablando que el sistema a futuro puede interactuar con la red, podríamos también pensar que la tecnología de estos sistemas también evolucionará, a tal grado que se abaratarán los costos, y se tendrá mayor captación y almacenamiento de la energía, de tal forma que el usuario podría optar por continuar con el sistema fotovoltaico.

" En este lapso de tiempo pueden ocurrir muchas cosas"

TABLA A.1. ÁREA PROMEDIO DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS DE COBRE SUAVE O RECOCIDO

TIPO	CALIBRE A.W.G. Ó M.C.M.	ÁREA DEL COBRE EN mm ²	ÁREA TOTAL CON TODO Y AISLAMIENTO mm ²	ÁREA TOTAL DE ACUERDO AL CALIBRE Y AL NÚMERO DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS.				
ALAMBRE	14	2.08	8.3	16.6	24.9	33.2	41.5	49.8
	121	3.3	10.64	21.28	31.92	42.56	53.2	63.84
	10	5.27	13.99	27.98	41.97	55.96	69.95	83.94
	8	8.35	25.7	51.4	77.1	102.8	128.5	154.2
CABLES	14	2.66	9.51	19.02	28.53	38.04	47.55	57.06
	12	4.23	12.32	24.64	36.96	49.28	61.6	73.92
	10	6.83	16.4	32.8	49.2	65.6	82	98.4
	8	10.81	29.7	59.4	89.1	118.8	148.5	178.2
	6	12	49.26	98.52	147.78	197.04	246.3	295.56
	4	27.24	65.61	131.22	196.83	262.4	328.05	393.66
	2	43.24	89.42	178.84	268.26	357.68	447.1	536.52
	0	70.43	143.99	287.98	431.97	575.96	719.95	863.94
	2/0	88.91	169.72	339.44	509.16	678.88	848.6	1018.32
	3/0	111.97	201.06	402.12	603.18	804.24	1005.3	1206.36
	4/000	141.23	239.98	479.96	719.94	959.92	1199.9	1439.88
	250	167.25	298.65	597.3	895.95	1194.46	1493.25	1791.19
	300	201.06	343.07	686.14	1029.21	1372.28	1715.35	2058.42
	400	268.51	430.05	860.1	1290.15	1720.2	2150.25	2580.3
500	334.91	514.72	1029.44	1544.16	2058.88	2573.36	3088.32	

TABLA A.2. CAPACIDAD DE ACUMULADORES TROJAN

TIPO	TENSION	CAPACIDAD (Ah)						DIMENSIONES (mm)		
		5 h	10 h	20 h	50 h	100 h	200 h	LARGO	ANCHO	ALTO
3/4 TROJAN 100	6	156	180	198	225	240	252	347	192	357
3/5 TROJAN 101	6	195	225	247	281	300	315	347	192	357
6/2 TROJAN 102	12	42	50	55	62	66	70	343	172	234
6/3 TROJAN 103	12	63	75	82	94	100	105	360	256	290
6/4 TROJAN 104	12	84	100	110	125	133	140	365	212	225
6/5 TROJAN 105	12	105	125	137	156	166	220	378	178	190
6/6 TROJAN 106	12	126	150	165	187	200	235	417	261	240
6/7 TROJAN 107	12	147	175	192	218	232	245	423	268	240

101

TABLA A.3. Irradiación global media en la República Mexicana
Datos en MJ/m2

Estado	Ciudad	Latitud	Núm.	Annual	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
Guerrero	Acapulco	18.6	1	19.0	17.3	19.2	21.8	21.4	20.3	18.5	19.0	19.3	17.8
Aguascalientes	Aguascalientes	21.75	2	20.2	16.2	18.6	21.1	23.8	25.8	22.6	22.1	21.4	20.6
Chiapas	Arteaga	16.2	3	19.3	18.3	19.8	19.9	21.2	20.1	18.7	21.2	19.8	18.5
Campeche	Campeche	19.25	4	17.4	14.3	14.6	19.3	20.9	19.9	17.8	17.5	19.4	18.5
Colima	Colima	19.2	5	17.7	15.0	18.2	19.2	20.8	21.5	18.8	17.7	17.9	18.5
Jalisco	Ocotlán	20.4	6	21.2	16.5	20.4	23.4	27.1	29.0	23.9	20.9	20.3	20.8
Chiapas	Comitán	16.2	7	16.7	14.6	15.8	17.4	17.6	18.2	17.4	19.8	19.9	17.4
Veracruz	Córdoba	18.9	8	13.4	11.0	11.8	12.8	13.8	14.6	15.8	16.4	16.3	14.7
Quintana Roo	Cozumel	20.5	9	16.8	13.9	16.6	18.9	20.4	18.6	17.3	17.5	17.9	16.5
Sinaloa	Chilicán	24.8	10	17.5	13.1	15.1	17.3	19.4	22.4	22.2	19.3	18.2	18.7
México	Chapingo	19.5	11	19.0	16.2	18.4	20.3	21.0	21.4	19.5	18.6	18.6	18.1
Quintana Roo	Chetumal	18.5	12	16.8	14.1	16.9	19.4	20.5	19.1	16.8	17.6	17.9	18.2
Chihuahua	Chihuahua	28.65	13	21.3	14.7	17.8	21.7	26.5	29.6	29.0	24.4	22.3	20.6
Guerrero	Chilpancingo	17.6	14	19.7	14.8	16.2	17.7	19.8	16.7	18.6	18.3	18.2	18.9
D.F.	Distrito Federal	19.5	43	17.7	15.7	16.7	20.7	20.7	20.5	18.4	17.8	17.7	17.0
Durango	Durango	24.1	15	20.6	16.0	19.3	23.3	25.3	26.9	24.5	21.5	20.3	20.5
Jalisco	Guadalajara	20.7	16	20.0	16.6	19.9	22.8	26.5	27.8	21.4	19.1	19.2	18.7
Guanajuato	Guanajuato	21.1	17	19.7	16.0	18.3	21.8	22.5	23.6	21.5	21.5	21.4	20.7
Sonora	Guaymas	27.9	18	21.7	16.2	20.5	23.3	25.8	26.1	24.3	21.3	20.8	22.6
Sonora	Hermosillo	29.1	19	21.7	14.3	16.7	19.4	23.8	26.9	30.8	25.0	23.6	24.2
Veracruz	Jalapa	16.5	20	14.5	11.6	12.6	13.8	15.3	16.5	16.0	17.6	18.1	15.8
Baja California	La Paz	24.15	21	20.0	15.7	19.7	21.5	23.9	23.5	23.7	22.7	22.3	21.2
Jalisco	Lagos de Moreno	20.8	22	20.0	16.3	19.0	21.8	24.0	25.8	22.0	21.0	20.0	19.8
Morelos	Cd. Ayala	19	23	17.7	16.7	16.7	20.7	20.7	20.6	18.4	17.8	17.7	17.0
Sinaloa	Mazatlán	23.25	24	17.6	14.2	17.1	19.3	20.5	20.4	20.2	17.3	17.7	17.0
Yucatán	Mérida	21	25	16.9	13.3	14.5	16.6	18.6	20.6	19.9	20.5	19.8	18.0
Baja California	Mexicali	32.4	26	19.8	14.9	15.8	18.0	20.0	23.9	26.2	25.2	21.8	22.0
Nuevo Leon	Monterrey	25.6	27	15.7	11.6	12.8	14.7	15.6	17.3	19.8	22.0	20.2	18.0
Michoacán	Morelia	19.7	28	17.7	15.0	19.7	21.0	21.1	21.1	16.7	18.0	18.5	17.8
Oaxaca	Oaxaca	17.2	29	19.2	17.6	20.5	20.9	19.7	21.5	19.6	21.2	20.2	18.1
Veracruz	Orizaba	18.9	30	14.1	12.0	12.7	14.2	15.2	17.7	15.8	16.2	16.5	15.3
Hidalgo	Pachuca	20.2	31	19.0	16.7	18.5	20.1	24.5	21.7	20.5	21.2	21.1	19.0
Coahuila	Piedras Negras	28.65	32	16.5	11.2	12.9	15.0	16.1	17.4	21.7	24.0	22.6	17.7
Yucatán	Progreso	21.3	33	17.8	14.8	17.5	19.3	19.7	19.2	18.5	18.9	19.2	18.0
Puebla	Puebla	19.1	34	19.7	17.6	19.8	22.2	22.9	22.1	20.4	20.9	21.0	19.8
Querétaro	Querétaro	20.7	35	21.4	18.0	20.4	23.3	24.5	24.9	23.1	23.2	23.1	22.6
San Luis Potosí	Río Verde	21.9	36	20.8	13.0	14.5	16.4	17.8	19.6	20.0	21.0	20.9	18.2
Oaxaca	Salina Cruz	16.2	37	16.8	19.4	22.5	23.9	23.2	21.9	18.0	20.2	21.4	16.8
Coahuila	Saltito	26.1	38	17.3	13.5	15.2	17.4	18.4	20.0	21.2	21.3	20.3	18.8
Chiapas	San Cristóbal	16.65	39	16.2	14.5	15.6	16.2	16.2	17.4	17.0	19.4	19.2	16.4
Baja California	San Javier	28.6	40	19.9	15.0	16.7	18.9	22.3	23.4	25.5	23.0	22.6	23.1
San Luis Potosí	San Luis Potosí	22.25	41	19.4	15.5	19.2	21.0	23.0	22.8	22.0	23.0	21.5	19.8
Tamaulipas	Soto la Marina	23.75	42	16.6	12.2	15.0	17.5	17.8	18.2	19.0	16.6	19.6	17.8
Tamaulipas	Tampico	22.3	44	15.9	11.9	14.9	17.0	23.0	17.9	17.6	17.8	17.8	16.6
Chiapas	Tapachula	14.75	45	16.7	19.4	17.5	17.3	16.4	16.8	16.9	18.8	18.4	16.7
Nayarit	Tepic	21.5	46	18.7	13.9	15.5	17.1	19.9	22.0	19.2	17.6	19.2	16.0
Tlaxcala	Tlaxcala	19.4	47	18.3	16.7	18.5	19.9	19.4	20.2	18.6	19.2	18.7	18.5
México	Toluca	19.3	48	17.1	15.8	17.8	19.2	19.3	18.7	18.7	17.5	17.5	16.7
Veracruz	Tuxpan	20.9	49	14.9	11.0	13.5	15.8	17.2	16.8	15.8	16.9	19.9	16.0
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	16.7	50	16.8	13.7	15.9	16.6	17.3	18.9	16.2	19.6	19.2	17.7
Yucatán	Valledoid	20.65	51	16.9	13.4	14.9	11.2	19.3	20.5	19.0	19.6	19.3	17.5
Veracruz	Veracruz	19.3	52	16.5	13.3	16.2	17.5	18.5	18.3	17.4	16.9	18.3	16.6
Zacatecas	Zacatecas (la bufa)	22.7	53	21.0	17.5	20.5	23.6	27.0	27.9	22.4	22.2	21.2	19.3

Mínimo
Máximo
Promedio

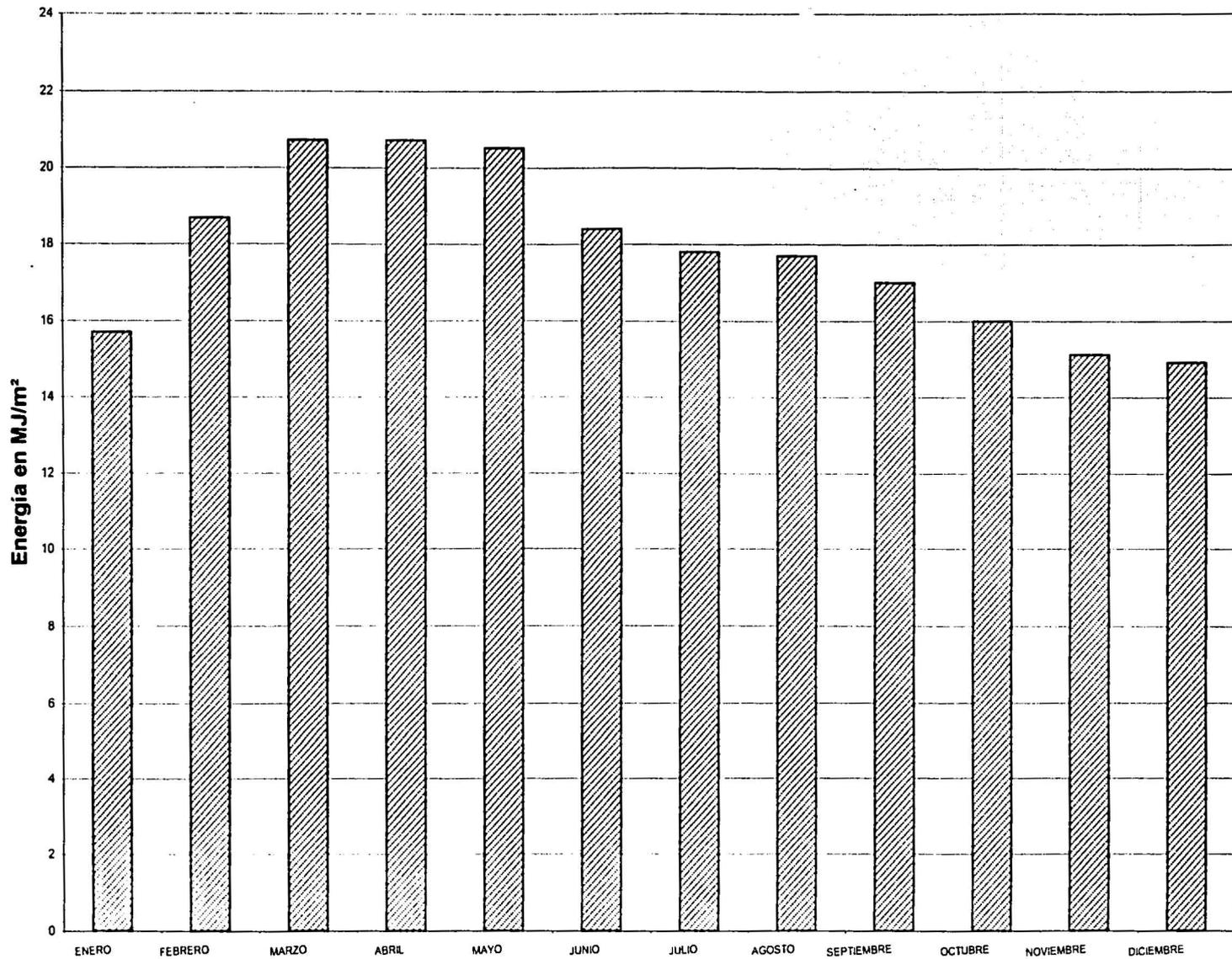
13.4
21.7
18.1

11.0	11.8	11.2	13.8	14.6	15.8	16.2	16.3	14.7
19.4	22.5	23.9	27.1	29.9	30.8	25.2	23.6	24.2
14.9	17.1	19.0	20.7	21.3	20.2	20.0	19.7	18.4

llación global media en la República Mexicana :
 Datos en MJ/m2

JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO	Min	Max	Med	Mes admin	Mes Redmax
18.5	19.0	19.3	17.8	18.8	18.0	18.8	19.0	18.8	21.8	19.0	12	3
22.6	22.1	21.4	20.6	18.3	17.2	14.3	20.2	14.3	25.8	20.2	12	5
18.7	21.2	19.8	18.5	19.0	18.3	17.0	19.3	17.0	21.2	19.3	12	4
17.8	17.5	18.4	16.8	16.0	15.0	13.3	17.0	13.3	20.9	17.0	12	4
18.8	17.7	17.9	16.5	15.8	15.8	14.1	17.7	14.1	21.5	17.7	12	5
23.9	20.9	20.3	20.8	19.2	17.8	14.9	21.2	14.9	29.6	21.2	12	5
17.4	19.8	19.9	17.4	14.5	14.3	13.4	16.7	13.4	19.9	16.7	12	8
15.8	16.4	16.3	14.7	12.5	11.2	10.0	13.4	10.0	18.4	13.4	12	7
17.3	17.5	17.8	16.5	15.8	14.4	13.6	16.8	13.6	20.4	16.8	12	4
22.2	19.3	18.2	18.7	18.7	15.0	12.3	17.5	12.3	22.4	17.5	12	5
19.5	18.6	18.6	18.1	18.8	16.4	14.0	18.3	14.0	21.4	18.3	12	5
16.8	17.6	17.9	16.2	15.8	14.3	13.3	16.8	13.3	20.5	16.8	12	4
29.0	24.4	22.3	20.6	18.8	16.4	13.5	21.3	13.5	29.6	21.3	12	5
18.6	18.3	18.2	16.9	15.7	14.8	13.7	16.9	13.7	18.7	16.9	12	5
18.4	17.8	17.7	17.0	16.0	15.1	13.5	17.7	13.5	20.7	17.7	12	3
24.5	21.5	20.3	20.5	18.5	17.4	14.0	20.6	14.0	28.9	20.6	12	5
21.4	19.1	19.2	18.7	17.6	17.1	14.4	20.1	14.4	27.8	20.1	12	5
21.5	21.5	21.4	20.7	18.7	17.2	16.5	20.0	16.0	23.8	20.0	1	5
24.3	21.3	20.8	22.6	21.2	18.2	20.2	21.7	16.2	28.1	21.7	1	5
30.8	25.0	23.6	24.2	21.6	17.0	13.9	21.7	13.9	35.8	21.7	12	8
19.0	17.6	16.1	15.8	13.2	12.0	10.8	14.4	10.8	18.1	14.4	12	8
23.7	22.7	22.3	21.2	20.7	17.8	15.0	20.6	15.0	23.9	20.6	12	4
22.0	21.0	20.0	19.8	18.0	17.0	14.4	19.9	14.4	25.8	19.9	12	5
18.4	17.8	17.7	17.0	16	16.1	14.9	17.8	14.9	20.7	17.8	12	3
20.2	17.3	17.7	17.0	18.0	16.1	13.9	17.6	13.9	20.5	17.6	12	4
19.9	20.5	19.8	18.0	15.1	13.6	12.3	16.9	12.3	20.8	16.9	12	5
26.2	25.2	21.8	22.0	19.8	16.1	14.0	19.8	14.0	26.2	19.8	12	6
19.8	22.0	20.2	18.0	13.8	12.0	10.7	15.7	10.7	22.0	15.7	12	7
18.7	18.0	18.5	17.8	16.4	15.3	13.3	17.7	13.3	21.1	17.7	12	5
19.6	21.2	20.2	18.1	17.8	17.4	16.0	19.2	16.0	21.5	19.2	12	5
15.8	18.2	18.5	15.3	13.0	11.7	11.0	14.3	11.0	17.7	14.3	12	5
20.5	21.2	21	19.0	17.5	16.4	15.0	19.3	15.0	24.5	19.3	12	4
21.7	24.0	22.6	17.7	14.8	11.9	10.3	16.3	10.3	24.0	16.3	12	7
18.5	18.9	19.2	18.0	17.9	15.7	14.4	17.8	14.4	19.7	17.8	12	4
20.4	20.9	21.0	18.8	17.9	17.0	15.9	19.7	15.9	22.9	19.7	12	4
23.1	23.2	23.1	22.6	19.6	18.1	15.7	21.4	15.7	24.9	21.4	12	5
20.0	21.0	20.9	18.2	15.3	13.2	11.9	16.8	11.9	21.0	16.8	12	7
18.0	20.2	21.4	18.6	21.2	20.6	18.6	20.8	18.0	23.9	20.8	6	3
21.2	21.3	20.3	18.8	15.9	13.0	12.0	17.3	12.0	21.3	17.3	12	7
17.0	19.4	19.2	16.4	15.0	14.0	13.2	16.2	13.2	19.4	16.2	12	7
23.5	23.0	22.6	23.1	18.5	16.8	13.4	19.8	13.4	25.5	19.8	12	6
22.0	23.0	21.5	19.8	16.9	15.2	13.2	18.4	13.2	23.0	19.4	12	4
18.0	19.8	19.8	17.8	16.5	13.4	11.6	18.5	11.6	19.8	16.5	12	7
17.6	17.8	17.8	16.6	16.5	13.3	11.6	18.3	11.6	23.0	18.3	12	4
18.9	18.8	18.4	16.7	14.7	15.4	14.8	16.9	14.7	19.4	16.9	10	1
19.2	17.6	19.2	18.0	15.8	14.3	12.2	17.3	13.9	22.0	17.3	1	5
18.8	19.2	18.7	18.5	17.7	16.9	14.4	18.2	14.4	20.2	18.2	12	5
18.7	17.5	17.5	16.7	15.7	15.2	13.9	17.2	13.9	19.3	17.2	12	4
15.8	16.9	19.9	16.0	14.9	12.3	11.2	15.1	11.0	19.9	15.1	1	8
18.2	19.6	19.2	17.7	16.0	14.8	13.2	16.8	13.2	19.8	16.8	12	7
19.0	19.6	19.3	17.5	15.1	13.5	12.5	16.3	11.2	20.5	16.3	3	5
17.4	16.9	18.3	16.8	17.3	14.6	13.0	16.5	13.0	18.5	16.5	12	4
22.4	22.2	21.2	19.3	17.3	17.4	14.9	20.9	14.9	27.9	20.9	12	5
18.8	16.2	18.3	14.7	12.5	11.2	10.0	13.3	10.0	18.3	13.3		
30.8	25.2	23.6	24.2	21.6	20.8	20.2	24.1	19.4	30.8	24.1		
20.2	20.0	19.7	16.4	16.9	15.4	13.9	18.1	13.9	21.3	18.1		

Morelos Cd. Ayala



901

TABLA A.4. LATITUD 19°

Factor K

INCLINACION	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DIEMBRE
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.04	1.03	1.02	1	0.99	0.99	0.99	1	1.02	1.04	1.05	1.05
10	1.08	1.06	1.03	1	0.98	0.97	0.98	1	1.03	1.07	1.09	1.09
15	1.1	1.07	1.03	0.99	0.96	0.94	0.95	0.99	1.04	1.09	1.12	1.13
20	1.13	1.09	1.03	0.97	0.93	0.91	0.93	0.97	1.04	1.11	1.15	1.15
25	1.14	1.09	1.02	0.95	0.89	0.87	0.89	0.95	1.03	1.12	1.17	1.17
30	1.15	1.09	1.01	0.92	0.85	0.83	0.85	0.92	1.02	1.12	1.18	1.19
35	1.15	1.08	0.99	0.88	0.81	0.78	0.8	0.88	1	1.11	1.19	1.13
40	1.14	1.06	0.96	0.84	0.75	0.72	0.75	0.84	0.97	1.1	1.19	1.19
45	1.13	1.04	0.92	0.8	0.7	0.66	0.69	0.79	0.93	1.08	1.17	1.18
50	1.11	1.01	0.88	0.74	0.64	0.59	0.63	0.74	0.89	1.05	1.16	1.17
55	1.08	0.98	0.84	0.69	0.57	0.52	0.56	0.68	0.84	1.01	1.13	1.14
60	1.05	0.93	0.78	0.62	0.5	0.45	0.49	0.62	0.79	0.97	1.1	1.11
65	1.01	0.89	0.73	0.56	0.43	0.38	0.42	0.55	0.73	0.92	1.05	1.07
70	0.96	0.84	0.67	0.49	0.35	0.3	0.34	0.48	0.67	0.87	1.01	1.03
75	0.91	0.78	0.6	0.42	0.28	0.22	0.27	0.4	0.6	0.81	0.95	0.98
80	0.85	0.72	0.53	0.34	0.2	0.14	0.19	0.33	0.53	0.74	0.89	0.92
85	0.79	0.65	0.46	0.27	0.12	0.09	0.11	0.25	0.45	0.67	0.83	0.86
90	0.72	0.58	0.39	0.19	0.09	0.08	0.08	0.17	0.37	0.6	0.76	0.79

Factor K (factor de corrección para superficies inclinadas. Representa el cociente entre la energía total incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el Ecuador e inclinada un determinado ángulo , y otra horizontal)

TABLA A.5. LATITUD 19°

A= Azimut H=altura

HORA	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO	
	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H
0	0	50	0	58	0	69	0	81	0	90
1	21	47	26	55	36	64	59	73	92	76
2	38	40	45	47	57	54	76	60	95	62
3	50	31	58	35	69	41	84	46	97	48
4	59	19	66	23	77	27	90	31	100	34
5	65	6	73	10	83	13	95	17	104	20
6							99	3	108	6
7										

HORA	JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE	
	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H
0	180	86	180	87	0	85	0	74	0	62
1	110	75	103	76	73	75	44	68	29	58
2	104	62	100	62	85	61	65	56	49	49
3	104	48	102	48	91	47	75	43	62	38
4	106	34	104	34	95	33	82	29	70	25
5	108	21	107	20	99	18	88	15	76	11
6	112	7	111	7	103	5	93	1		
7										

HORA	NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
	A	H	A	H
0	0	52	0	48
1	22	50	20	45
2	40	42	36	39
3	52	32	48	29
4	61	20	57	18
5	67	7	63	6
6				
7				

BIBLIOGRAFIA.

- 1 INGENIERIA DE LA ENERGIA SOLAR: Rafael Almanza Salgado, Felipe Muñoz Gutierrez, UNAM Instituto de Ingeniería. 1ra edic, México 1994
- 2 ACTUALIZACION DE LOS MAPAS DE IRRADIACIÓN GLOBAL SOLAR EN LA REPUBLICA MEXICANA.: Series del Instituto de Ingeniería UNAM N° 543 México 1998
- 3 La Energía Solar
CENSOLAR 3ª edic, 1999 Progensa, Sevilla España
- 4 Curso del Proyectista en Instalaciones Solares
CENSOLAR, Sevilla España. 2000
- 5 Celdas Solares
CENSOLAR, 1edc. 2000, Sevilla España.
- 6 Acumuladores elementos Galvánicos, Galvanotecnia
Alfred Holzt, edit. Labor S.A., 3ra edición, pp 293, México 1994
- 7 Instalaciones eléctricas Prácticas,
Becerril L. Diego Onésimo, 11ª edición, IPN, 1998
Pp225
- 8 El ABC del alumbrado y las Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión
Enrique Harper 2ª edic, edit, Limusa, pp 351, México 2000
- 9 Manual de electricidad Industrial I
Enrique Harper, 1ª edic, edit, Limusa pp 276, México 1996
- 10 "Código eléctrico Mexicano" publicado en el Diario Oficial de la Federación el 10 de octubre de 1994
- 11 Ley de Servicio Eléctrico, de1995
- 12 La Eenergía Solar Aplicaciones Prácticas
CENSOLAR, Sevilla España. 3ra edición, edit progensa, pp 147 1999

www.cfe.gob.mx

www.censolar.org

www.iie.org.mx

<http://www.cie.unam.mx/xml/>

<http://www.solardesign.com/>

<http://pumas.iingen.unam.mx/>

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