

01128
9



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN
FOTOVOLTAICA PARA UNA CASA RURAL**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO INDUSTRIAL
P R E S E N T A :
ROLANDO CARVALLO GONZÁLEZ**

**DIRECTOR DE TESIS:
ING. AUGUSTO SÁNCHEZ CIFUENTES**



MÉXICO, D. F.

2003

a



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

PAGINACION DISCONTINUA

CONTENIDO

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

INTRODUCCIÓN	4
1. LA PROBLEMÁTICA.....	4
2. EL RECURSO.....	6
Energía solar.....	6
3. EL OBJETIVO.....	8
1. ENERGÍAS RENOVABLES	9
1.1 ANTECEDENTES.....	9
1.2 LA ENERGÍA SOLAR.....	11
1.3 LAS DIVERSAS MANIFESTACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR COMO ENERGÍA RENOVABLE.....	12
1.3.1 <i>Energía solar directa</i>	14
1.3.1.1 Sistemas fotovoltaicos.....	15
1.3.1.2 Sistemas solares térmicos.....	20
1.3.2 <i>Energía eólica</i>	22
1.3.3 <i>Energía hidráulica</i>	24
1.3.4 <i>Energía de la biomasa</i>	25
1.3.4.1 Leña.....	25
1.3.4.2 Fermentación.....	26
1.3.4.3 Biometanación.....	26
1.3.4.4 Biogás de los rellenos sanitarios.....	26
1.3.5 <i>Otras fuentes de energía renovable</i>	27
1.3.5.1 Geotérmica.....	27
1.3.5.2 Mareas.....	27
1.3.5.3 Olas.....	27
1.3 APLICACIONES ESPECÍFICAS DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.....	27
2. EL MERCADO DE LA ENERGÍA RENOVABLE	29
2.1 PANORAMA MUNDIAL.....	29
2.1.1 <i>Calentadores solares planos</i>	29
2.1.2 <i>Sistemas de concentración de radiación solar</i>	30
2.1.3 <i>Fotovoltaica</i>	30
2.1.4 <i>Eólica</i>	31
2.1.5 <i>Minihidráulica</i>	32
2.1.6 <i>Biomasa</i>	33
2.2 POTENCIAL Y APROVECHAMIENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO.....	34
2.2.1 <i>Energía solar</i>	35
2.2.1.1 Calentamiento solar.....	35
2.2.1.2 Sistemas térmicos de concentración solar.....	35
2.2.1.3 Fotovoltaica.....	36
2.2.2 <i>Energía Eólica</i>	36
2.2.3 <i>Minihidráulica</i>	37
2.2.4 <i>Biomasa</i>	38
2.3 LEGISLACIÓN.....	38
3. ESTUDIO DE LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS DEL RANCHO SAN ANTONIO	40
3.1 SITUACIÓN ACTUAL.....	40
3.1.1 <i>Situación geográfica</i>	41
3.1.2 <i>Situación demográfica</i>	43
3.2 NECESIDADES ENERGÉTICAS.....	44
3.2.1 <i>Energía solar</i>	45
3.2.2 <i>Red de suministro municipal</i>	46

4. PROYECTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	48
4.1 PANELES FOTOVOLTAICOS	48
4.1.1 <i>Características eléctricas</i>	49
4.1.2 <i>Interconexión</i>	54
4.1.3 <i>Estructura de soporte y anclaje</i>	55
4.2 COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	56
4.2.1 <i>Acumuladores</i>	56
4.2.1.1 <i>Ciclos de descarga</i>	58
4.2.2 <i>Reguladores</i>	59
4.2.3 <i>Convertidores</i>	61
4.2.4 <i>Otros elementos</i>	63
4.2.4.1 <i>Alarmas y desconectadores por bajo voltaje</i>	63
4.2.4.2 <i>Programadores horarios</i>	63
4.2.4.3 <i>Temporizadores</i>	64
4.2.4.4 <i>Dispositivos de control y medida</i>	64
4.2.4.5 <i>Bombas de extracción de agua</i>	64
4.2.4.6 <i>Fusibles y elementos de protección</i>	64
4.2.4.7 <i>Elementos de iluminación</i>	65
4.3. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	67
4.3.1 <i>Cálculo de la capacidad y determinación del acumulador</i>	67
4.3.2 <i>Cálculo de la potencia de los paneles</i>	71
4.3.2.1 <i>Inclinación de los paneles</i>	73
4.3.3 <i>Cálculo de los elementos de la instalación</i>	75
4.3.3.1 <i>Reguladores</i>	75
4.3.3.2 <i>Convertidor</i>	77
4.3.3.3 <i>Bombeo de agua</i>	78
4.3.3.4 <i>Iluminación</i>	82
4.3.3.5 <i>Otros elementos</i>	83
4.3.3.5.1 <i>Conductores</i>	83
4.3.3.5.2 <i>Estructura de soporte</i>	85
4.3.3.5.3 <i>Elementos auxiliares</i>	85
4.4 PROYECTO DE INSTALACIÓN	86
4.5 MANTENIMIENTO	88
4.5.1 <i>Paneles fotovoltaicos</i>	88
4.5.2 <i>Sistemas de regulación, control y equipos auxiliares</i>	88
4.5.3 <i>Acumuladores</i>	89
5. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	90
5.1 PRESUPUESTO.....	92
5.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	94
6. PROCESO DE FABRICACIÓN Y ANÁLISIS AMBIENTAL	97
6.1 PROCESO DE FABRICACIÓN DE PANELES SOLARES	98
6.1.1 <i>Fabricación de las celdas fotovoltaicas</i>	98
6.1.2 <i>Fabricación de la placa de vidrio templado</i>	103
6.1.3 <i>Fabricación de los perfiles de aluminio anodinado</i>	104
6.1.4 <i>Armado del panel solar</i>	106
6.2 CONTAMINANTES GENERADOS DURANTE EL CICLO DE VIDA DE LOS PANELES SOLARES	106
6.3 EVALUACIÓN DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE GESTIÓN DE LOS PANELES SOLARES DESECHADOS	108
6.3.1 <i>Alternativas de gestión</i>	108
6.3.2 <i>Gestión de los materiales</i>	109
6.3.3 <i>Conclusiones</i>	110
7. CONCLUSIONES.....	112
ANEXO.....	114
BIBLIOGRAFÍA.....	122

***A todos aquellos que en algún
momento han creído en mí y
no me han dejado deambular,
les dedico este trabajo que
representa una etapa más
en mi vida.***

***Mis más sinceros agradecimientos:
A mis padres, hermanos, Conchita y familia,
Tuchicks, González, gringos, alemanes,
Gachupines e internacionales,
A la FI, UNAM y División de Ingeniería Industrial.
Y a todos aquellos que están allí y por venir.***

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

INTRODUCCIÓN

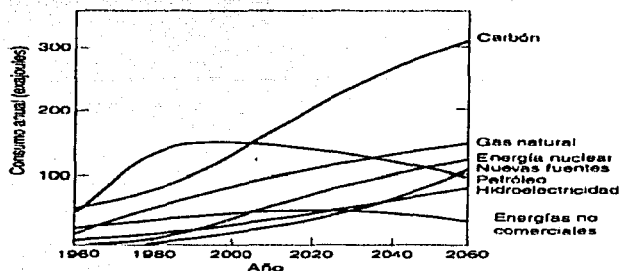
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1. La problemática

La historia energética y económica de México ha estado determinada en gran medida por uno de sus principales recursos: el petróleo. Gran parte de los ingresos nacionales provienen de las exportaciones de este hidrocarburo. El alza o la baja en su cotización tienen un impacto directo sobre la economía, puesto que ha sido un pilar importante en el desarrollo del país. En fin, no se puede entender a México sin considerar este recurso. Por ello, como país petrolero, hemos prestado poca atención a recursos energéticos de otra índole.

En la actualidad, cuestiones como la necesidad de diversificar las fuentes de energía primaria, extender el servicio eléctrico a áreas remotas del país, conservar las reservas de energéticos de origen fósil y proteger el ambiente, configuran un espacio de oportunidad para el aprovechamiento de los recursos renovables del país con fines energéticos.

Por lo que se refiere a las cuestiones ambientales, el cambio climático como problema global exige diseñar e instrumentar políticas nacionales de mitigación de gases de efecto invernadero acordes con las circunstancias económicas y sociales del país. Las energías renovables (ER) son un medio para hacer frente al fenómeno y a la vez incentivar el desarrollo de proyectos productivos que generen beneficios económicos. Por otro lado, en el contexto internacional las ER son sujetos idóneos para el desarrollo de proyectos en el marco de los mecanismos flexibles del Protocolo de Kyoto¹, por lo que son tecnologías con un fuerte potencial de crecimiento bajo esquemas de cooperación internacional.



Evolución del suministro mundial de energía. Fuente: Frisch, con autorización de la World Energy Conference, 1986.

¹ Fuentes Carolina, *Energía renovable para un desarrollo sostenible: el Protocolo de Kioto, experiencias internacionales y el caso de México*, UNAM, enero de 2002.

Lamentablemente en México existen numerosas comunidades rurales que carecen del servicio eléctrico. La mayor parte de estas áreas corresponde a poblaciones dispersas, alejadas de la red de suministro eléctrico de la CFE y de baja densidad demográfica, características que dificultan la extensión del servicio.

En la actualidad, aproximadamente cuatro millones y medio de mexicanos carecen de electricidad. Debido a la dificultad para electrificar estas comunidades bajo métodos convencionales se ha probado y demostrado que es posible llevar algunos servicios de electricidad básicos a las comunidades más pequeñas y alejadas de la red utilizando el potencial de energéticos renovables propio de las localidades. Las energías renovables tienen la ventaja de que su aprovechamiento se realiza *in situ*, es decir, en el mismo lugar en el que se encuentra el recurso, por lo que no es necesario transportar la energía generada. De esta manera, se ha utilizado la radiación solar, la fuerza de los vientos, las pequeñas caídas de agua y la materia orgánica para generar energía. Asimismo, debido a que las ER son de naturaleza intermitente se han instalado sistemas "híbridos" que se componen de una fuente de energía renovable y una fuente convencional que actúa como respaldo. Así, cuando no se cuenta con la disponibilidad del recurso renovable se activa el respaldo. Existen sistemas híbridos solar-diesel y solar-eólico-diesel.

Hasta la fecha se han instalado 5,000 sistemas fotovoltaicos en áreas rurales², mismos que han permitido a la población local contar con iluminación eléctrica durante las noches, ayudarse en la molienda de granos (con lo que se libera a las mujeres de la tarea de moler a mano) y contar con electricidad para el bombeo de agua.

Resulta claro que las ER brindan la oportunidad de generar un servicio que sería imposible con métodos convencionales. Adicionalmente, más que mera iluminación, la electrificación tiene un mayor impacto social.

"Creemos que es un derecho humano tener electricidad" aseveró Verónica Rascón del Programa Nacional de Solidaridad (PRONASOL), "se pueden mejorar muchas cosas: salud, educación, agricultura".³

A este respecto, resulta trascendental mencionar que los niveles de consumo energético que registra el sector agrícola de nuestro país son ínfimos. De manera general "nuestro medio agrícola no ha salido de los niveles de consumo del agricultor primitivo"⁴. En su mayor parte los agricultores nacionales se sirven de instrumentos de labranza rudimentarios impulsados por su fuerza muscular y por el trabajo de sus animales de carga. Esta situación señala el imperativo de modernizar el sector agrícola a través de herramientas que utilizan energía mecánica y eléctrica en orden de elevar los niveles productivos y liberar parte de la fuerza de trabajo a la población rural. El cumplir este objetivo bajo cánones de sostenibilidad requiere del aprovechamiento de las energías renovables en el medio rural. Los proyectos piloto y demostrativos llevados a efecto en diversas

² Ibid.

³ Ibid.

⁴ Dr. Juan José Ambríz, "Curso de Inducción a la Energía", 7 de junio de 2000.



comunidades demuestran que no es una propuesta quimérica la electrificación rural renovable.

Electrificar el país en su totalidad es rentable bajo criterios sociales, además la inversión tiene un efecto multiplicador, por lo que también propicia beneficios económicos en el mediano plazo.

2. El recurso

México es un país rico en recursos energéticos fósiles y renovables. Si bien su riqueza en petróleo y sus derivados es finita, "la extensión territorial del país, su topografía y orografía, el amplio litoral, su posición geográfica y su climatología, garantizan un suministro amplio de energías renovables, más allá de los requerimientos de una población de 200 millones al finalizar el próximo siglo".⁵

Aunque se sabe que el recurso solar, eólico, hidráulico y biomásico del territorio nacional es de magnitud considerable, se carecen de datos que lo cuantifiquen con precisión. El conocimiento grueso que se tiene es el siguiente;

Energía solar

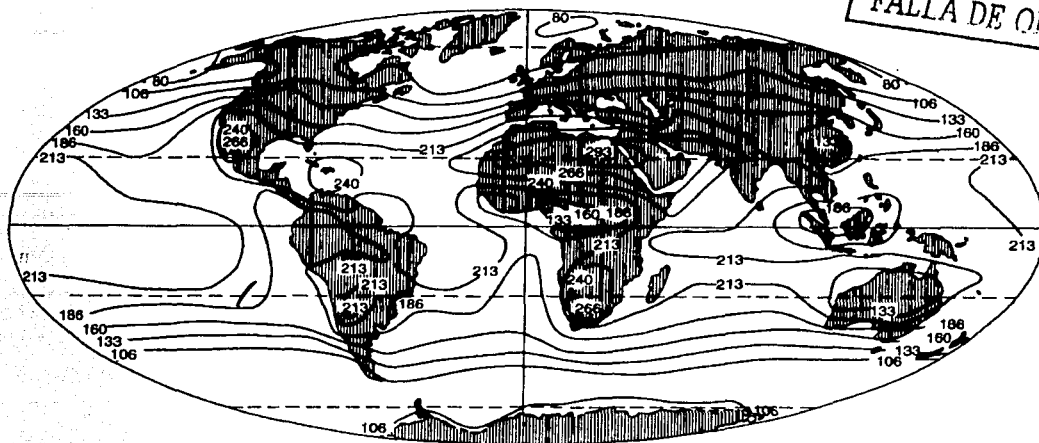
México se localiza geográficamente en el denominado "cinturón de máxima irradiación global". En esta región el aprovechamiento de la energía solar es una alternativa viable.

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/día (mega joules por día). 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 1996. El recurso es pues inmenso, pero las tecnologías para su aprovechamiento tienen que ser suficientemente baratas para en verdad resolver nuestros problemas.⁶

Algunas regiones de nuestro país como las que corresponden a los estados de Sonora y Baja California presentan los promedios de radiación más altos del planeta. Estas áreas coinciden con zonas desérticas en donde el suelo es poco productivo y se encuentran inhabitadas debido a su clima extremo, por lo que son apropiadas para la construcción de plantas solares de considerable potencia.

⁵ Enrique Caldera Muñoz, "Energías Renovables en México: potenciales, aplicaciones y mercados", ensayo inédito, julio 1998, pág.11.

⁶ Eduardo A. Rincón. *Estado del arte de la investigación en energía Solar en México*, México, Cuadernos de la Fundación ICA, FICA, 1999, pág.15.



Radiación solar media anual sobre una superficie horizontal en el nivel del suelo (W/m^2). Fuente: M. Budyko, *The Heat Balance of the Earth's Surface*, traducido por N. S. Stepanova (Washington, D.C.: U.S. Department of Commerce, 1958).

Se considera que más de la mitad del territorio nacional presenta una densidad energética de 5 kWh por metro cuadrado lo cual significa que por cada metro cuadrado se recibe una insolación suficiente para hacer funcionar un refrigerador durante una hora. Sin embargo, debemos tomar en cuenta que a través de los procesos de conversión energética —necesarios para habilitar esta energía— se pierde un porcentaje de este potencial, el cual varía dependiendo de la eficiencia del proceso.

De forma gruesa se conocen los rangos de la energía solar recibida en el territorio nacional, pero los estudios no se han realizado con el nivel de resolución necesario, para crear las bases de datos que permitan, con mayor precisión, pronosticar el comportamiento de cualquier dispositivo conversor en cualquier parte del territorio nacional.⁷

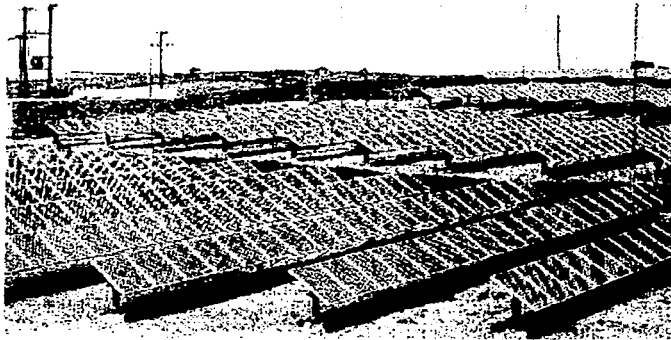
Esta carencia de información obstaculiza la sustitución de energía convencional por energía solar, por ejemplo, las regiones del país que cuentan con un nivel alto de insolación son: el noroeste, el Sur y la costa del Pacífico.

⁷ Enrique Caldera, *Op. Cit.*, pág

3. El objetivo

La presente tesis tiene por objetivo el dimensionamiento de una instalación de energía solar para el llamado Rancho San Antonio, casa-habitación rural de gran tamaño, que se encuentra alejado de la red de energía eléctrica, de tal forma que se cubran las necesidades "básicas" de sus habitantes y, con la información técnica calculada, comparar los costos que involucran dicha instalación solar contra los de la contratación del servicio energético con la empresa suministradora.

De ser favorables los resultados de la evaluación para la instalación solar, se recomendará el proyecto a los propietarios del Rancho San Antonio y se permitirá que sirva de proyecto estándar para solucionar la falta de suministro de energía eléctrica a personas que se encuentren en situaciones parecidas o peores que la presente en estudio.



Central fotovoltaica de Toledo



Vista de los campos inutilizados del Rancho San Antonio

1. ENERGÍAS RENOVABLES

1.1 Antecedentes

Cuando, según las leyendas, sucede el asedio a la ciudad de Siracusa (212 a.C.), Arquímedes logra quemar varias naves romanas concentrando sobre ellas la luz del Sol mediante grandes espejos; Probablemente este sabio ya conocía bien el enorme potencial destructivo de sus rayos.

Muchos siglos después, el gran Leonardo da Vinci diseñó también un gran espejo parabólico concentrador, proyecto que, como otros muchos, dejó inacabado.

Prácticamente en todas las épocas de la Historia, desde la más remota antigüedad hasta nuestros días, se han desarrollado ingenios capaces de aprovechar de una u otra forma la energía sol, con desigual fortuna.

Quizás haya sido en la Arquitectura donde se han logrado los mejores resultados, floreciendo durante el siglo XIX en toda Europa casas y edificios acristalados y convenientemente orientados para lograr un óptimo aprovechamiento de la radiación natural, consiguiendo así un elevado confort interior, especialmente cuando los días invernales eran fríos pero soleados.

Con la irrupción a gran escala de los combustibles fósiles, que generaban una energía barata y fácilmente transportable y, posteriormente, con la implantación de la electricidad a nivel mundial, la Humanidad conoció una época de derroche y despreocupación en cuanto a los inconvenientes de un consumo de energía constantemente creciente, cuyas nefastas consecuencias son bien conocidas.

Fue en 1973 cuando se produjeron eventos importantes en el mercado del petróleo en el mundo, que se manifestaron en los años posteriores en un encarecimiento notable de esta fuente de energía no renovable, resurgieron las preocupaciones sobre el suministro y precio futuro de la energía. Resultado de esto, los países consumidores, enfrentados a los altos costos del petróleo y a una dependencia casi total de este energético, tuvieron que modificar costumbres y buscar opciones para reducir su dependencia de fuentes no renovables.

Entre las opciones para reducir la dependencia del petróleo como principal energético, se reconsideró el mejor aprovechamiento de la energía solar y sus diversas manifestaciones secundarias tales como la energía eólica, hidráulica y las diversas formas de biomasa; es decir, las llamadas energías renovables.

Las energías renovables son fuentes de abastecimiento energético respetuosas con el medio ambiente. Lo que no significa que no ocasionen efectos negativos sobre el entorno aunque éstos son infinitamente menores si los comparamos con los impactos ambientales de las energías convencionales (combustibles fósiles:

petróleo, gas y carbón; energía nuclear, etc.) y además son casi siempre reversibles.

Como ventajas medioambientales importantes podemos destacar la no emisión de gases contaminantes como los resultantes de la combustión de combustibles fósiles responsables del calentamiento global del planeta (CO_2) y de la lluvia ácida (SO_2 y NO_x) y la no generación de residuos peligrosos de difícil tratamiento y que suponen durante generaciones una amenaza para el medio ambiente como los residuos radioactivos relacionados con el uso de la energía nuclear.

Otra ventaja de señalar a las energías renovables es su contribución al equilibrio territorial, ya que pueden instalarse en zonas rurales y aisladas y a la disminución de la dependencia de suministros externos, ya que las energías renovables son autóctonas, mientras que los combustibles fósiles sólo se encuentran en un número limitado de países.

Así, hacia mediados de los años setenta, múltiples centros de investigación en el mundo retomaron viejos estudios, organizaron grupos de trabajo e iniciaron la construcción y operación de prototipos de equipos y sistemas operados con energéticos renovables. Asimismo, se establecieron diversas empresas para aprovechar las oportunidades que se ofrecían para el desarrollo de estas tecnologías, dados los altos precios de las energías convencionales.

En la década de los ochenta aparecen evidencias de un aumento en las concentraciones de gases que provocan el efecto invernadero en la atmósfera terrestre, las cuales han sido atribuidas, en gran medida, a la quema de combustibles fósiles. Esto trajo como resultado una convocatoria mundial para buscar alternativas de reducción de las concentraciones actuales de estos gases, lo que llevó a un replanteamiento de la importancia que pueden tener las energías renovables para crear sistemas sustentables. Como resultado de esta convocatoria, muchos países, particularmente los más desarrollados, establecen compromisos para limitar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero renovando así su interés en aplicar políticas de promoción de las energías renovables.

Hoy en día, más de un cuarto de siglo después de la llamada crisis del petróleo, muchas de las tecnologías de aprovechamiento de energías renovables han madurado y evolucionado, aumentando su confiabilidad y mejorando su rentabilidad para muchas aplicaciones. Como resultado, países como Estados Unidos, Alemania, España e Israel presentan un crecimiento muy acelerado en el número de instalaciones que aprovechan la energía solar de manera directa o indirectamente a través de sus manifestaciones secundarias.

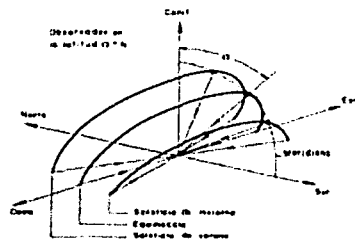
Además de la riqueza en energéticos de origen fósil, México cuenta con un potencial muy importante en cuestión de recursos energéticos renovables, cuyo desarrollo permitirá al país contar con una mayor diversificación de fuentes de energía, ampliar la base industrial en un área que puede tener valor estratégico en

el futuro y, atenuar los impactos ambientales ocasionados por la producción, distribución y uso final de las formas de energía convencionales.

1.2 La energía solar

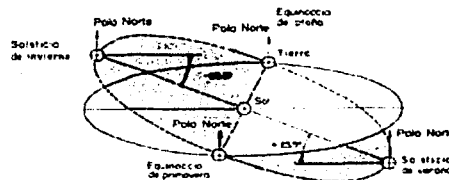
La realidad es que casi todas las formas de energía que conocemos proceden directa o indirectamente de la energía solar, pues con escasas excepciones, como la de la energía debida a los procesos de fisión nuclear que continuamente ocurren en la masa interna de la Tierra, o la producida por el movimiento de las grandes masas de agua en los océanos (debido a la interacción gravitatoria con el Sol y la Luna), las formas de energía que conocemos tienen su origen primario en la energía radiante que llega a nuestro planeta.

Así, la energía del viento (energía eólica), causada por la diferencia de presión que —motivada a su vez por la diferencia de temperatura de las masas de aire— tiene su origen en la absorción de la energía solar y la conversión de ésta en energía térmica a medida que los rayos solares van atravesando las capas de aire.



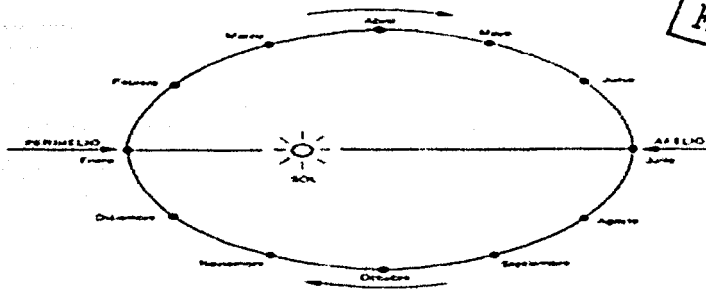
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Trayectorias del Sol en diferentes épocas del año en el hemisferio Norte. Para el hemisferio Sur, la figura es también válida si se intercambia el Norte con el Sur, así como el Este con el Oeste.



La energía química, tanto de los combustibles fósiles, como de la madera o de los residuos vegetales, proviene de la energía transmitida por el Sol cuando se originaron y crecieron las formas vegetales primitivas.

Los intentos de aprovechamiento de la energía solar de forma directa, utilizando la tecnología actualmente disponible, tratan de emular lo que la naturaleza realiza desde hace millones de años: convertir la energía electromagnética irradiada por el Sol en otras formas de energía.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.3 Las diversas manifestaciones de la energía solar como energía renovable

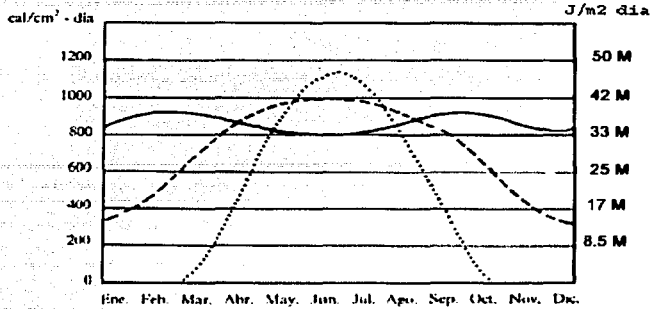
El Sol es una estrella bastante corriente con la única particularidad de que solamente se encuentra a una distancia de unos 150 millones de kilómetros de la Tierra. La radiación que emite tarda algo más de 8 minutos en alcanzar nuestro planeta, a razón de unos 300,000 Km./s.

Su diámetro es de cerca de 1'400,000 Km. y su masa equivale a la de unos 300,000 planetas iguales a la Tierra.

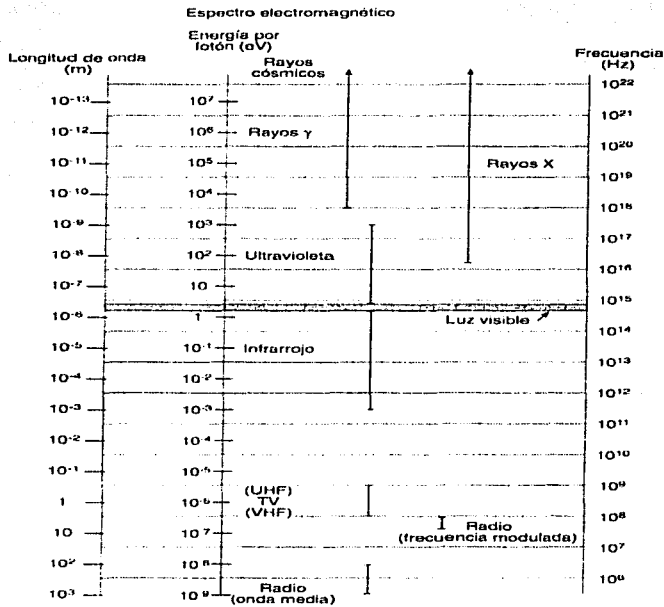
Como todas las estrellas, el Sol es un gigantesco horno nuclear en el que la masa se convierte en energía radiante continuamente en un proceso de fusión nuclear, calculándose en más de 5,000 millones de años el tiempo que pasaría hasta que quede completamente extinguido.

De esa enorme cantidad de energía radiante, solamente una pequeñísima fracción alcanza nuestro planeta, aunque representa una cantidad muy grande en comparación con la energía que necesitamos para mantener nuestra civilización tecnológica. El problema no es la cantidad total de energía disponible, sino las dificultades para su aprovechamiento dado que ésta se dispersa, repartiéndose por toda la superficie de la tierra y los océanos. En promedio, la cantidad de energía que llega a nuestra atmósfera exterior equivale a una potencia de 1,4 kW por m², cantidad que se reduce a alrededor de 1 kW cuando atraviesa la atmósfera y llega al suelo.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Energía recibida en un día sobre una superficie (sin tomar en cuenta el efecto atenuador de la atmósfera) expresadas en calorías por cm^2 por día y joules por m^2 al día. La curva continua corresponde al Ecuador, la de trazos a la posición aproximada de la atmósfera exterior sobre la latitud $N 45^\circ$, y la de puntos a la situada sobre las regiones polares del Norte.



La radiación solar está formada por una mezcla de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias. Algunas de ellas (aquellas cuya longitud de onda está comprendida entre 0.4 y $0.7 \mu\text{m}$) pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que conocemos como luz visible. Otras, aunque no son visibles, hacen notar igualmente sus efectos, al ceder a los cuerpos la energía que transportan.

La temperatura efectiva de la superficie del Sol es de unos 6,000 K⁸. Este dato es importante porque las características de la radiación que emite un cuerpo son función de la temperatura de la superficie del mismo. La temperatura de 6,000 K es superior a la temperatura normalmente alcanzable en los procesos industriales habituales que el hombre puede producir artificialmente. De ahí que las características de la radiación solar sean tan sensiblemente diferentes de las de otras fuentes de radiación artificiales.

1.3.1 Energía solar directa

La energía solar se manifiesta en un espectro que se compone de radiación ultravioleta, visible e infrarroja. Al llegar a la Tierra pierde su parte ultravioleta, que es absorbida por una capa de ozono que se presenta en el límite superior de la atmósfera. Ya en la atmósfera, la parte infrarroja se pierde, ya sea por dispersión al reflejarse en las partículas que en ella se presentan o al llegar a las nubes, que son capaces de reflejar hasta un 80% de la radiación solar que a ellas llega. El resto llega a la superficie, ya sea de manera directa o indirectamente como reflejo de las nubes y partículas en la atmósfera.

La radiación solar que llega a la superficie terrestre se puede transformar directamente en electricidad o calor.

El foco de atención son dos métodos de convertir a la energía radiante del Sol en electricidad. El método más conocido utiliza a la luz solar actuando sobre celdas fotovoltaicas para producir electricidad. Esto tiene una aplicación en satélites y para ciertos equipos de señales y de comunicaciones tales como equipos remotos de telecomunicaciones dispuestos en regiones lejanas, ampliamente utilizado en gran número de países.

Las ventas de módulos FV solares están aumentando mucho a medida que su eficiencia aumenta y el precio se reduce. Pero el costo por unidad ordinaria de electricidad todavía lo hace prohibitivo para usos comunes.

Para un sistema aislado se deben usar algunos medios para almacenar la energía colectada durante las horas de oscuridad o de nublado –ya sea como electricidad en batería, o en alguna otra como el hidrógeno (producida por la electrólisis del agua) o superconductores. En cualquier caso, otra etapa de conversión de energía está involucrada, lo que significa una pérdida extra de energía, bajando en consecuencia la eficiencia neta total y aumentando los costos de capital.

Varias plantas experimentales de energía FV, en su mayoría de 300 - 500 kW de capacidad están conectadas en red en Europa y los Estados Unidos⁹. Japón tiene 150 MWe instalados¹⁰. También se ha planeado una gran planta de FV solar para

⁸ Enciclopedia McGraw-Hill. Ciencia y Tecnología. Tomo V. Tercera Edición.

⁹ Boyle, G. Power for a sustainable Future. World Nuclear Association. Julio 2002.

¹⁰ Idem.

Creta. Y continúa la investigación sobre las formas económicas de almacenar la energía que se recogió de los rayos solares durante el día.

Una planta térmica solar tiene un sistema de espejos para concentrar la luz del Sol en un absorbente, usando la energía para hacer funcionar turbinas. Normalmente, el concentrador es un espejo parabólico orientado norte-sur, que rastrea el paso del Sol durante el día. El absorbente está ubicado en el punto focal y convierte a la radiación solar en calor (unos 400°C), que es transferido a un fluido como el aceite sintético¹¹.

El papel principal de la energía solar en el futuro será el de calentamiento directo. Mucha de nuestra necesidad de energía es para calor debajo de los 60°C –por ejemplo, en sistemas de agua caliente o calefacción hogareña. Bastante más, particularmente en la industria, es para calor en el rango de 60 – 110 °C. Juntas, éstas pueden tomar cuenta de una significativa proporción del uso primario de energías en las naciones industrializadas. La primera necesidad puede ser fácilmente suministrada por la energía solar durante bastante tiempo en algunos lugares y la segunda aplicación comercial probablemente no esté demasiado lejos. Tales usos disminuirán en alguna medida la demanda de electricidad y el consumo de combustibles fósiles, particularmente si se añan a medidas de conservación de la energía tales como los correctos aislamientos de los hogares.

Con un aislamiento adecuado, bombas de calor que usan el ciclo convencional de refrigeración se pueden usar para calentar y enfriar edificios con muy poco suministro de energía, fuera de la del Sol. Eventualmente hasta el 10% del total de la energía primaria en los países industrializados puede ser suministrada por las técnicas de calor solar directo, y en alguna medida esto substituirá a la energía eléctrica de base fundamental en la misma proporción.

1.3.1.1 Sistemas fotovoltaicos

Aunque las bases teóricas del efecto fotovoltaico eran conocidas desde principios de siglo, hasta el año 1954 no se consiguió producir la primera celda que aprovechara dicho efecto con un rendimiento razonable, siendo lograda por la Bell Telephone en New Jersey. Desde mediados del siglo se desarrolló el proceso de purificación de monocristales de silicio, impulsando enormemente el avance de la industria electrónica.

En 1956 Loferski publicó unas tablas de rendimiento de conversión fotovoltaica para todos los materiales semiconductores y a principios de los años setenta se obtuvieron en laboratorio rendimientos del 20% trabajando con celdas monocristalinas de arseniuro de galio (AsGa). Dicho rendimiento es sensiblemente menor cuando dichas celdas se producen a escala industrial¹².

¹¹ Idem.

¹² Censolar. Instalaciones Fotovoltaicas. Sevilla 2002.

Se ha experimentado también con celdas compuestas por dos capas: una de sulfuro de cadmio (SCd) y otra de sulfuro de cobre (SCu₂), que presentan la ventaja de que utilizan muy poco material activo y un proceso de fabricación más sencillo, pero los rendimientos son demasiado pequeños para ser utilizados a escala industrial.

La comercialización de las celdas solares fotovoltaicas comenzó con las de silicio monocristalino, que aún ocupan el primer lugar en el mercado. Más tarde aparecieron las compuestas por material policristalino de fabricación más económica, aunque de menores rendimientos, que presentan la ventaja adicional de poder ser fabricados en forma cuadrada y así aprovechar mejor el área rectangular disponible en un panel.

Actualmente se comercializan celdas de silicio amorfo, extendiendo su uso para dispositivos de muy baja potencia, como calculadoras, relojes, radios portátiles, etc., y, por último, han aparecido tecnologías más sofisticadas, como las películas delgadas de semiconductores, o las combinaciones de diversos semiconductores, a fin de optimizar la respuesta a la acción de la luz solar.

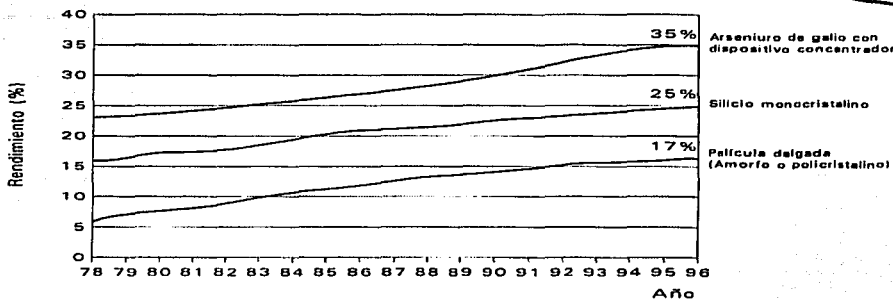
También se han desarrollado en España celdas bifaciales, capaces de aprovechar la radiación por sus dos caras y se experimenta con dispositivos concentradores, generalmente utilizando lentes de Fresnel, para aumentar la intensidad de la radiación incidente sobre la superficie de la celda.

Las primeras aplicaciones prácticas de la electricidad fotovoltaica se encontraron en los vehículos espaciales, alimentando los equipos de control, de medida o de retransmisión de datos. Posteriormente se inició la producción industrial de los primeros paneles para aplicaciones terrestres domésticas, como electrificación de viviendas aisladas, aunque hasta el inicio de la década de los ochenta estos productos no fueron suficientemente competitivos para lograr un mercado amplio.

Las investigaciones para conseguir productos más eficientes y económicos continúan a buen ritmo a pesar de que, aun a nivel mundial, son pocas las compañías con capacidad suficiente para acometer las elevadas inversiones que requiere el desarrollo de esta avanzada tecnología.

La producción fotovoltaica mundial se divide aproximadamente en partes iguales entre Europa, Estados Unidos y Japón. Media docena de grandes compañías representan más de la mitad del total, correspondiendo el resto a unas cuarenta empresas repartidas por todo el mundo. El costo medio por watt de potencia se sitúa a finales de 2001 en torno a los tres dólares¹³.

¹³ Idem.



Evolución de los rendimientos (en laboratorio) de las células fotovoltaicas.

Efecto fotovoltaico

Consiste, en esencia, en la conversión de la 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 así un trabajo útil.

Un especial tratamiento del 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.

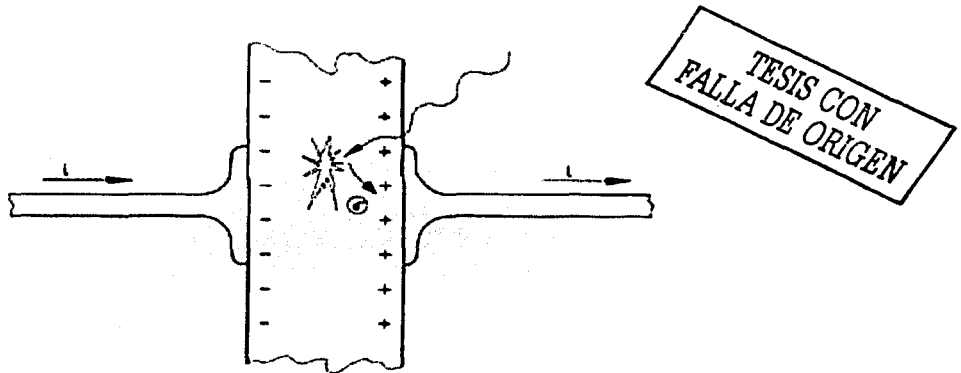
La clave para producir una corriente eléctrica útil está en lograr extraer los electrones liberados fuera del material antes de que éstos vuelvan a recombinarse con los huecos. Una forma de lograr esto es introducir en el material semiconductor elementos químicos que contribuyan a producir un exceso 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 sólo tres átomos de silicio, dejando un hueco en el lugar donde existiría el cuarto electrón de enlace en el caso de que el átomo fuese, al igual que los demás que le rodean, también de 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 a 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.



Los electrones son forzados hacia el circuito externo por los fotones incidentes.

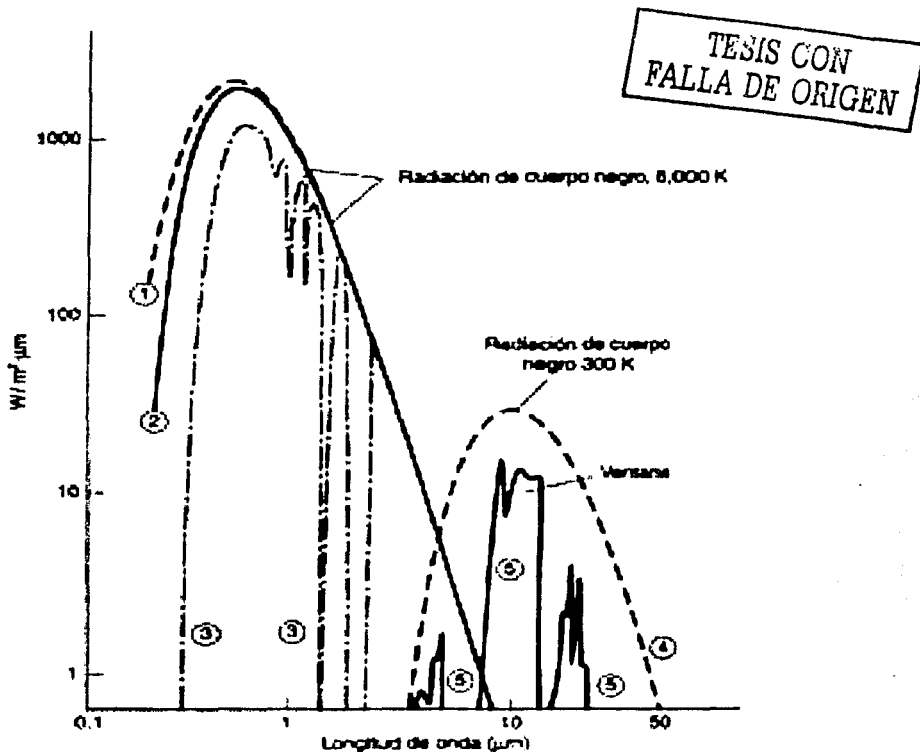
En estas condiciones, si incide luz y los fotones comunican energía a los electrones del semiconductor, algunos de estos electrones pueden atravesar la barrera de potencial, siendo expulsados fuera del semiconductor a través de un circuito exterior: se produce entonces una corriente eléctrica. Los electrones,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

Se observa que 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 ésta 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: de energía luminosa a energía eléctrica para una determinada frecuencia de la luz incidente.

En una típica celda de silicio monocristalino dicha eficiencia de conversión sólo es significativa para longitudes de onda comprendidas entre 350 y 1100 nanómetros, con un máximo alrededor de los 800 nanómetros, mientras que para el silicio amorfo el intervalo va desde los 350 hasta los 800 nanómetros, con un máximo en torno a los 520 nanómetros. Otros materiales tienen una respuesta espectral diferente.



Espectro de radiación solar (onda corta) y ventana (onda larga). Fuente: Adelgado de Señas (1965)

Potencia por unidad de área (W/m^2) por longitud de onda en micrómetros, emitida por un cuerpo negro a 8,000 K (curva 1) y otra a 300 K (curva 4), aproximadamente las temperaturas superficiales del Sol y de la Tierra, respectivamente. Las otras curvas tienen el siguiente significado: 2, potencia real de radiación solar en la parte superior de la atmósfera; 3, lo mismo en la base de la atmósfera; 5, potencia de la radiación que pasa directamente de la superficie terrestre al espacio (se muestra la ventana atmosférica).

Como la luz solar que llega hasta nosotros está 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.

La Física Cuántica predice una eficiencia máxima teórica para la celda a base de silicio de un 26%, valor cercano al obtenido en laboratorio, pero para las celdas 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.

El 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 ve todavía disminuida por otros varios factores.

1.3.1.2 Sistemas solares térmicos

Los sistemas fototérmicos convierten la radiación solar en calor y lo transfieren a un fluido de trabajo. El calor se usa entonces para calentar edificios, agua, mover turbinas para generar electricidad, secar granos o destruir desechos peligrosos. Los Colectores Térmicos solares se dividen en dos categorías:

Colectores de baja temperatura

El colector solar plano es el aparato más representativo de la tecnología solar fototérmica. Proveen calor útil a temperaturas menores de 65°C mediante absorbedores metálicos o no metálicos. Su principal aplicación es en el calentamiento de agua para baño y albercas, aunque también se utiliza para secar productos agropecuarios mediante el calentamiento de aire y para destilar agua en comunidades rurales, así como para todas aquellas actividades industriales en las que el calor de proceso no es mayor a 60°C, por ejemplo la pasteurización, el lavado textil, etc.

Están constituidos básicamente por:

1. Marco de aluminio anodinado.
2. Cubierta de vidrio templado con bajo contenido en fierro.
3. Placa absorbidora. Enrejado con aletas de cobre.
4. Cabezales de alimentación y descarga de agua.
5. Aislante, usualmente poliestireno o unicel.
6. Caja del colector, galvanizada.

Para la mayoría de los colectores solares se tienen dimensiones características. En términos generales, la unidad básica consiste de un colector plano de 1.8 a 2.1 m² de superficie, conectado a un termotanque de almacenamiento de 150 a 200 litros de capacidad; a este sistema frecuentemente se le añaden algunos dispositivos termostáticos de control a fin de evitar congelamientos y pérdidas de calor durante la noche. Las unidades domésticas funcionan mediante el mecanismo de termosifón, es decir, mediante la circulación que se establece en el sistema debido a la diferencia de temperatura de las capas de líquido estratificadas en el tanque de almacenamiento. Para instalaciones industriales se emplean varios módulos conectados en arreglos serie-paralelo, según el caso, y se emplean bombas para establecer la circulación forzada¹⁴.

Colectores de media y alta temperatura

Los colectores de media temperatura son los dispositivos que concentran la radiación solar para entregar calor útil a mayor temperatura, usualmente entre los 100 y 300°C. En esta categoría se tienen los concentradores estacionarios y a los canales parabólicos, todos ellos efectúan la concentración mediante espejos dirigidos hacia un receptor de menor tamaño. Tienen el inconveniente de trabajar solamente con la componente directa de la radiación solar por lo que su utilización queda restringida a zonas de alta insolación.

Los de alta temperatura se clasifican en tres tipos diferentes: los colectores de plato parabólico, la nueva generación de canal parabólico y los sistemas de torre central. Operan a temperaturas mayores a los 500°C y se usan para generar electricidad y transmitirla a la red eléctrica; en algunos países estos sistemas son operados por productores independientes y se instalan en regiones donde las posibilidades de días nublados son remotas.

Los sistemas de tipo canal parabólica usan reflectores parabólicos en una configuración de canal para enfocar la radiación solar directa sobre un tubo largo que corre a lo largo de su foco y que conduce al fluido de trabajo, el cual puede alcanzar temperaturas hasta de 500°C.

La generación fototérmica de electricidad es actualmente una de las aplicaciones más extensas de la energía solar en el mundo. Existen más de 2.5 millones de m² de concentradores solares instalados en 9 plantas de la compañía Luz de Israel, que representan 354 MW y más del 85% de la electricidad producida con energía solar. La compañía Luz salió del mercado en 1991 a causa de la reducción que se dio paralelamente en los costos de los energéticos convencionales y en los subsidios a los energéticos renovables en los Estados Unidos. Sus plantas usan aceite sintético como medio de transferencia de calor en el campo de concentradores; como circuito primario, el calor recogido por el aceite se intercambia posteriormente con agua dónde se lleva a cabo la generación de vapor, el cual a su vez se expande para completar un ciclo Rankine. Durante los

¹⁴ CONAE. Sistemas Térmicos. www.conae.gob.mx

periodos de baja insolación, o bien para nivelar la oferta, se asisten con gas natural.

Actualmente se ha introducido el ciclo combinado para mejorar la eficiencia termodinámica de estos sistemas y se estudia en varios países, entre ellos México, la posibilidad de generar directamente el vapor en el campo de concentradores. Con esto se espera lograr llevar los precios de generación a niveles competitivos con las plantas termoeléctricas convencionales.

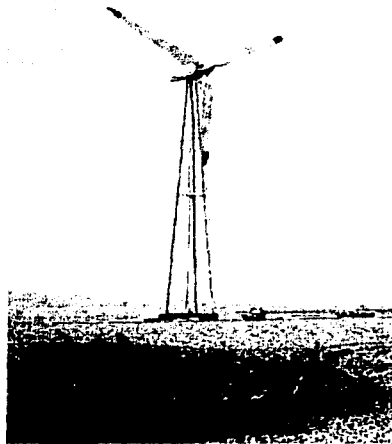
Existen otros sistemas, no convencionales aún, como los de torre central que usan heliostatos (espejos altamente reflejantes) para enfocar la luz solar, con la ayuda de una computadora y un servomecanismo en un receptor central. Los sistemas parabólicos de plato usan estos reflectores para concentrar la luz del Sol en un receptor montado arriba del plato, en su punto focal.

1.3.2 Energía eólica

Históricamente las primeras aplicaciones de la energía eólica fueron la impulsión de navíos a vela y molinos de granos y de bombeo de agua y, sólo hasta finales del siglo pasado la generación de electricidad.

Los vientos ocurren por diferencias de presión generadas por un calentamiento no uniforme de la atmósfera terrestre, desplazándose grandes masas de aire de las zonas de alta presión a las de baja. Aproximadamente el 2% del calor del Sol que llega a la Tierra se convierte en viento, pero sólo una fracción muy pequeña puede ser aprovechada, ya que buena parte de estos vientos ocurre a grandes alturas o sobre los océanos, mar adentro. Además, se requieren condiciones de intensidad y regularidad en el régimen de vientos para poder aprovecharlos. Se considera que vientos con velocidades promedio entre los 5 y 12 metros por segundo son los aprovechables.

El viento contiene energía cinética (de las masas de aire en movimiento) que puede convertirse en energía mecánica o eléctrica por medio de aeroturbinas, las cuales se componen por un arreglo de aspas, generador y torre, principalmente. Las aeroturbinas pueden ser clasificadas por la posición de sus aspas con respecto al eje, en horizontales y verticales.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Aerogeneradores de eje vertical

La falta de necesidad de orientación de estos aparatos por la simetría de las palas hace que se puedan aprovechar vientos en cualquier dirección, así como instalar generadores en tierra con una menor complejidad a la hora de efectuar labores de mantenimiento.

También permiten el aprovechamiento de elevadas velocidades de viento dentro de una banda muy amplia, sin necesidad de mecanismos de regulación y control, ya que cada tramo de máquina tiene un límite de potencia gracias a la entrada en pérdida de palas.

Aerogeneradores de eje horizontal

Hay dos tipos de aeroturbinas según la velocidad de giro de sus rotores: las aeroturbinas lentas y las rápidas, siendo éstas últimas las que se conectan a la red (aerogeneradores), y las primeras las de pequeña potencia.

Un aerogenerador de eje horizontal consiste en una máquina capaz de girar y cuyo movimiento es producido por la energía cinética del viento al actuar éste sobre un rotor con tres palas de perfil de avanzado diseño aerodinámico. El giro se multiplica con un multiplicador de velocidad hasta un generador que produce energía eléctrica y todos los componentes nombrados se instalan en un bastidor carenado situado en lo alto de una torre.

Las palas se encargan de recoger la energía cinética del viento, siendo de fibra de vidrio y formadas por un larguero resistente y envolvente de perfil aerodinámico, ancladas al soporte o buje, también llamado cubo.

Según el tipo de buje, el aerogenerador será de paso fijo o variable, según si el buje permite o no el giro de la pala sobre su propio eje. Las de paso fijo regulan la potencia por pérdida aerodinámica y las otras incorporan un elemento hidráulico o electrónico para hacerlo. Generalmente se utilizan más las de paso fijo, aunque las otras dejan un perfecto autoajuste de la máquina con respecto a la dirección del viento.

El buje es el soporte donde se acoplan las palas y va montado sobre su eje de baja velocidad para transmitir el par motriz al multiplicador. Cuando es de paso fijo lleva los mecanismos que hacen girar las palas y, en el otro caso, lleva los frenos aerodinámicos hidráulicos y válvulas de accionamiento.

El multiplicador suele ser de ejes paralelos o de sistema planetario, siendo su eje de acero forjado y hueco para hacer pasar los conductos hidráulicos o los accionamientos de las palas, según sea del tipo de paso fijo o variable. A su vez, este aparato se conecta mediante elementos elásticos con el generador.

El generador transforma la energía mecánica en eléctrica y está instalado en el bastidor tras el multiplicador, siendo accionado por el eje de mayor velocidad del multiplicador, y consta de un rotor y un estator, el primero de ellos crea un campo magnético variable, tras girar con retraso por la acción de una turbina, y el segundo sobre el que se crea la corriente eléctrica.

Existen hoy muchos miles de turbinas de viento en diversas partes del mundo con una capacidad total de más de 25,000 MWe. Este ha sido el método de generación eléctrica que más ha crecido al final del siglo y proporciona un valioso complemento a las estaciones de base fundamental de gran tamaño.

1.3.3 Energía hidráulica

La energía que llega del Sol da lugar, entre otros fenómenos, a la evaporación del agua contenida sobre su superficie, principalmente en los océanos. Esta humedad se acumula en nubes que viajan largas distancias y se deposita en forma de lluvia y nieve sobre montañas, muchas alejadas del mar. El agua acumulada en corrientes y por gravedad, busca de nuevo el mar, formando así el ciclo del agua. Este caudal, que se puede manifestar en grandes caídas o en muchas corrientes, es la fuente de la energía hidroeléctrica.

En muchos casos, esta energía se deposita en forma de potencial en embalses y se transforma en energía aprovechable al desplazarse hacia niveles inferiores, asociados a saltos de agua y a la diferencia de alturas entre dos puntos del curso de un río, así, las centrales hidroeléctricas transforman en energía eléctrica el movimiento de las turbinas que se genera al precipitarse el agua a gran velocidad.

Hay diversos tipos de centrales hidroeléctricas en función de su tamaño: Grandes centrales hidroeléctricas y centrales minihidráulicas.

Centrales minihidráulicas o minicentrales

Los sistemas hidroeléctricos relativamente pequeños pueden abastecer de energía a pequeños poblados. La fuente de agua puede ser un arroyo, un canal u otra forma de corriente que pueda suministrar la cantidad de presión de agua necesaria a través de la tubería de alimentación para establecer la operación del sistema hidroeléctrico.

Una vez que el agua de caudal se confina en la tubería de alimentación es inyectada sobre las aletas de la turbina en el otro extremo. La turbina a su vez, impulsa el generador y se produce energía eléctrica. Hay tres tipos principales de turbinas: las Pelton, las Kaplan y las Francis, siendo las del tipo Pelotón las más populares debido a su versatilidad para operar en amplios rangos de caudales y presiones. Típicamente, en hidroenergía, se asume que se producirá mayor potencia cuando la presión dinámica (cuando el agua está siendo usada) es igual a las dos terceras partes de la presión estática (cuando el sistema está cerrado y no hay flujo).

1.3.4 Energía de la biomasa

Las plantas acumulan energía a través de la fotosíntesis donde, alimentadas por la energía solar, separan las moléculas de bióxido de carbono, acumulando el carbono en forma de hidrocarburos y soltando el oxígeno. La eficiencia de la conversión de energía solar en energía almacenada en forma de materia orgánica (a través de la fotosíntesis) es muy baja, estimándose su límite máximo en cerca de 3%, aunque algunas especies forestales en explotación comercial alcanzan eficiencias de conversión de hasta 1%.

1.3.4.1 Leña

La forma más común de biocombustibles sólidos es la leña, que aún en la actualidad cubre casi el 50% de las necesidades energéticas en los países en vías de desarrollo. El carbón vegetal es otra forma de biocombustible sólido, así como las briquetas y los lechos artificiales que se fabrican aglomerando y comprimiendo astillas y pajas. También los residuos de las cosechas de granos, trátese de tallos y pajas de trigo, arroz, maíz, etc., se pueden aprovechar para hacer funcionar pequeñas centrales eléctricas.

Es aún tan importante el uso de la leña como energético que existen plantaciones de árboles de rápido crecimiento, como el eucalipto, que se denominan plantaciones energéticas, cuyo propósito es producir madera para combustible.

Como referencia al potencial de la biomasa, un metro cúbico de leña es suficiente para permitir que 5 personas tengan suficiente calor para calentar agua para 108 baños de 15 minutos cada uno.

1.3.4.2 Fermentación

Los procesos de fermentación de alcohol y su destilación son conocidos y empleados por las sociedades humanas desde la antigüedad para la producción de vinos y aguardientes. A través de este mismo proceso es posible obtener etanol, un alcohol que se emplea actualmente como combustible en la sustitución de la gasolina o mezclado con ella y como insumo en la obtención de productos químicos (vitaminas, antibióticos, solventes y otros).

La caña de azúcar, el sorgo dulce, las frutas y la remolacha son los cultivos más fácilmente convertibles en etanol; los azúcares base de la fermentación se obtienen con pretratamientos suaves tales como prensado, corte o lavado de los cultivos. Los procesos de fermentación tienen una eficiencia de conversión muy alta, ligeramente superior al 85%.

El uso intensivo del etanol puede ser motivado por su habilidad para sustituir a la gasolina o utilizarlo como componente oxigenante de la gasolina y antidetonante principalmente de dos maneras:

1. En vehículos de gasolina (90% gasolina y 10% etanol en volumen) ó gasoil, esto se practica sin ninguna modificación al motor.
2. Etanol como sustituto de la gasolina. Una mezcla de 85% de etanol y 15% de gasolina (E85) es un combustible viable para vehículos ligeros, éstos pueden operar con cualquier proporción de etanol mezclado con gasolina, teniendo como límite 85%. Algunos autobuses y camiones con la adecuada modificación a sus motores diesel pueden operar con etanol casi puro.

Un ejemplo en la aplicación del etanol lo encontramos en Brasil, donde gran parte de los automóviles queman este biocombustible mezclado con gasolina en una proporción de 60 y 40 respectivamente.

1.3.4.3 Biometanación

En el proceso de biometanación, desperdicios orgánicos o biomasa con alto contenido de humedad se alimentan a un recipiente llamado digesor biológico. Por la acción de microorganismos adecuados, la materia orgánica se transforma en biogás (una mezcla de bióxido de carbono y metano esencialmente), que puede aprovecharse como combustible, produciéndose además lodos residuales empleables como mejoradores de suelos o fertilizantes.

1.3.4.4 Biogás de los rellenos sanitarios

El biogás también se produce en rellenos sanitarios, que contienen gran proporción de desechos orgánicos húmedos y en donde existen las condiciones adecuadas para que proliferen las bacterias anaerobias que al digerir esos desechos producen el metano y el bióxido de carbono en el interior del relleno.

Por ejemplo, un relleno sanitario de la Ciudad de México con 5.6 millones de toneladas de residuos sólidos produce suficiente biogás para alimentar una planta de 5MW de capacidad para operar durante 10 años.

1.3.5 Otras fuentes de energía renovable

1.3.5.1 Geotérmica

En los lugares donde el agua caliente subterránea puede llevarse a la superficie se puede generar electricidad. Tales fuentes geotermales tienen potencial en algunas partes del mundo como Nueva Zelanda, México, los Estados Unidos, Filipinas, Islandia e Italia, donde en conjunto unos 6,000 MWe de capacidad están en operación. Existen algunos proyectos en otras áreas para bombear agua subterránea a regiones muy calientes de la corteza terrestre, usando el vapor producido para generar electricidad¹⁵.

1.3.5.2 Mareas

Dominar las mareas en una bahía o estuario se ha conseguido en Francia (1966) y en Rusia, y podría ser logrado en otras partes del mundo donde las mareas tienen una gran variación de altura. El agua atrapada puede ser usada para mover grandes turbinas a medida que es liberada a través de la "barrera de mareas" en ambos sentidos. A escala mundial, esta tecnología parece tener poco potencial, principalmente debido a restricciones ambientales¹⁶.

1.3.5.3 Olas

Utilizar el poder del movimiento de las olas es una posibilidad que puede generar mucha más energía que las mareas. Se ha investigado la factibilidad de esto, de manera particular en Gran Bretaña. Generadores acoplados, ya sea a dispositivos flotantes o movidos por el aire desplazado por las olas dentro de una estructura de concreto puede producir electricidad para transportar a la costa. El progreso ha sido frustrado por numerosos problemas prácticos¹⁷.

1.3 Aplicaciones específicas de las energías renovables

Ya sea como energía térmica, mecánica o eléctrica, las energías renovables pueden ser útiles para muchos propósitos. A continuación, se enumeran las aplicaciones de las energías renovables técnica y económicamente posibles en la actualidad, por tipo de usuario:

¹⁵ Boyle, G. Power for a sustainable Future. World Nuclear Association. Julio 2002.

¹⁶ Idem.

¹⁷ Idem.

Hogares:

- Generar electricidad para usos múltiples (fotoceldas y generador eólico)
- Calentar agua para los baños y la cocina (colectores solares planos)
- Calentar el agua de una alberca (colectores solares planos)
- Calentar el aire para los espacios interiores en tiempos de frío (colectores solares)
- Cocción de alimentos (biomasa y estufas solares)
- Acondicionamiento de aire (fotoceldas y enfriadores solares)

Industria

- Generar electricidad para usos múltiples (minihidráulica, eólica, fotoceldas)
- Precalentamiento de agua y de otros fluidos (colectores solares planos y de concentración)
- Procesamiento de alimentos (colectores solares planos y de concentración)

Comercios y servicios

- Generar electricidad para usos múltiples (fotoceldas y generadores eólicos)
- Alimentar pequeños refrigeradores para conservación de medicinas en hospitales rurales (fotoceldas)

Municipios

- Generar electricidad para usos múltiples (minihidráulica, eólica, fotoceldas, biomasa)
- Destilación de aguas en regiones aisladas junto al mar (destiladores solares)

Comunicaciones y transporte

- Señalización de carreteras (fotoceldas)
- Aplicaciones de señalización con boyas en el mar (fotoceldas)
- Sistemas de telecomunicación, tales como: estaciones repetidoras, microondas, telefonía aislada, sistemas de redes, sistemas portátiles de comunicación, etc. (fotoceldas)
- Utilización de biocombustibles a base de alcohol para el transporte (biomasa)
- Utilización de pequeños vehículos solares o híbridos (biomasa)

Agricultura, ganadería y pesca

- Bombeo de agua para riego (eólica, fotoceldas)
- Secado de granos, hierbas, pescado y, en general, productos perecederos (calentadores solares)
- Sistemas de desalinización y purificación de agua (calentadores solares)
- Precalentamiento de agua y otros fluidos (calentadores solares)
- Refrigeración solar para enfriamiento y producción de hielo (refrigeración solar)

2. EL MERCADO DE LA ENERGÍA RENOVABLE

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.1 Panorama mundial

El impulso dado al desarrollo de la tecnología asociada al aprovechamiento de las energías renovables a partir de la década de los setenta, ha permitido que diversas tecnologías en fase experimental se conviertan en un producto capaz de competir en el mercado y ganar terreno a otras alternativas que operan con combustibles fósiles.

2.1.1 Calentadores solares planos

Los calentadores solares planos son una de las tecnologías solares más simples, más probadas y que tiene un gran potencial de aplicación en todo el mundo. Uno de los casos más relevantes es el de Israel, donde se usa la energía solar para calentamiento de agua desde hace más de 50 años y donde, a partir de 1980, la legislación hizo obligatoria la instalación de sistemas solares para calentamiento de agua en todas las construcciones residenciales nuevas.

Hoy en día, la tecnología solar térmica experimenta un fuerte crecimiento en Europa. Desde 1993 se tiene un crecimiento del 15% anual en el área instalada de colectores solares planos. Tres países, Alemania, Grecia y Austria se destacan de los demás. En 1998, estos países instalaron más de 150 mil m² de colectores solares. Alemania es líder, ya que instaló en el año mencionado 470 mil m² en más de 50 mil instalaciones colectivas e individuales para calentamiento de agua. En términos relativos, es decir, en número de colectores solares por cada mil habitantes, Grecia y Austria superan a Alemania¹⁸.

Áreas instaladas de colectores solares planos (1998)

País	Área de colectores solares instalados en 1998 (m ²)	Área de colectores solares instalados por cada 1000 habs. (m ²)
Alemania	470,000	35
Austria	195,000	240
Grecia	153,900	260
Francia	28,000	14
Holanda	26,640	15
España	19,440	11
Italia	18,000	5
Dinamarca	17,000	60
Portugal	8,000	25
México	32,400	0.33

¹⁸ Las energías renovables en México y en el Mundo. Semblanza. CONAE. Julio 2002

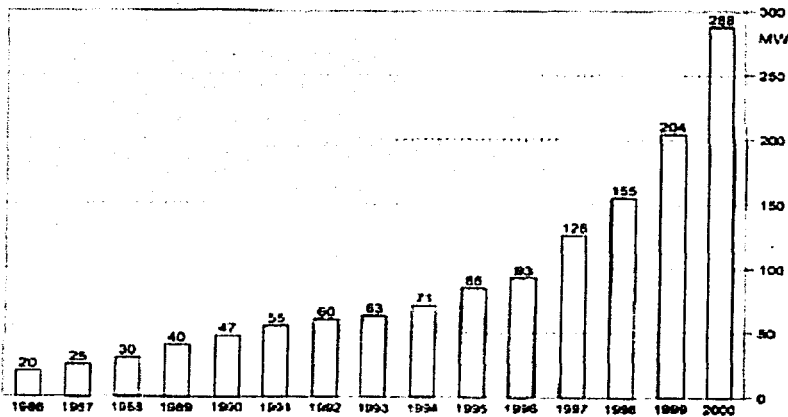
En 1999, en México se instalaron 35 mil m² de colectores solares, principalmente para el calentamiento de albercas, registrándose un ligero incremento del 8% respecto a 1998 y de 40 respecto a 1997¹⁹.

2.1.2 Sistemas de concentración de radiación solar

La generación fototérmica de electricidad, a través de sistemas que concentran la energía solar en una línea, es actualmente una de las aplicaciones más extensas de la energía solar en el mundo, ya que se tienen 354 MW instalados en sistemas que utilizan más de 2.5 millones de m² de concentradores solares en 9 plantas del Solar Energy Generation System en el mundo, SEGS, el cual es un producto de la compañía Luz de Israel.

2.1.3 Fotovoltaica

La tecnología relacionada con la generación de electricidad por procesos fotovoltaicos ha tenido grandes avances. Su costo unitario de potencia se ha reducido más de 20 veces desde 1973, al pasar de 200 a 10 dólares por watt. Esto ha permitido que el uso de esta tecnología se haya generalizado y que se tengan expectativas de mayores reducciones en su precio, lo que la coloca en el umbral de aplicaciones masivas.



Evolución de las ventas de módulos fotovoltaicos.

¹⁹ Idem.

En 1999, la producción de celdas fotovoltaicas a escala mundial prácticamente alcanzó la marca de los 200 MW por año, lo que representó un crecimiento de 29% con respecto a 1998.

También en 1999, la capacidad instalada acumulada en la Comunidad Europea excedió los 123 MW.

Actualmente, e impulsado por un mercado nacional dinámico, Japón supera a los Estados Unidos como líder productor de celdas fotovoltaicas con 80 MW por año.

Capacidad eléctrica instalada en celdas fotovoltaicas (en MW)

País	Capacidad instalada en el final de	Capacidad instalada en el final de
	1998	1999 (estimado)
Alemania	53.9	66.2
Italia	17.68	18.5
Francia	8.0	10.0
Holanda	6.48	9.5
España	8.0	9.0
Austria	2.86	3.46
Resto de la CE	6.54	7.42
Total CE	103.46	123.58
EEUU	127.9	147.0
Japón	133.3	190.0
México	12.0	12.9

2.1.4 Eólica

A partir de las leyes establecidas para promover alternativas al petróleo en los Estados Unidos como resultado de la crisis de 1973, en el estado de California se presentó un fenómeno particular y extraordinario que fue la aparición de las granjas eólicas, grandes arreglos de pequeñas unidades de generación que, agregadas, representan capacidades comparables a las de grandes plantas convencionales. Bajo este esquema, para 1994 California tenía más de 15 mil turbinas eólicas instaladas que generaban la energía equivalente a la consumida por todos los habitantes de la ciudad de San Francisco en un año²⁰.

La experiencia positiva en California desencadenó una ola de desarrollo que llevó a otros estados de la Unión Americana y a otros países a aprovechar las oportunidades de esta tecnología. Actualmente existen varios proyectos en construcción en los estados de Colorado, Iowa, Minnesota, Nebraska, Kansas, Nuevo Mexico, Oregon, Texas, Wisconsin y Wyoming. Todo indica que estos desarrollos elevarán la capacidad eólica de los EU en un 50%, lo suficiente para potenciar más de medio millón de hogares americanos. A comienzos del año 2001 se tenían instalados cerca de 2,800 MW eólicos en Estados Unidos.

²⁰ Idem

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Asimismo, al iniciar el año 2002 se contaba con alrededor de 18,500 MW eólicos en todo el mundo. Con un crecimiento de 38% a escala mundial (4,500 MW), 2000 fue un año excelente para la energía eólica. Con esto, la capacidad de generación de electricidad a partir del viento ha crecido a una tasa anual promedio de 30% en los últimos tres años. Por su parte, la Unión Europea hoy cuenta con un acumulado de cerca de los 12,822 MW, donde Alemania se consolida como primer lugar con 6,113 MW²¹.

En Europa resalta el dinamismo que presenta la península ibérica, donde el mercado de las energías renovables se ha colocado entre los más importantes de Europa, justo detrás de Alemania y Dinamarca. Esto ha ocurrido, en buena medida, como resultado de una agresiva estrategia gubernamental de fomento de alternativas al petróleo y ha resultado en un crecimiento exponencial, duplicándose la capacidad instalada cada año. De esta manera, de una potencia eólica instalada en 1996 de 216 MW, se alcanzó una capacidad acumulada de 2,900 MW para 2001. Resalta, en particular, la provincia española de Navarra, la cual posee la industria eólica de más rápido crecimiento en el mundo ya que, partiendo de cero capacidad de este tipo, pasó a obtener 23% de su electricidad del viento en menos de tres años²².

Todo lo anterior ha causado disminuciones significativas en el costo de la tecnología y de la energía generada por este medio. Ejemplo de esto es la reducción de costos de 50% entre 1992-97. Actualmente los costos promedio de la energía eléctrica generada a partir del viento se ubican entre los 4 y 8 centavos de dólar por kWh generado, los cuales ya están muy cerca de los 2.5 centavos de dólar por kWh que actualmente cuesta la generación convencional mediante tecnología de punta²³.

2.1.5 Minihidráulica

La hidroenergía es quizás la forma más antigua de aprovechamiento de energía para el desarrollo de las actividades productivas de la humanidad. Las ruedas hidráulicas se utilizaron desde el tiempo de los antiguos romanos para actividades como la molienda de granos, los aserraderos o simplemente como fuerza mecánica.

A principio del siglo XX proliferaron en Europa las centrales hidroeléctricas pequeñas con capacidades instaladas de varias decenas o centenas de kilowatts. Después de la segunda guerra mundial se dio un gran auge al desarrollo de la hidroeléctrica de gran capacidad, con centrales en el orden de los cientos de megawatts. La construcción de minicentrales se siguió dando principalmente en varios países de Europa y algunos de Asia.

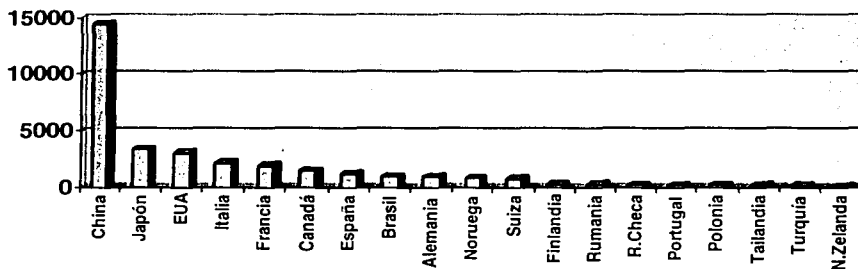
²¹ Idem

²² Idem

²³ Idem

A la fecha existen en todo el mundo cerca de 35,500 MW de potencia global instalada en pequeñas centrales. Para principios del siglo XXI se espera contar con alrededor de 38,700 MW. De estos totales, China cuenta con la mayor capacidad instalada del mundo con alrededor de 14,300 MW, lo cual representa aproximadamente 43% del total, para la capacidad actual y la que se encuentra en construcción y planeada. A éste le siguen Japón y Estados Unidos con 3,381 y 3,019 MW instalados respectivamente. De los países latinoamericanos Brasil se encuentra a la cabeza con alrededor de 950 MW, lo cual lo coloca en octavo lugar mundial en aprovechamiento de pequeños saltos hidráulicos²⁴.

Capacidad instalada para plantas menores a 10 MW (1996)



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.1.6 Biomasa

Con un estimado de 14,000 MW de capacidad instalada alrededor del mundo, la biomasa es la mayor fuente de potencia para generación de energía eléctrica con energías renovables, después de la hidroeléctrica. Estados Unidos es el más grande generador de potencia con biomasa con 7,000 MW instalados. Las expectativas de crecimiento de la generación con biomasa alrededor del mundo son de más de 30,000 MW para el año 2020. China y la India son considerados candidatos perfectos para instalar sistemas con biomasa de manera masiva. Las estimaciones muestran que para el 2015 China deberá tener entre 3,500 y 4,100 MW instalados, y la India entre 1,400 y 1,700 MW. Esto representa un crecimiento acelerado de sus niveles actuales de capacidad instalada de 154 y 59 MW respectivamente. Otros países que muestran un promisorio crecimiento por la variedad de sus sistemas de biomasa son Brasil, Malasia, Filipinas, Indonesia, Australia, Canadá, Inglaterra, Alemania y Francia²⁵.

Es indudablemente Europa quien ha asumido con mayor responsabilidad el proceso de transición a un sistema energético sustentable, siendo Alemania, Dinamarca y España quienes más se han destacado en estos esfuerzos. El caso

²⁴ Idem

²⁵ Idem

de Dinamarca merece ser ejemplificado. Actualmente cubre 7% de su oferta energética con energías renovables, 5% corresponde a biomasa y para el año 2020 planea cubrir el 20% con renovables.

2.2 Potencial y aprovechamiento de las energías renovables en México

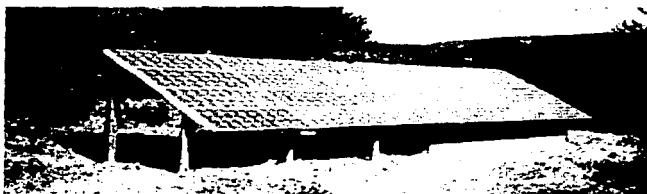
En general, dada la dispersión y la baja densidad energética de las fuentes renovables de energía, se requiere de grandes extensiones de tierra para lograr un nivel de aprovechamiento similar al de los sistemas que operan con combustibles fósiles. Igualmente, los sistemas de aprovechamiento de energías renovables tienen que ubicarse en el lugar donde se dispone del recurso, lo que muchas veces ocurre lejos de donde está la necesidad. Estas circunstancias, sin embargo, no han sido un impedimento para su desarrollo, como lo demuestran los proyectos en operación en el país. De una manera muy general se puede afirmar que la República Mexicana recibe, en seis horas de exposición al Sol, la misma cantidad de energía que consumirá durante todo un año. Esta energía se transforma en calor, viento, agua evaporada y en diversas formas de biomasa y sólo una fracción pequeña es aprovechable para el uso que los humanos le damos a la energía.

En México, existen actividades tendientes al aprovechamiento de la energía solar y sus diversas manifestaciones desde hace varias décadas, aunque es particularmente significativo el avance e interés de instituciones e industrias en las últimas tres, periodo en el que se han desarrollado investigaciones y diversos proyectos, prototipos, equipos y sistemas para el mejor aprovechamiento de las energías renovables.

De manera general, resalta la investigación y desarrollo en energías renovables que arranca en la mitad de la década de los setentas y que continúa hasta la fecha. En este sentido, son importantes las actividades de universidades e institutos, nacionales y regionales, a lo largo y ancho del país. Igualmente importante ha sido el trabajo del difusión y promoción de la Asociación Nacional de Energía solar (ANES), la cual ha unificado a esta comunidad, particularmente a través de sus semanas y reuniones nacionales celebradas anualmente desde 1977. Por otro lado, son importantes los trabajos para la manufactura y comercialización de equipos y sistemas relacionados con las energías renovables, en donde resalta la gran cantidad de fabricantes de calentadores solares planos en el territorio nacional.

Finalmente, para analizar y plantear estrategias nacionales sobre energías renovables, la Secretaría de Energía se ha apoyado en la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), quien a su vez, estableció, desde hace más de tres años una alianza con la ANES y juntas han operado el Consejo Consultivo para el Fomento de las Energías Renovables, COFER, al cual concurren reconocidos especialistas de los sectores público y privado y, en cuyo contexto, se

han organizado media docena de foros públicos sobre asuntos relacionados con la promoción de las energías renovables.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.2.1 Energía solar

El conocimiento general que se tiene de la energía solar en nuestro país indica que más de la mitad del territorio nacional presenta una densidad en promedio energética de 5kWh por metro cuadrado al día. Esto significa que para un dispositivo de colección y transformación de energía solar a energía eléctrica que tuviera una eficiencia de 100%, bastaría un metro cuadrado para proporcionar energía eléctrica a un hogar mexicano promedio que consume 150 kWh por mes. De manera más precisa, considerando eficiencias de 10% para los dispositivos en el mercado, se puede decir que con 200 millones de m² de área de colección de radiación solar (un área de 14,2 Km. por lado) podríamos dar electricidad a todos los hogares mexicanos²⁶.

Esto no significa, sin embargo, que la energía solar directa sea la más económica para el universo de usuarios de energía en el país, ya que su costo actual sólo lo justifica para un número limitado de usuarios, particularmente los que viven alejados de la red eléctrica.

2.2.1.1 Calentamiento solar

En México se fabrican calentadores solares planos desde hace más de cincuenta años y en la actualidad existen cerca de 50 fabricantes registrados de estos equipos. Igualmente, la investigación sobre este tema es amplia y existe un gran número de ingenieros y técnicos que pueden diseñar este tipo de sistemas. Esto se ha reflejado en el crecimiento de la producción de calentadores solares planos desde 1997, habiéndose logrado para 1999 35,000 m² instalados. De esta manera, en 1999 se contaba en el país con 328,000 m² de este tipo de sistemas, la mayoría de ellos instalados en la Ciudad de México, Guadalajara, Cuernavaca y Morelia²⁷.

2.2.1.2 Sistemas térmicos de concentración solar

En México existen instalaciones de este tipo de colectores, resaltando lo que se construyó en el Instituto de Ingeniería de la UNAM a principios de los ochenta en

²⁶ Las energías renovables en México y el mundo. Semblanza. CONAE. Julio 2002.

²⁷ Idem

la Ciudad de México, y que ha sido la base para investigaciones posteriores en nuestro país. Actualmente, esta tecnología se desarrolla en México en cuando menos dos centros de investigación aplicada y en una universidad: el Instituto de Investigaciones Eléctricas, IEE; el Centro de Investigaciones en Energía, CIE de la UNAM y en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México.

2.2.1.3 Fotovoltaica

En el contexto nacional, los pioneros en el desarrollo de tecnología de generación de electricidad, a partir de celdas fotovoltaicas, fueron investigadores del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN, CINVESTAV, quienes desarrollaron una pequeña planta piloto con una capacidad de producción de fotoceldas que permitió, en los años setenta, proveer de electricidad a un número significativo de aulas dentro del sistema nacional de telesecundarias.

A través de un esfuerzo del gobierno federal dentro del Programa Solidaridad, y mediante la participación de instituciones como Comisión Federal de Electricidad (CFE), y los Gobiernos Estatales y municipales, entre otros, se instalaron en México alrededor de 40,000 sistemas fotovoltaicos y otros diez mil por la iniciativa privada para proveer de electricidad a zonas alejadas de la red eléctrica. Esto ha permitido que miles de pequeños poblados cuenten con iluminación eléctrica durante las noches y, en algunos casos, con electricidad para bombeo de agua. Igualmente, el uso de estos sistemas se ha generalizado para la comunicación en sistemas de auxilio e iluminación en carreteras federales, para dar energía a estaciones del sistema de comunicación por microondas y a la telefonía rural.

Asimismo, en México se aplican ampliamente los sistemas fotovoltaicos en sistemas de comunicación telefónica rural. La capacidad instalada en sistemas fotovoltaicos en México, según datos de la ANES, fue de 0.9 MW para el año de 1999, con lo que el acumulado, hasta ese mismo año es de 12.92 MW²⁸.

2.2.2. Energía Eólica

Se estima que el potencial eoloeléctrico técnicamente aprovechable de México alcanza los 5,000 MW, lo que equivale a 14% de la capacidad total de generación eléctrica instalada actualmente. Este potencial tiene ahora mayores posibilidades de desarrollarse por la disminución de sus costos que han llegado a ser casi competitivos con las energías convencionales y por las modificaciones a la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento. En este sentido, resaltan los potenciales identificados en la región del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, en la parte correspondiente a la costa del Pacífico. Se han identificado también sitios en los estados de Baja California Norte y Sur, Coahuila, Hidalgo, Quintana Roo y Zacatecas²⁹.

²⁸ Idem.

²⁹ Idem.

En nuestro país existe desarrollo tecnológico importante en relación con la generación de electricidad a partir del viento. En particular, resalta el trabajo del Instituto de Investigaciones Eléctricas, IIE con más de 20 años de experiencias en el tema. En el sector privado, destaca la capacidad de diseño y manufactura nacionales de este tipo de equipos desarrollados por una empresa que los exporta ensamblados en el Distrito Federal.

Por su parte, la CFE a partir del conocimiento y de la experiencia desarrolladas en el IIE construyó y opera dos plantas eólicas piloto con el objetivo de adentrarse en esta tecnología, reconocer sus ventajas y limitaciones y, validar su integración al Sistema Eléctrico Nacional. En agosto de 1994, la CFE puso en operación una central eoloelectrónica de 1.5 MW de capacidad en La Venta, Oaxaca. En diciembre de 1998, entró en operación la central eólica Guerrero Negro que se ubica en la península de Baja California y tiene una capacidad de 600 kW.

Asimismo, en algunos estados de la República tales como Chihuahua y Sonora, se utilizan sistemas eólicos para bombeo de agua denominados aerobombas, muy útiles en localidades rurales aisladas de la red de suministro o cuyas condiciones geográficas impiden la electrificación convencional.

Finalmente, y desarrolladas con capital privado, se tienen 5 permisos de la Comisión Reguladora de Energía, CRE, para instalar 148 MW a partir de energía eólica³⁰.

2.2.3 Minihidráulica

En 1999, la energía hidráulica aportaba 14.4% de la generación de electricidad en nuestro país, el potencial nacional minihidráulico, es decir, de pequeñas centrales hidroeléctricas de menos de 5 MW es, de acuerdo con estudios realizados por la CONAE y la CFE, de alrededor de 3,000 MW. Tan sólo para una importante región montañosa de México, comprendida entre los estados de Veracruz y Puebla, se han identificado 100 sitios de aprovechamiento que alcanzarían una generación de 3,560 GWh anuales, equivalentes a una capacidad media de 400 MW. Es importante señalar que las condiciones del entorno a esta tecnología han cambiado, permitiendo que su aplicación sea una alternativa viable en muchos casos. Los cambios en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento así como el incremento en los costos de los energéticos convencionales y la demanda creciente de energía eléctrica así lo indican.

Actualmente en México existen minicentrales en operación en la CFE, Luz y Fuerza del Centro (LyFC) y en los sistemas independientes de particulares³¹.

³⁰ CONAE.

³¹ Idem.

Resumen de centrales en operación en México

Inst/Empresa	Num. centrales	Num. Unidades	Potencia Instalada (MW)	(%)	Generación media (GWh)	(%)
CFE	13	30	21.7	28.4	70.3	32
LyFC	9	14	11	14.4	32	14.4
Independientes	61	77	43.5	57	118	53.5
TOTAL	83	121	76.3	100	220.2	100

Las cifras anteriores nos indican que en México la producción minihidráulica es mayoritariamente privada y que lo ha sido desde principio de siglo. Este es un factor a favor de la futura constitución de nuevas empresas particulares que decidan dedicarse al autoabastecimiento de energía eléctrica por este medio.

En resumen, hasta 1994 las posibilidades en el país de aumentar la participación de la energía minihidráulica en la producción de electricidad eran de 158 MW.

2.2.4 Biomasa

En México, sin que exista una evaluación precisa del universo de posibilidades de este tipo de recurso, existe un amplio potencial de aprovechamiento de las diversas formas de biomasa. Las comunidades rurales aisladas del país satisfacen la mayor parte de sus necesidades energéticas con biomasa. Se estima que la leña provee cerca del 75% de la energía de los hogares rurales. En el sector agroindustrial, específicamente la industria de la caña de azúcar, se ha establecido un potencial de generación de electricidad a partir del bagazo de caña superior a 3,000 GWh al año.

Actualmente se tienen 12 permisos de la CRE para instalar 135 MW en plantas de generación eléctrica a partir de biomasa³².

2.3 Legislación

El proyecto de modernización y reforma del Sector eléctrico pretende asimilar y fomentar las mejores prácticas a nivel mundial en el uso de fuentes de energía renovables. El importante crecimiento de la demanda de energía eléctrica y la inadecuada diversificación de las fuentes de generación caracterizada por una fuerte dependencia en combustibles fósiles, resaltan las posibilidades de desarrollo de las fuentes de energía renovables. Una adecuada utilización de las mismas requiere superar ciertas características que las distinguen de las fuentes de energía convencionales:

³² CONAE

- Su disponibilidad es variable
- Sus costos de inversión inicial son elevados
- Las zonas en las que se pueden explotar regularmente se encuentran lejos de los centros de consumo

El marco regulatorio en el que estas centrales operarán será crucial para asegurar su adecuada expansión debido a sus fuertes requerimientos de inversión que demandan de largos plazos para poder ser amortizados. Adicionalmente, estas fuentes suelen contar con economías que se derivan de la mayor experiencia en su operación por lo que su costo de mantenimiento se reduce a medida que se expande su uso. En ese sentido, para lograr que se incremente el uso de estas fuentes y aprovechar dichas ventajas, es fundamental que los inversionistas cuenten con incentivos y esquemas de financiamiento flexibles que les proporcionen la seguridad de recuperar sus inversiones y que a su vez los consumidores estén dispuestos a compartir parte de ese esfuerzo al momento de solicitar suministro eléctrico que provenga de energías renovables.

Bajo la estructura propuesta, se plantea promover el uso de electricidad generada a partir de fuentes renovables de manera costo-eficiente y equitativa, es decir, bajo un esquema que afecte lo menos posible la operación del despacho de generación eléctrica. Bajo esta premisa se fomentará el uso de éstas tecnologías otorgando incentivos a su utilización. Así, se incentivará que las empresas pacten una combinación de contratos con generadores basados en energías renovables. Se promoverá que dichos contratos se lleven a cabo durante la etapa de planeación de cada proyecto con el fin de contar con las garantías necesarias para financiar su inversión. Para propiciar la proliferación de estos contratos se buscará apoyar mediante distintos estímulos económicos a sus compradores y vendedores, para que puedan recuperar parcialmente la diferencia entre el precio de despacho de generación y el precio de sus contratos. Dichos contratos se llevarán a cabo exclusivamente con autoconsumidores, en virtud de que los usuarios de servicio público sólo podrán comprar la energía más barata y accesible³³.

La utilización de fuentes alternas de energía constituye un motor de desarrollo regional importante, como es el caso de la energía eólica en los estados de Oaxaca, Hidalgo y Zacatecas, las minihidráulicas en Chiapas, Veracruz, Puebla y Tabasco, y la biomasa en Michoacán y Guerrero³⁴.

³³ Propuesta de modernización del Sector eléctrico. CONAE.

³⁴ Idem.

3. ESTUDIO DE LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS DEL RANCHO SAN ANTONIO

3.1 Situación Actual

El rancho San Antonio se encuentra en el kilómetro 4 del camino de terracería que une a la Comunidad de San Francisco con la carretera estatal Pachuca-Zempoala-Ciudad Sahagún, ubicado dentro del municipio hidalguense de Zempoala.

La construcción data de principios de siglo XX, siendo la piedra el material predominante. Su uso ha sido hasta la fecha como casa de campo y en menor medida explotación de maguey debido a la escasa infraestructura que presenta para la explotación de la tierra.

Antiguamente fue un rancho dedicado a la explotación del maguey y al procesado del pulque, que después por razones no conocidas fue abandonado.



Fachada principal del Rancho San Antonio

Se encuentra a 1 Km. de la red de suministro eléctrico, a 3 Km. de la red de agua entubada y a otros 3 Km. del sistema de drenaje municipal, lo que significa que éste no cuenta ni con agua, ni con luz y tampoco con drenaje.

Cabe mencionar que en las proximidades se encuentran varias comunidades que no superan los 100 habitantes y que presentan las mismas carencias de energía eléctrica y agua entubada que el Rancho San Antonio³⁵.

El dueño actual, J. Alfredo González muestra gran interés en instalar energía eléctrica fotovoltaica y así poder dotar del mínimo de energía a la construcción. Su intención es la de explotar en lo posible la tierra y mejorar las condiciones de vida de sus habitantes: una familia de 6 miembros: padre, madre, 3 niñas de 10, 8, y 7 años y 1 niño de 6 años.

La superficie dónde se encuentra la construcción consta de 500 m², de los cuales gran parte son patios y corrales.

La superficie habitable de la construcción es la siguiente:

Función	Área (m²)
Sala	32.5
Estudio	25.5
Cocina	10
Baño	2
Recámara 1	17
Recámara 2	12
Comedor	28
Otras habitaciones	30
Total superficie habitable	157

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

3.1.1 Situación geográfica

La ubicación geográfica del Rancho San Antonio aproximada es: 19°80' N, 98°40' W. Estos datos, principalmente la latitud, nos serán indispensables para el diseño de la instalación solar.

Altitud:	2 400 m.s.n.m
Clima:	BS1k – Seco en verano e invierno
Vegetación:	M – Matorrales
Uso potencial agrícola:	A6 – No aptas para la agricultura
Uso potencial pecuario:	P3 – Para el aprovechamiento de la vegetación natural diferente del pastizal

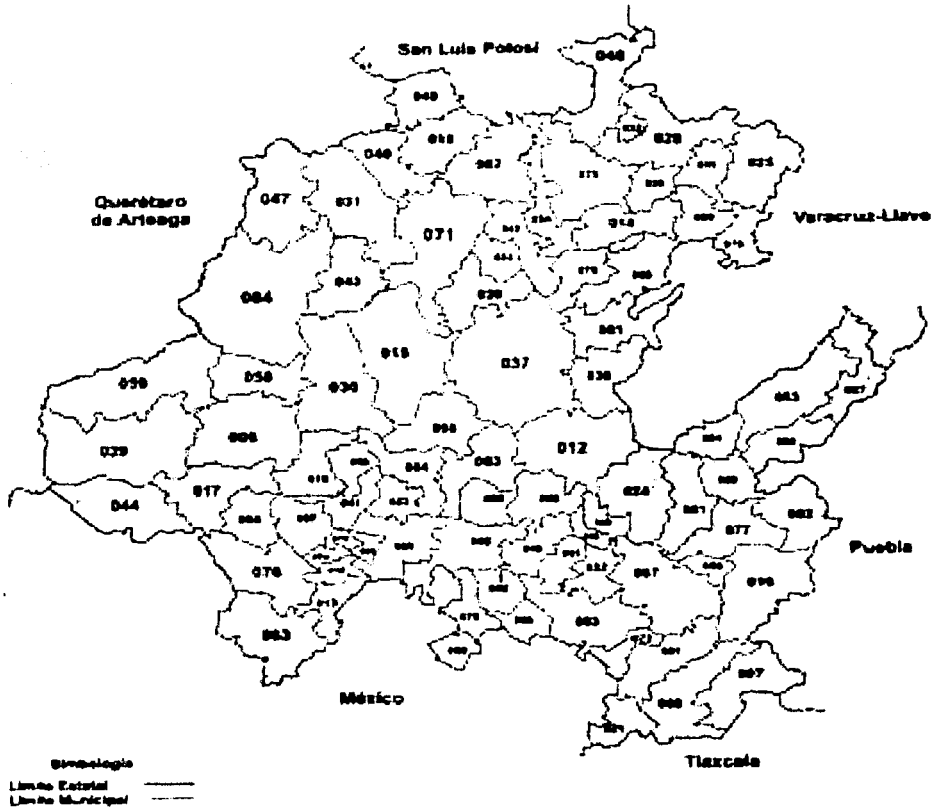
- INEGI. Censo 2000. Estado de Hidalgo. Municipio de Zempoala

³⁵ INEGI. Estado de Hidalgo.



Mapa de la República Mexicana

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

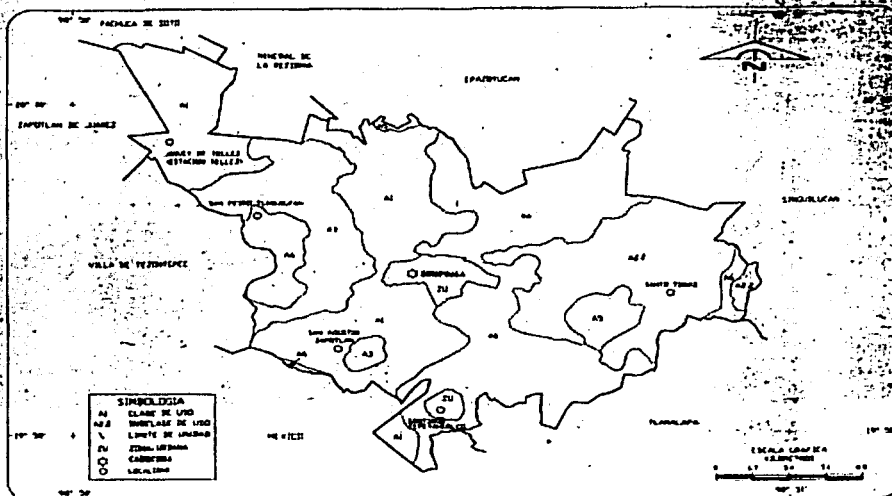


Mapa del Estado de Hidalgo. Municipio de Zempoala bajo el código 083



Municipio de Zempoala

Uso Potencial Agrícola



La temperatura presenta el siguiente comportamiento (°C):

Media	11.9	13.7	16	16.3	17.3	15.9	15.9	15	15.7	14.8	15.2	11.7
Máx	22	24.7	27.7	27.8	27.5	23	24.4	22.6	24.4	23.5	25.2	23
Días	27	12	30	22	12	4	15	28	22	28	11	17
Mín	0.9	-0.2	6.5	4.8	7	9.6	9.4	8.3	6.3	8	7	4
Días	18	9	16	5	16	4	20	17	29	31	4	12

* INEGI. Censo 2000. Estado de Hidalgo. Municipio de Zempoala

La irradiación global media mensual es la siguiente (kWh/m² día):

kWh/m ²	4.6	5.1	5.6	6.8	6.0	5.7	5.9	5.8	5.3	4.9	4.6	4.2
--------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

*CONAE.

3.1.2 Situación demográfica

El Rancho San Antonio se encuentra muy cerca de la comunidad rural de San Francisco con apenas 60 habitantes, algunos de los cuales ocasionalmente trabajan para San Antonio.

Las características de población del municipio en comparación con las del estado se resumen en la siguiente tabla:

Estado de Hidalgo	2'235,591	12%	33%	10%
Municipio de Zempoala	24,516	10%	19%	7%
San Francisco	54	40%	50%	100%
R. San Antonio	6	33%	100%	100%

* INEGI. Censo 2000. Estado de Hidalgo. Municipio de Zempoala

Los habitantes de R. San Antonio viven en él desde hace ya más de 10 años. Su relación con el dueño es de ayuda mutua: ellos cuidan de la construcción y las tierras sin goce de sueldo y, a cambio, ellos pueden explotar los recursos de manera moderada.

Entre las actividades que realizan están la cría de pollos, la explotación del maguey (aguamiel, pulque e ixtle), la caza de conejo y en temporadas propicias la siembra de frijol y haba para consumo propio.

Las ganancias que reciben son limitadas, apenas para llevar una vida humilde. Las niñas asisten a la primaria más cercana (a 1 Km. de distancia), puesto que el menor comenzará en septiembre de este año (2003).

El agua les es traída en bidones por un lugareño, el cual se dedica a esta actividad, llevar agua a las comunidades de la zona.

Colectan pencas de maguey secas que utilizan como leña para cocinar, puesto que dada las características de la zona, semiárida, la vegetación es pobre en leña, abundando las cactáceas y matorrales de menor tamaño.

Las velas y los quinqués de gasolina son la única fuente de iluminación de los habitantes.

3.2 Necesidades energéticas

La idea de instalar energía fotovoltaica tiene por objetivo mejorar las condiciones de vida de la familia de la siguiente forma:

- Brindarles iluminación y energía eléctrica para pequeños aparatos electrónicos (radio y televisión).
- Conectar una bomba de agua para uso en baño, cocina y corral, obteniéndola ésta de un ojo de agua ubicado en la parte trasera de la construcción. El agua no será tratada de momento.
- Energía para conectar un refrigerador.



Campos de maguey del Rancho San Antonio

3.2.1 Energía solar

Para poder dimensionar la instalación fotovoltaica se han recopilado los consumos diarios previstos a petición del dueño, puesto que su proyecto es el de retirarse en un par de años a vivir allí:

Concepto	Potencia requerida (W)	Tiempo (horas/día)	Consumo (W h/día)
Cocina	32	5	160
Baño	17	1	17
Cuarto de estar	17	3	51
Estudio	32	3	96
Comedor	32	3	96
Recámara 1	17	1	17
Recámara 2	17	1	17
Recámara 3	17	1	17
TV	40	4	160
Refrigerador a gas	7	24	168
Radio/ap.eléct.	20	4	80
Entrada/Pórtico	17	2	34
Bomba de agua	100	3	300
Total potencia	348	Total consumo:	1,205

La **potencia máxima de consumo simultáneo** se calcula mirando los consumos probables en las horas pico, ya que nunca van a estar todos simultáneamente activos. Es decir, por la noche, contando con el refrigerador, televisión y alumbrado de habitaciones o, por el día se suma el consumo de la bomba de agua, el refrigerador y si acaso el uso de la televisión o el radio por un par de horas; así llegamos al estimado de **200 W**, cantidad en la que se contempla un margen de pérdidas y consumos extremos. Este dato es importante para elegir el fusible de seguridad o el interruptor automático por exceso de intensidad.

Como será necesario el **uso de un convertidor** habrá dos circuitos, uno de corriente alterna para la bomba de agua, refrigerador y aparatos eléctricos que funcionará a un voltaje de 110 V; y uno de corriente continua para el alumbrado general, el cual utilizará otro voltaje y para ello será preciso detallar la potencia y rendimiento de éste, puesto que su rendimiento afectará a una parte del consumo.

La **tensión de consumo** para la iluminación deberá ser de **12 V ó 24 V**, así tendremos una **corriente nominal de 8.33 A ó 4.16 A** respectivamente.

Con esto llegaremos a calcular la **Energía requerida E_T** , que será la suma de los consumos más las pérdidas de aquellos aparatos que usan convertidor.

En el caso de la bomba de agua se tendrá en cuenta que su potencia está dada por el voltaje V y la intensidad i que consumen, pero la potencia real viene dada por el producto iV multiplicado a su vez por el llamado factor de potencia, el cual normalmente se estima de 0.85³⁶.

Siempre que sea posible, se deberá desconectar totalmente el aparato cuando no se esté utilizando.

3.2.2 Red de suministro municipal

Según la norma NOM-001-SEDE-1999 si tenemos 157 m² habitables, por cada m² se dispondrá de 30 VA. Así que, para el caso de conectarnos a la red de alumbrado los requerimientos mínimos de energía serían de:

$$157 \text{ m}^2 \times 30 \text{ VA} = 4,710 \text{ VA} = \text{Carga mínima de alumbrado}$$

y necesitaremos de los siguientes elementos:

- Postes de luz debidamente aterrizados.
- Transformador.
- Cables Fase
- Cable Neutro
- Acometida
- Sistema de protección

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

³⁶ Manual de Instalaciones fotovoltaicas. Censolar, Sevilla 2002.

Dada la distancia a la que se encuentra la posible toma a red de 1 Km., la compañía de luz nos da el siguiente presupuesto:

Cantidad	Concepto	Precio MXP*
15	Postes aterrizados, colocados y aislados	345,000.00
3	Km. Conductor	2,000.00
1	Transformador	50,000.00
1	Acometida y sistema de protección	10,000.00
Total		407,000.00

* Pesos mexicanos.

El presupuesto será nuevamente analizado al final del estudio para compararlo con el de la instalación solar.



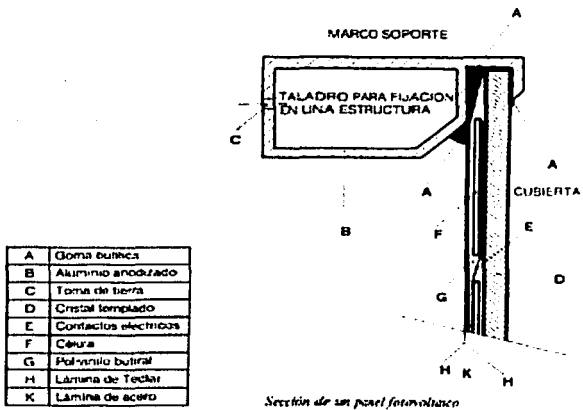
Carretera a San Francisco que pasa por el costado este de San Antonio

4. PROYECTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

4.1 Paneles fotovoltaicos

Los paneles 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 o 7 Kg.) y, aunque rígidos en apariencia, son capaces de sufrir ligeras deformaciones para adaptarse a los esfuerzos mecánicos a que pudieran verse sometidos.

Un corte transversal de un panel típico se presenta en la figura siguiente. En él se aprecian los distintos componentes:



- Una cubierta de vidrio templado (en algún modelo 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. El encapsulante sirve de protección a las celdas, que son los elementos más delicados del panel.

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 recubiertas 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 posteriores opacas y de color claro presentan la ventaja adicional de reflejar la luz que ha logrado pasar por los intersticios de las celdas, haciendo que ésta vuelva hacia la parte frontal del panel, donde puede ser de nuevo reflejada por la cara interior de la cubierta frontal e incidir otra vez sobre las celdas.
- 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 necesarios para el montaje del panel en el bastidor, sin necesidad de manipulación alguna por parte del operario montador que pueda debilitar el panel.

Los contactos eléctricos exteriores deberán asegurar una perfecta aislación cuando se efectúe la unión con el conductor exterior o con otros paneles. Algunos paneles llevan también preparada una toma de tierra que será preciso usar cuando, por acoplarse un cierto número de paneles, la potencia total vaya a ser considerable.

4.1.1 Características eléctricas

La respuesta de un panel frente a la radiación solar vendrá determinada por la de las celdas que lo forman, pudiendo ser descrita mediante varios parámetros que definiremos a continuación:

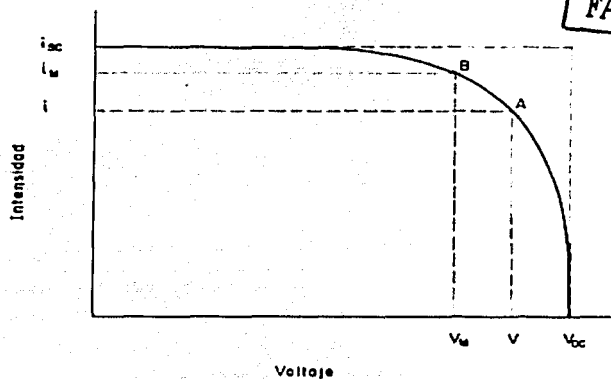
- **Corriente de cortocircuito (i_{sc}).** Es la intensidad máxima de la corriente que se puede obtener de un panel bajo unas determinadas condiciones (generalmente normalizadas). Correspondería a la medida, mediante un amperímetro (de resistencia prácticamente nula), de la corriente entre los bornes del panel, sin ninguna otra resistencia adicional, esto es, provocando un cortocircuito. Al no existir resistencia alguna al paso de la corriente, la caída de potencial es cero.
- **Voltaje a circuito abierto (V_{oc}).** Es el voltaje máximo que se podría medir con un voltímetro sin permitir que pase corriente alguna entre los bornes de un panel, es decir, en condiciones de circuito abierto (resistencia entre bornes infinita).
- **Corriente (i) a un determinado voltaje (V).** Las dos definiciones anteriores corresponden a casos extremos. En la práctica, lo usual es que un panel produzca una determinada corriente eléctrica que fluye a través del circuito externo que une los bornes del mismo y que posee una determinada resistencia R . Si la diferencia de potencial entre los bornes es V , decimos que la corriente de intensidad i se produce a un voltaje V .
- **Potencia máxima (P_M).** En unas condiciones determinadas la intensidad i tendrá un cierto valor comprendido entre 0 e i_{sc} , correspondiéndole un voltaje V que tomará un valor entre 0 y V_{oc} . Dado que la potencia es el

producto del voltaje y la intensidad, ésta será máxima únicamente para un cierto par de valores i , V , en principio desconocidos.

Decimos que un panel trabaja en condiciones de potencia máxima cuando la resistencia del circuito externo es tal que determina unos valores de i_M y V_M tales que su producto sea máximo. Normalmente un panel no trabaja en condiciones de potencia máxima, ya que la resistencia exterior está fijada por las características propias del circuito, y aunque existe la posibilidad de utilizar dispositivos electrónicos conocidos como seguidores del punto de máxima potencia, esto supone un costo adicional y no suelen emplearse en pequeñas instalaciones.

- **Eficiencia total del panel.** Es el cociente entre la potencia eléctrica producida por éste y la potencia de la radiación incidente sobre el mismo.
- **Factor de forma (FF).** Es un concepto teórico, útil para medir la forma de la curva definida por las variables i y V .

$$FF = P_M / (i_{sc}V_{oc}) = i_M V_M / (i_{sc}V_{oc})$$



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

La ecuación matemática que relaciona la intensidad i con el voltaje V producidos por un módulo o panel fotovoltaico puede expresarse, de manera aproximada, así:

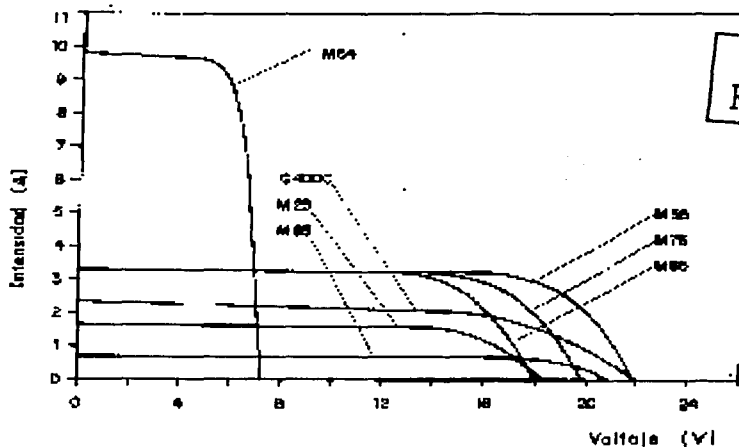
$$i = i_{sc} [1 - e^{-B(V-V_{oc}+Ai)}]$$

o bien, despejando V en función de i :

$$V = V_{oc} - Ai + (1/B) \ln (1 - i/i_{sc})$$

donde **A** y **B** son dos parámetros que dependen de las características del módulo y de las condiciones a que está sometido.

Una forma de hallar el valor de dichas constantes en cada caso particular es medir experimentalmente, mediante un voltímetro y un amperímetro, los valores de V e i que el módulo suministra, bajo unas mismas condiciones de intensidad radiante incidente, variando la resistencia del circuito externo (carga del circuito). Se necesitan al menos cuatro pares de valores (V, i), a fin de poder plantear un sistema de cuatro ecuaciones y cuatro incógnitas: V_{oc} , i_{sc} , A y B . Una vez calculadas y sustituidas en las ecuaciones anteriores habremos obtenido una relación entre V e i válida únicamente para el valor de intensidad radiante bajo el cual hayamos efectuado las medidas. Dicha relación, debido al carácter aproximado que tiene, no es válida para cálculos que requieran precisión.



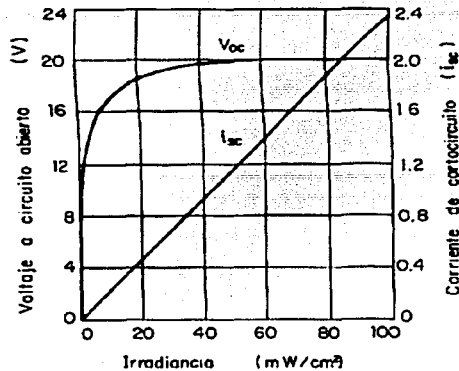
TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Curvas $i-V$ para diferentes modelos de paneles, obtenidas a 25°C y una intensidad 1000 W/m^2 . (Cortés de ARCO Solar Inc.)

Según el número de celdas en serie de que conste el panel (cada una de ellas es capaz de producir un voltaje alrededor de medio volt), puede generar voltajes adecuados para trabajar a 6, 12 ó 24 V. También el tipo de material semiconductor influye en estas características.

Si se modifican la intensidad radiante sobre el panel o la temperatura ambiente que son las dos variables que más influencia tienen en la respuesta eléctrica del mismo, la curva $i-V$ también se modifica.

El estándar internacionalmente aceptado para medir respuestas de paneles fotovoltaicos es una intensidad radiante de 1000 W/m^2 , que se conoce como una intensidad de un Sol, y una temperatura de la celda de 25°C . Dichas condiciones se simulan en los laboratorios de ensayo por medio de un simulador solar (focos eléctricos que emiten un espectro luminoso muy similar al del Sol).

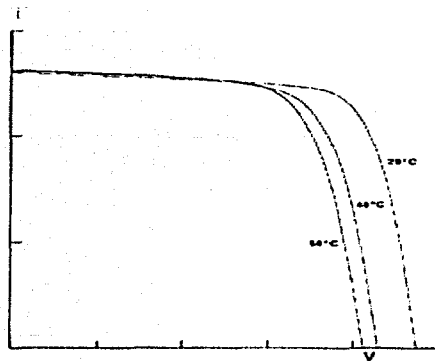


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Variaciones de V_{oc} (ordenada izquierda) y de I_{sc} (ordenada derecha) en función de la irradiancia incidente.

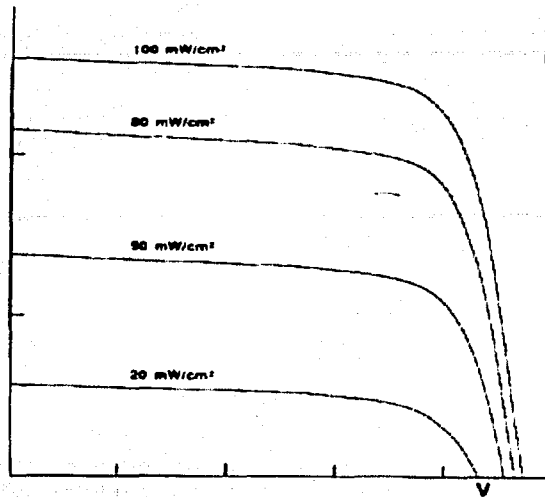
Cortesía Arco Solar Inc.

La intensidad de la corriente eléctrica es aproximadamente proporcional a la intensidad de la radiación incidente, lo cual resulta lógico pues si, por ejemplo, se duplica el número de fotones incidentes sobre las celdas, se duplicará (hasta cierto límite) el número de choques con electrones. El voltaje también aumenta con la radiación, pero siguiendo una curva exponencial muy diferente a la de la corriente.



Efecto de la variación de la temperatura (manteniendo constante la intensidad radiante) sobre la curva $I-V$.

Cortesía Arco Solar Inc.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Efecto de la variación de la intensidad radiante, medida en milivatios por centímetro cuadrado (manteniendo constante la temperatura), sobre la curva i-V.

Cortesía Arco Solar Inc.

“En la práctica, la potencia del panel disminuye aproximadamente un 0.5% por cada grado de aumento de la temperatura de la celda por encima de los 25°C.

El incremento de temperatura de la celda respecto a la temperatura del aire depende de las características de la misma y de las de construcción del propio panel. Así se tiene que:

$$\Delta t^{\circ} = 0.034 I - 4 \text{ }^{37}$$

La potencia nominal pico es la proporcionada al recibir el panel una irradiación de 1000 W/m² cuando la temperatura de las celdas es de 25°C. El nombre de pico hace referencia a que una intensidad radiante de 1000 W/m² constituye un pico máximo en las medidas reales de la intensidad radiante (correspondiente más o menos a la obtenida en un día claro con el Sol cercano al cenit).

En la mayor parte del tiempo la intensidad radiante recibida por el panel es inferior a 1000 W/m², por lo que la potencia real producida será también inferior a la nominal pico. Las potencias nominales más usuales que se pueden encontrar en el mercado son: 5, 10, 20, 35, 40, 60 y 100 W.

³⁷ Censolar. Instalaciones Fotovoltaicas. Sevilla 2002.

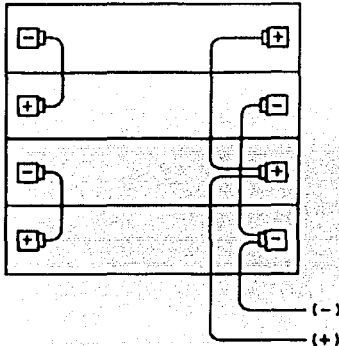
4.1.2 Interconexión

Los paneles están diseñados para formar una estructura modular, siendo posible combinarlos entre sí en serie, en paralelo o de forma mixta, a fin de obtener la tensión e intensidad deseadas.

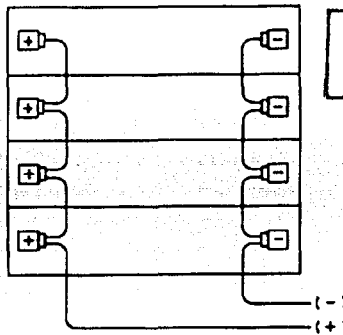
Al igual que cualquier fuente de fuerza electromotriz, el acoplamiento de dos o más paneles en serie produce un voltaje igual a la suma de los voltajes individuales de cada panel, manteniéndose invariable la intensidad. En paralelo, es la intensidad la que aumenta, permaneciendo igual el voltaje.

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

Si en un grupo de varios módulos conectados en serie, uno de ellos falla, bien por avería interna o por recibir temporalmente sombra, dicho módulo se convierte en una carga resistiva que dificultará en sobremanera, o impedirá totalmente, el paso a su través de la corriente generada por los demás módulos de la serie. Toda la hilera de módulos en serie quedaría, pues, fuera de servicio e incluso pudiera ocurrir que la generación de calor por efecto Joule, que se producirá en el módulo afectado, termine por arruinarlo totalmente.



Conexión de dos grupos en paralelo, cada uno formado por dos paneles en serie. Tensión de salida 24 V.



Conexión de 4 paneles en paralelo. Tensión de salida: 12 V.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Fuente: Instalaciones Fotovoltaicas. Consolar.

Para prevenir la anterior circunstancia, los módulos conectados en serie se dotan de un pequeño elemento denominado diodo de by-pass conectado en paralelo entre sus terminales. Dicho elemento proporciona un camino alternativo a la

corriente generada por los demás módulos de la serie en el caso de que ésta encuentre una anormal resistencia a fluir por el propio módulo. El diodo de by-pass se conecta con su cátodo unido al terminal positivo del módulo.

4.1.3 Estructura de soporte y anclaje

El bastidor que sujeta al panel, la estructura soporte del mismo y el sistema de sujeción son tan importantes como el propio panel, pues una falla en estos elementos conlleva la inmediata paralización de la instalación.

Hay que considerar que el principal enemigo no es el peso de los paneles, sino la fuerza del viento que, como sabemos, puede llegar a ser muy considerable.

Si, debido a un viento huracanado (que se produce con bastante probabilidad alguna vez cada cierto número de años, dependiendo de la zona), se desprenden algunos paneles, es casi seguro que al caer al suelo resultarán rotos o muy dañados, habiendo de ser sustituidos. Dado el elevado costo de estos elementos, se comprende la necesidad de cuidar que la estructura de soporte y sujeción sea lo suficientemente segura y sólida, aún a riesgo de parecer exageradamente fuerte. En cualquier caso, la estructura deberá resistir vientos de, como mínimo, 150 km/h.

La estructura soporte también cumple la importante misión de fijar la inclinación que tomarán los colectores (que se instalarán siempre mirando hacia el ecuador).

En cuanto a los anclajes o empotramiento de la estructura, se utilizan bloques de hormigón y tornillos roscados. Tanto la estructura como los soportes habrán de ser preferiblemente de aluminio anodizado, acero inoxidable o hierro galvanizado, y la tornillería de acero inoxidable.

Según los casos y las características de instalación, los paneles fotovoltaicos pueden instalarse en estructuras que descansen sobre el suelo, sobre un paramento vertical, sobre el tejado o terraza, etc.

Se recomienda conectar la estructura a una toma de tierra, ajustándose a las especificaciones de la NOM-001-SEDE-1999.

4.2 Componentes de la instalación fotovoltaica

4.2.1 Acumuladores

Excepto en algunos casos, como puede ser el bombeo de agua, en el que las bombas pueden conectarse directamente al circuito de paneles, no requiriendo acumuladores, o en instalaciones de conexión a red, estos elementos están presentes en las instalaciones fotovoltaicas y representan un papel primordial para el buen funcionamiento y duración de las mismas.

Como fácilmente se comprende, 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.

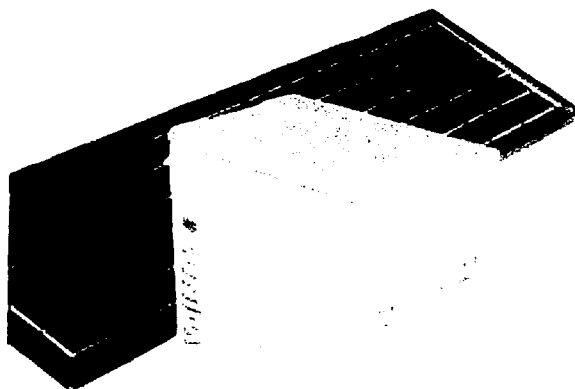
Además, el acumulador cumple también dos importantes misiones:

1. Suministrar una potencia instantánea, o durante un tiempo limitado, superior a la que el campo de paneles podría generar aún en los momentos más favorables posibles. Tal es el caso de los arranques de los motores, por ejemplo los de los refrigeradores, que requieren durante unos segundos una potencia varias veces superior a la de su normal funcionamiento.
2. Mantener un nivel de tensión estable. Como hemos visto, la tensión de salida del panel varía en función de la intensidad radiante, lo cual puede no ser adecuado para el funcionamiento de los aparatos. El acumulador proporciona un 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, digamos 19 V, no quiere esto decir que al conectarlos a una batería de 12 V 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 12 V (si la intensidad es suficiente, la tensión en bornes de la batería puede incrementarse en uno o dos voltios).

El acumulador fotovoltaico nunca va a estar sometido a intensidades de descarga grandes, por lo que su capacidad real superará incluso a la nominal especificada por el fabricante. Cuando hacemos alusión a la capacidad del acumulador, normalmente nos estamos refiriendo a un tiempo de descarga de 100 horas o

más, pues de este orden de magnitud sería el tiempo de autonomía que es exigible a la instalación³⁸.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Batería de Ni-Cd, de baja auto-descarga, apta para aplicaciones fotovoltaicas. Una batería de Ni-Cd se compone básicamente de placas positivas de óxido de níquel, placas negativas de cadmio y una solución acuosa de hidróxido de potasio. El electrolito, en este tipo de baterías, no interviene en las reacciones químicas, actuando únicamente como medio que permite el movimiento de los iones de un electrodos a otro, por lo que la batería puede suministrar prácticamente el mismo flujo de energía a voltaje constante durante todo el ciclo de descarga. (Cortés de NAB SIF)

Básicamente, las dos grandes clases de baterías que se utilizan para aplicaciones fotovoltaicas son las de níquel-cadmio y las de plomo-ácido.

Las primeras son más caras pero ofrecen una excelente fiabilidad y resistencia. 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 la de 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 las de plomo-ácido, por otra parte ya muy experimentados y fiables.

³⁸ Censolar. Instalaciones Fotovoltaicas 2002.

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 voltios, uniéndose en serie 6 ó 12 de estos elementos para conseguir la tensión de 12 ó 24 voltios deseada. La conexión se efectúa mediante atornillado.

4.2.1.1 Ciclos de descarga

Durante el día en una instalación fotovoltaica, 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 disipará en forma de calor o se impedirá el paso de corriente mediante algún dispositivo automático.

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

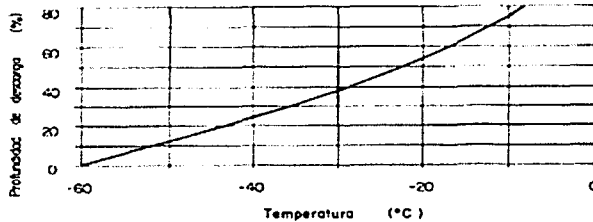
Así, el ciclo de carga-descarga se repite diariamente, siempre que la intensidad incidente sea suficiente (días claros o parcialmente nublados).

La **profundidad de descarga (p_d)** 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 y esta 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 y al 20% si se utiliza una batería normal de automóvil (no recomendado).

Las instalaciones de energía solar pueden presentar, según los casos, ciclajes de periodicidad diaria o mayores. Suponiendo una media de un ciclo por día y si el mantenimiento de la batería es correcto y ésta es adecuada para el uso que se le da, la vida útil mínima que debiera tener sería de unos 10 años. Las baterías más económicas pueden resultar a la larga más caras al tener que remplazarlas cada pocos años.

No solamente el número de ciclos influye en la vida de una batería, sino la profundidad de descarga media que se produce en cada uno de ellos. Si ésta es moderada, como corresponde y, sólo ocasionalmente, se alcanzan profundidades elevadas, el número de ciclos que soportará la batería será muy grande, llegando a superar el tiempo previsto de vida útil. A medida que sometamos a la batería a descargas más profundas y con más frecuencia, disminuirá el número de ciclos que pueda realizar en estas condiciones. De ahí la importancia de elegir un acumulador con una capacidad nominal suficiente para que la profundidad de descarga necesaria no represente más que un moderado porcentaje de dicha capacidad.

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



Punto de congelación de una batería de plomo-ácido en función de la profundidad de descarga.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.2.2 Reguladores

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 mantenerse a plena carga (que en periodos 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:

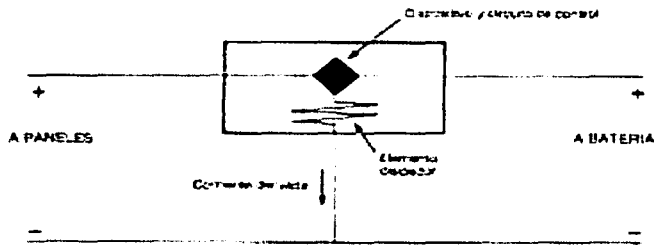
1. El voltaje máximo admisible, o voltaje de regulación. Es el máximo voltaje que el regulador permite que sea aplicado a la batería.
2. El intervalo de histéresis superior. Se denomina así a la diferencia entre el voltaje máximo de regulación y el voltaje al cual el regulador permite el paso de toda 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.

3. Voltaje de desconexión. Es el valor al cual se desconectan automáticamente las cargas de consumo, a fin de prevenir una sobredescarga de la batería.
4. 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.

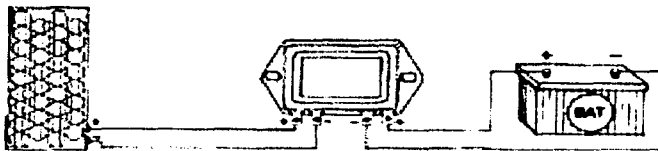
Existen dos tipos de reguladores, según el sistema que empleen para lograr su objetivo: los de tipo paralelo (también denominados reguladores shunt) y los de tipo serie.

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.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Esquema de la instalación de un regulador tipo shunt.



Croquis del conexionado de un pequeño regulador shunt. Al efectuar el montaje ha de conectarse primero el circuito de la batería y después el de paneles, a fin de evitar el paso momentáneo de toda la intensidad por el circuito de disipación.

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.

Los reguladores 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.

Un relé de alta fiabilidad –mecánico o de estado sólido- comandado por un dispositivo electrónico de control se encarga de abrir o cerrar el circuito, según la tensión detectada.

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

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 aprovecharla 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 aprovecharse la estructura externa del regulador para integrar, formando un conjunto compacto, una serie de instrumentos que complementan la función del mismo y efectúan un control de la instalación. Así, es frecuente disponer de amperímetro y voltímetro –graduado con una escala adecuada a la potencia y voltaje del campo de paneles- una alarma para avisar de baja tensión en batería, un sensor de temperatura que regula automáticamente el valor de la tensión máxima de carga que es función de la temperatura y, en los modelos más completos, que son verdaderas centrales de control, se incorporan también desconectadores automáticos del circuito de consumo por baja tensión, contadores de A h, visualizadores digitales, etc.

Un elemento especialmente importante que suele incorporarse también al regulador es un diodo de bloqueo, que permite el paso de la corriente en un solo sentido (del panel hacia la batería) y no en sentido contrario. Dicho diodo es necesario para evitar que, cuando las condiciones de iluminación sean débiles o nulas (noches), al ser la tensión de la batería superior a la que es capaz de generarse en el panel, la batería se descargue haciendo circular corriente a través del circuito de paneles. Aunque dicha corriente, debido a la resistencia de la celda fotovoltaica a ser atravesada por una corriente de sentido inverso al de la naturalmente generada, es siempre pequeña, no es deseable, pues podría perjudicar al panel y siempre representaría un derroche de energía innecesario. El diodo de bloqueo, que no hay que confundir con el diodo de by-pass, tiene una misión diferente, es el equivalente eléctrico de la válvula anti-retorno de los circuitos hidráulicos.

4.2.3 Convertidores

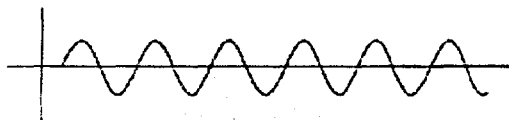
Los convertidores son dispositivos capaces de alterar la tensión y característica de la corriente eléctrica que reciben, transformándola de manera que resulte más apta para los usos específicos a que vaya destinada en cada caso.

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

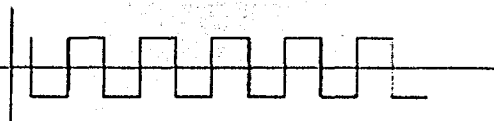
El procedimiento normal de funcionamiento de un equipo CC-CC es convertir previamente, mediante un dispositivo electrónico inversor, la corriente continua de entrada en corriente alterna, la cual es elevada o reducida de tensión mediante un simple transformador, volviéndose posteriormente a convertirla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

Onda
Senoidal

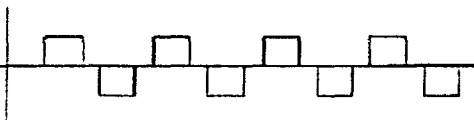


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Onda
Cuadrada



Onda
Cuadrada
Modificada



Los convertidores CC-CA permiten transformar la corriente continua de 12 ó 24 V que producen los paneles y almacena la batería, en corriente alterna de 125 ó 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 es la inevitable pérdida de energía en el propio convertidor, el cual, como veremos, tiene un rendimiento que en determinadas circunstancias 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 la onda característica de la corriente que el convertidor produce, se habla de convertidores de onda cuadrada, de onda cuadrada modificada, de onda senoidal (o sinusoidal) modificada o cuasi-senoidal, y de onda 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 uno de onda cuadrada, que resulta mucho más económico.

4.2.4 Otros elementos

Además de los tres elementos característicos de la mayoría de las instalaciones fotovoltaicas (paneles, batería y regulador), existen varios accesorios que, aunque no estrictamente imprescindibles, son recomendables en aras de una mayor seguridad o control de la instalación. A menudo estos elementos vienen presentados por los distintos fabricantes en carcasas que agrupan a varios de ellos, para facilitar su montaje y para mayor comodidad del usuario.

4.2.4.1 Alarmas y desconectadores por bajo voltaje

Si, por circunstancias imprevistas o debido a un inadecuado dimensionamiento, 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, aún a costa de interrumpirlo, hasta que ésta haya recuperado un nivel de carga mínimo. En instalaciones medias y grandes pueden montarse varios desconectadores 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.

4.2.4.2 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.

4.2.4.3 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.

Existen 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 microinterruptores.

4.2.4.4 Dispositivos de control y medida

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 con un voltímetro y un amperímetro, con posibilidad de realizar medidas en el circuito primario paneles-regulador y en el secundario batería-carga de consumo, será suficiente, aunque también pueden resultar útiles los denominados contadores de amperes hora que, como lo indica su nombre, miden la cantidad de electricidad que ha circulado por una línea eléctrica en un tiempo determinado, permitiendo conocer, tanto la carga que aportan los paneles, como los consumos acumulados.

4.2.4.5 Bombas de extracción de agua

Aunque este es un accesorio que no es propiamente específico de las instalaciones fotovoltaicas, la extensa aplicación que encuentran estas instalaciones en los sistemas de extracción y bombeo de agua ha hecho que se hayan fabricado bombas a 12 y 24 V especialmente diseñadas para trabajar con paneles fotovoltaicos, con o sin baterías. Sin embargo, para instalaciones grandes de regadíos suelen utilizarse bombas de corriente alterna adaptadas a un convertidor especial, que ofrecen un alto rendimiento.

Las pequeñas bombas sumergibles de corriente continua son muy útiles en las instalaciones domésticas y rurales, aunque resisten mal el uso continuado si éste es excesivo.

4.2.4.6 Fusibles y elementos de protección

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

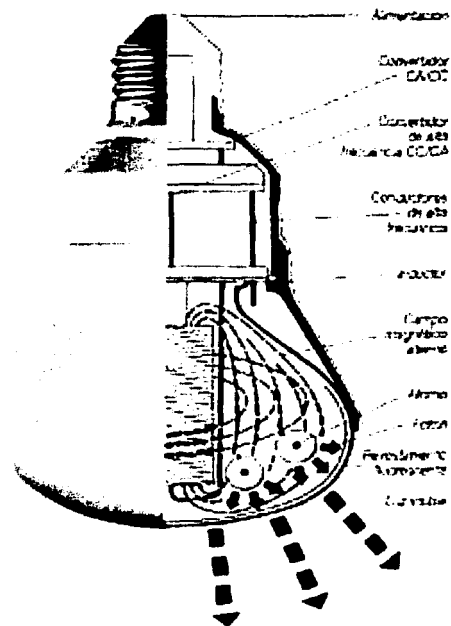
Aunque el impacto directo de los rayos en los paneles es poco frecuente, el disponer de una serie de varillas metálicas, a modo de pararrayos, de 1 metro de altura y situadas a unos pocos centímetros de los paneles, a intervalos de dos metros, constituirá una protección eficaz contra los efectos del rayo. Todas las varillas se deberán unir a un conductor metálico que desvíe hacia tierra la corriente del rayo.

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.

4.2.4.7 Elementos de iluminación

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

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Corte esquemático de una lámpara de inducción. (Cortesía de GENERAL ELECTRIC).

Paneles y batería son elementos caros, por lo que debemos tratar de optimizar el dimensionamiento 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 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 usamos corriente continua para alimentar el circuito de consumo nos ahorraremos 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.

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.

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 electrónico y luminoso del sistema balastro-lámpara y demás características técnicas del balastro.

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.

4.3. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

4.3.1 Cálculo de la capacidad y determinación del acumulador

Lo primero que se ha de determinar, como paso previo al cálculo del acumulador de una instalación, es el número máximo de días de autonomía previstos y necesarios para la instalación dependiendo de las circunstancias climatológicas de la región.

Así, tenemos que para la zona del R. San Antonio los días necesarios de autonomía (N, días sin sol) previstos para la época menos favorable son:

Máximo	Normal	Mínimo
11	6	2

* Información proporcionada por los habitantes de la zona

Teóricamente N representa el máximo número de días consecutivos que pudieran producirse con condiciones absolutamente desfavorables (totalmente cubiertos). Durante este periodo los paneles no recogen prácticamente energía y todo el consumo se hace a expensas de la reserva de la batería, la cual disminuye su nivel de carga.

El número N máximo es el número de días consecutivos totalmente cubiertos que se pueden esperar. Éste nos servirá para cuando se desee asegurar al máximo el servicio de la instalación, no siendo así nuestro caso, puesto que supone un incremento elevado en el presupuesto. En cambio, si usamos el número mínimo es probable que lleguemos a tener problemas de descarga de baterías. Para este trabajo utilizaremos el número N normal para así tener un presupuesto económico y no demasiado ajustado.

Para los casos que se llegue a superar el periodo de autonomía más de un par de veces al año, basta con tener la precaución de reducir el consumo habitual a fin de alargar las reservas de las baterías. Esto no supondrá gran incomodidad al usuario acostumbrado a no tener energía eléctrica y, sin embargo, conllevará un considerable ahorro económico, al permitir utilizar modelos de baterías de menor capacidad.

Ahora procederemos a calcular la **energía real** necesaria **E**, que proveniente de los paneles, deber recibir el acumulador.

La energía E equivaldrá exactamente a la energía que se necesite diariamente, teniendo en cuenta las diferentes pérdidas que existen y para ello se utilizará la siguiente expresión:

$$E = E_T / R$$

donde **R** es un **factor global de rendimiento de la instalación**, que vale:

$$R = 1 - [(1 - k_b - k_c - k_v) k_a N / p_d] - k_b - k_c - k_v$$

o bien, de forma equivalente:

$$R = (1 - k_b - k_c - k_v) (1 - k_a N / p_d)$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Siendo:

k_b = Coeficiente de pérdidas por rendimiento en el acumulador.

k_a = Coeficiente de autodescarga.

k_c = Coeficiente de pérdidas en el convertidor, si existe y afecta a toda la red de consumo en el supuesto de que sólo se utilizase para algunos aparatos, **k_c** se supondrá igual a cero, incluyendo en este caso las pérdidas del convertidor en el cálculo previo del consumo de los aparatos que afecte.

k_v = Coeficiente que agrupa otras pérdidas (rendimiento global de toda la red de consumo, pérdidas por efecto Joule, etc.)

p_d = Profundidad de descarga máxima admisible

A detalle:

k_b indica la fracción de energía que la batería no devuelve con respecto a la absorbida procedente de los paneles, es decir, a la que entra en la batería.

Dentro de la batería, durante los procesos químicos que tienen lugar, siempre existe una pequeña producción de energía calorífica. A falta de datos concretos, el coeficiente **k_b** puede tomarse igual a 0.05 para servicios en condiciones que no demanden descargas intensas (caso normal en instalaciones de energía solar) e igual a 0.1 en otros casos más desfavorables (acumuladores viejos, descargas más fuertes, temperaturas bajas, etc.).³⁹

También conviene tener en cuenta que no toda la energía generada por los paneles ha de pasar necesariamente por la batería. Por ejemplo, si el consumo se efectúa en horas de sol, una parte o incluso toda la energía consumida puede provenir directamente de los paneles, y no se verá afectada por las pérdidas de rendimiento de la batería.

Así, **k_b** será multiplicado por la fracción de consumo diario que se efectúa por la noche. En nuestro caso, al ser los acumuladores nuevos y teniendo el consumo durante la noche del 50%, tendremos: **0.05x0.5= 0.025**.

k_a representa la fracción de energía de la batería que se pierde diariamente por autodescarga. Esta información se obtiene normalmente del fabricante y se calcula en días o en periodo de tres, seis o doce meses. El valor por defecto que se suele asignar a **da**, a falta de información, es de **0.005 (0.5% diario)**.⁴⁰

³⁹ Censolar Instalaciones Fotovoltaicas 2002

⁴⁰ Censolar Instalaciones Fotovoltaicas 2002

Hay que tener en cuenta que la autodescarga depende, entre otros factores, de la temperatura, aumentando al aumentar ésta. Por ello, y dado que los valores estándar suelen venir referidos a una temperatura media (unos 20 ó 25°C), como es nuestro caso, es preciso tener en consideración que este factor puede alterarse en algunos casos.

Así, en el supuesto de que solamente se conozca el tipo de batería que se va a utilizar, podemos estimar los siguientes valores para k_a :

$2 \times 10^{-3} \text{ día}^{-1}$	Para baterías de baja autodescarga, como las de Ni-Cd o las de Pb-Ca, sin mantenimiento.
$5 \times 10^{-3} \text{ día}^{-1}$	Para las baterías estacionarias de Pb normalmente utilizadas en energía solar.
$12 \times 10^{-3} \text{ día}^{-1}$	Para el resto de batería de alta autodescarga, incluidas las de arranque utilizadas en los automóviles.

En cambio, si k_a la calculamos basándonos en los datos suministrados por el fabricante para una temperatura de 20 ó 25°C, podemos estimar la autodescarga k_a' para cualquier otra temperatura t en °C (en el intervalo desde -5°C hasta 45°C), por medio de la expresión:

$$k_a' = (0.0014 t^2 + 0.0021 t + 0.4) k_a$$

Esta corrección solamente es importante en los casos de grandes capacidades y en que la temperatura media anual del lugar donde se encuentren los acumuladores sea menor de 15°C o mayor de 25°C, no siendo esto nuestro caso de estudio.

k_c : El rendimiento de los convertidores debe ser suministrado por los fabricantes y suele oscilar entre un 75% y un 95%. A falta de otros datos, podemos tomar $k_c=0.2$ para los convertidores senoidales y $k_c=0.1$ para los de onda cuadrada. Para simplificar, suponemos que el consumo propio de los circuitos del convertidor está tomado en cuenta en k_c , aunque en el caso de grandes potencias es aconsejable desglosar el valor del consumo del propio convertidor y las pérdidas que origina.

$k_c = \left\{ \right.$	0	Si no existe convertidor o si el rendimiento de éste ya se ha tomado en cuenta al calcular la potencia real consumida por los aparatos a los que afecte.
	0.2	Cuando existe un convertidor senoidal que afecta a todo el circuito de consumo.
	0.1	En el caso de que el convertidor sea de onda cuadrada.

El factor k_v agrupa cualquier otra pérdida no considerada anteriormente. Cada aparato eléctrico desprende algo de energía que se convierte en calor no deseable. Lo mismo sucede en los propios cables de conducción y en las diversas

conexiones. Esto hace que la potencia real consumida siempre sea mayor que la calculada a partir de la potencia nominal o teórica que figura en la etiqueta de especificaciones técnicas del aparato. La relación es variable, siendo 0.15 un valor medio razonable para k_v , que puede reducirse a 0.05 si ya se han tomado en cuenta los rendimientos de cada aparato habiéndolos englobado en los datos de consumo.

0.15	Si las potencias de partida son las teóricas de cada aparato
0.1	Caso general, si no se dispone de información en detalle de los rendimientos.
0.05	Si las potencias de partida son las realmente consumidas por cada aparato, habiendo considerado ya sus pérdidas.

Ahora procederemos a calcular la capacidad del acumulador:

Tenemos en base a nuestras necesidades:

- Potencia simultánea máxima = 200 W
- Tensión de consumo = 12 V
- Consumo diario $E_T = 1,205 \text{ W h}$
- Días de autonomía, $N = 6$ días
- Potencial de descarga, $p_d = 80\%$ por ser acumuladores nuevos (especificación del fabricante)
- $k_a = 2 \times 10^{-3}$ pues se escogerán baterías de baja autodescarga Ni-Cd (sin mantenimiento)
- $k_b = 0.025$, como se explicó anteriormente
- $k_c = 0.2$, se usará un convertidor senoidal
- $k_v = 0.15$, pues utilizamos potencias teóricas

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

$$R = 1 - [(1 - 0.025 - 0.2 - 0.15) \times 0.002 \times 6 / 0.80] - 0.025 - 0.2 - 0.15 = \mathbf{0.615625}$$

$$E = E_T / R$$

$$E = E_T / R = 1205 / 0.615625 = \mathbf{1,957.36 \text{ W h}}$$

Esto será nuestra energía real requerida que proveniente de los paneles debe recibir el acumulador. La energía E equivaldrá exactamente a la energía que se necesite diariamente

Ahora se hallará el valor de la **capacidad útil (C_u)** que debe tener la batería, que será igual a la energía total E que es preciso producir diariamente multiplicada por el número N de días de autonomía, ya que la batería debe ser capaz de acumular toda la energía necesaria para dicho periodo.

$$C_u = EN$$

$$C_u = 1,957.36 \times 6 = 11,744.16 \text{ W h}$$

El **acumulador** será de **12 V**, por ser la tensión más usual en equipo de iluminación, así que expresando dicha capacidad en A h:

$$C_u = 11,744.16 \text{ W h} / 12 \text{ V} = 978.68 \text{ A h}$$

La capacidad nominal será la capacidad útil en A h dividido entre la profundidad máxima de descarga admisible, p_d , que para nuestro caso es de 0.8 (ver 4.2.1.1).

$$C_u = 978.68 \text{ A h} / 0.80 = 1,223.35 \text{ A h}$$

Así tenemos que podemos escoger once acumuladores de 110 A h / 12 V, o quizás 5 de 250 A h / 12 V cada uno siendo de tipo monoblock o alguna otra combinación que nos proporcione dicha capacidad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.3.2 Cálculo de la potencia de los paneles

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 éstos y la batería, suele estar instalado un regulador que, como sabemos, disipa energía en forma de calor o bien corta el suministro durante ciertos periodos, por lo que la cantidad diaria **E_p (energía producida)** que deben producir los paneles debe ser siempre superior a E.

Es difícil evaluar con precisión las **pérdidas del regulador**, ya que éstas 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 esté totalmente cargada, el regulador no dejará pasar ninguna energía. Por término medio se considera 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 (casi todo el año) las baterías se encuentran en estado de máxima carga durante buena parte del día y, por lo tanto, la energía sobrante que podría teóricamente producir los paneles sería disipada en el regulador o utilizada para otros fines, elevando a bastante más del 10% el valor del factor de pérdidas que hemos considerado. Sin embargo, como el periodo que nos interesa a efectos de dimensionamiento es el más desfavorable (nublado), en el que el estado de carga máxima se alcanzará pocas veces, el regulador no desaprovechará mucha energía y puede ser aceptable tomar un **rendimiento del 90%**.

Por tanto:

$$E_p = E / 0.9$$

Así, tenemos:

$$E_p = 1,957.36 \text{ W h} / 0.9 = \mathbf{2,174.84 \text{ W h}}$$

Con el fin de evaluar la energía que un panel puede producir diariamente en una determinada localidad, resulta útil el concepto del número de horas de Sol pico sobre la horizontal (H.S.P.) del lugar en cuestión y que no es otra cosa que el valor de la energía H total incidente sobre una superficie horizontal de 1 m² expresado en kW h.

El significado del nombre <<horas de Sol pico>>, esto es, <<horas de Sol a una intensidad de 1000 W/m²>> es el siguiente:

Desde el amanecer hasta que se pone el Sol, la intensidad que recibe un panel fotovoltaico horizontal varía continuamente. En un típico día claro crece por la mañana, alcanza su máximo al mediodía y decrece por la tarde. Sumando toda la energía recibida a lo largo del día, se obtendría el valor de H. En realidad, en los primeros momentos de la mañana y en los últimos de la tarde la intensidad es demasiado pequeña para que el panel produzca un voltaje apto para ser aprovechado, pero la pérdida de energía que este efecto supone es despreciable y no ha de ser considerada.

A efectos de cálculos energéticos sería lo mismo suponer que el panel está recibiendo una intensidad constante de 1000 W/m² durante un tiempo igual al número de H.S.P., puesto que, al coincidir dicho número de H.S.P. con el número de kW h de energía incidente en todo el día, en ambos casos se llega al mismo valor de H.

La ventaja de utilizar este concepto es que permite evaluar más rápidamente los rendimientos energéticos. Por otra parte, los experimentos en laboratorio y los ensayos de paneles fotovoltaicos suelen hacerse en condiciones de 1 Sol pico de intensidad (1 kW/m²) y los resultados se expresan siempre en función de dicha hipótesis. Así, la potencia nominal de un panel siempre se supone referida a una intensidad de 1 Sol pico.

Ahora que sabemos la cantidad de energía que necesitamos captar del Sol para satisfacer la capacidad de los acumuladores de nuestra instalación, **$E_p = 2,174.84 \text{ W h}$** , que es la energía de reserva que tendremos para la peor época del año, procederemos a calcular en primer lugar el ángulo de inclinación de los paneles solares para captar al máximo la energía procedente del Sol, es decir, la cantidad de energía debida a la radiación directa que una superficie expuesta a los rayos solares puede interceptar, la cual depende 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.

Así, llegamos al concepto de **irradiancia**, que es la energía incidente por unidad de tiempo (t) y de superficie (S):

$$I = E / St$$

De la Tabla 2 (Anexo) Irradiancia para México, hecha por la CONAE, tenemos que para Pachuca, Hidalgo, el peor mes es diciembre con **4.2 kWh/m² día de irradiancia**, es decir, durante un día (promedio del mes de diciembre) tenemos **4.2 Horas de Sol Pico (H.S.P.)** incidiendo sobre una superficie horizontal a los rayos solares.

Para garantizar dicha irradiancia deberemos de colocar los paneles con cierta inclinación dependiendo de la época del año para que sean ajustados con el cambio de cada estación, a menos que incluyamos dispositivos de seguimiento solar, que no es nuestro caso, dado su alto costo y mantenimiento, pues no hay que olvidar que la intención de este proyecto es la de proponer un proyecto económico y poco complicado para los beneficiarios.

Para calcular el número de paneles a instalar dividiremos E_p entre la energía que realmente es capaz de producir cada panel a lo largo del día y lo estimaremos un 10% menor al que nos facilite el fabricante como margen de error.

Nosotros escogeremos para efectos prácticos y por conveniencia comercial, dado su gran uso, paneles de P = 100 Wp y V = 12 V.

$$\text{Número de paneles} = E_p / (0.9) (P) (\text{H.S.P.})$$

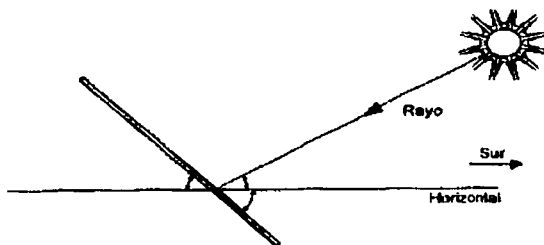
$$\text{Número de paneles} = \frac{2,174.84 \text{ Wh}}{0.9 (100 \text{ W}) (4.2 \text{ h})}$$

$$\text{Número de paneles} = 5.75$$

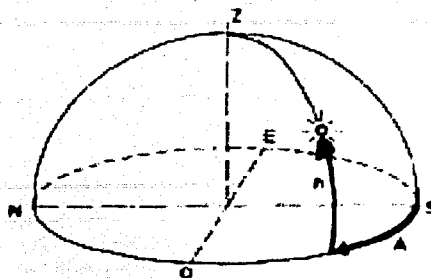
Así, redondearemos la cifra a: **6 paneles de 100 Wp / 12 V en paralelo.**

4.3.2.1 Inclinación de los paneles

Para definir con precisión la posición del Sol en cada instante con respecto a un observando hipotético que se encontrase inmóvil en un plano horizontal, se utilizan dos coordenadas, llamadas **altura solar h** y **azimut solar A**.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La **altura h** es, sencillamente, el ángulo que forma los rayos solares sobre la superficie horizontal. A veces también se usa el llamado de ángulo cenital o distancia cenital, que es el que forma el rayo con la vertical, es decir, el complemento de la altura.

El **azimut A**, o ángulo azimutal, es el ángulo de giro del Sol medido sobre el plano horizontal mediante la proyección del rayo sobre dicho plano y tomando como origen el Sur para el hemisferio norte.

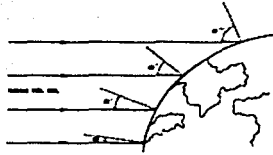
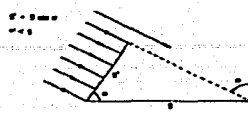
El número de horas de Sol teóricas será el lapso transcurrido entre el amanecer y la puesta del Sol, instantes ambos en que la altura solar vale cero. Esta duración del día depende del punto geográfico considerado y de la época del año.

Al encontrarse el R. San Antonio en la latitud $19^{\circ}80'$, tomaremos de la Tabla 1 (Anexo) la latitud 20° de referencia.

Tomaremos las tres épocas del año, invierno, verano y primavera-otoño.

Estación	Invierno		Primavera / Otoño		Verano	
Periodo	Dic - Ene		Mar-Abr / Sep-Oct		Jun - Jul	
Hora	A	H	A	H	A	H
12 pm	0	48	0	70	180	88

Así tenemos que para verano (junio-julio) la inclinación será de sur a norte de $90^{\circ}-88^{\circ} = 2^{\circ}$ (prácticamente paralelo con la horizontal del suelo) y, en invierno (diciembre-enero) norte-sur de $90^{\circ}-48^{\circ} = 42^{\circ}$, pasando de una estación a la otra a un ángulo de norte-sur de $90^{\circ}-70^{\circ} = 20^{\circ}$ para las estaciones de primavera y otoño (resto de los meses del año).



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La movilidad de los paneles se dará por medio de las sujeciones que van agarradas a los tubos donde reposa el peso del panel, así para cada época del año se subirán o bajarán según lo calculado y midiendo el ángulo con un transportador común o por medio de trigonometría.

4.3.3 Cálculo de los elementos de la instalación

4.3.3.1 Reguladores

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 costo⁴¹.

Para los 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, deberá tenerse en cuenta que la tensión máxima de carga de la batería deberá estar por encima de la tensión de gasificación, para que se logre una mayor carga y se disminuya la estratificación del electrolito. La tensión de reconexión se deberá elegir entre 2 y 2.2 V por elemento, de forma que el relé de conexión no tabletee excesivamente pero tampoco permita que la batería sufra ciclos profundos al abastecer al consumo, ya que disminuiría su vida de funcionamiento⁴².

⁴¹ Manual de instalaciones fotovoltaicas. Atersa. España

⁴² Idem.

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.
- Desconectador manual de alarma, que se conecte automáticamente al subir de nuevo la carga de la batería por encima de un valor prefijado.

Además será recomendable que llevase incorporado:

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

Es conveniente que el regulador esté programado para 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.

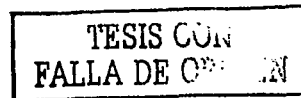
El dimensionamiento del sistema de regulación se debe realizar con un factor de seguridad tal que entre la potencia máxima producida por el campo de paneles y la potencia máxima del regulador haya un 10% como mínimo.

El número de reguladores deberá ser el mínimo posible, y si fuera necesario más de uno, el número se obtendrá mediante la expresión:

$$N_t = N_{pp} i_p / i_r$$

siendo:

- N_t : Número de reguladores
 N_{pp} : Número de paneles en paralelo
 i_p : Intensidad pico del panel seleccionado
 i_r : Intensidad máxima que es capaz de disipar el regulador



Tenemos:

$$N_t = 6 \times (100 \text{ W} / 12 \text{ V}) / 60 \text{ A} = 0.8333 (< 1)$$

Utilizaremos 1 regulador Shunt capaz de disipar 60 A.

* Regulador tipo Shunt, Salida máx 60 A. Escogido por su gran uso en el mercado y bajo costo.

4.3.3.2 Convertidor

Las características de funcionamiento 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 a 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 puede tener 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 estará sometido a una sobrecarga. Deberá ser capaz de soportar sobrecargas como mínimo del orden de un 160% de la potencia nominal durante un minuto, del orden de un 140% durante tres minutos y del orden de un 120% durante diez minutos⁴³.

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; en este caso se eligió el de onda senoidal: $k_c = 0.2$.

La frecuencia normal de actuación para la conexión a los aparatos del mercado mexicano es de 60 Hz.

Todos los convertidores producen un porcentaje de su potencia con frecuencias diferentes de la nominal, es decir, de los 60 Hz. 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.

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, debe tender como mínimo los valores representados en la tabla siguiente de la eficiencia mínima exigible a un convertidor, en función del valor porcentual de la potencia de consumo⁴⁴:

⁴³ Idem.

⁴⁴ Idem.

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

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La potencia de entrada del convertidor se calculará mediante la expresión:

$$P_e = \text{Potencia de salida} / \text{Eficiencia}$$

Para la instalación del R. San Antonio se prevé un consumo de corriente alterna de 167 W, que representa el 48% de las necesidades energéticas de la instalación (348 W), así tenemos:

Concepto	Potencia requerida (W)	Tiempo (horas/día)	Consumo (W h/día)
TV	40	4	160
Radio/ap.eléct.	20	4	80
Refrigerador a gas	7	24	168
Bomba de agua	100	3	300
Total potencia	167	Total consumo:	708

$$P_e = 167 / 0.85 = 196.47 \text{ W}$$

Para fines prácticos y comerciales, se escogerá un convertidor de 200 W.

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

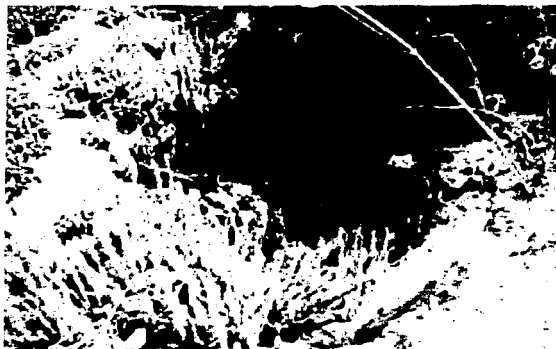
- Cortocircuitos.
- Sobrecarga.
- Inversión de polaridad en alimentación.

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

4.3.3.3 Bombeo de agua

La extracción de agua de pozos o embalses para ser utilizada para riego u otros consumos constituye una de las aplicaciones más rentables y atractivas de la electricidad fotovoltaica, por lo que los equipos diseñados específicamente para dicho fin han alcanzado un notable desarrollo.

El R. San Antonio cuenta con un pequeño ojo de agua del cual sería posible extraer agua para fines secundarios rellenando un tinaco dispuesto encima del cuarto de baño.



Ojo de agua del Rancho San Antonio

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para calcular el caudal de agua necesario para el R. San Antonio se contempla lo siguiente:

Concepto	Litros / día
WC	60
Animales corral	80
Riego huerta y jardín	40
Lavadero (llenado pileta)	100
Reserva (estimado)	220
Total	500

Cantidades contabilizadas in situ.

Esto es, medio m^3 al día. Y si disponemos de 3 horas de uso de motor (el que fue estimado), tendremos $1/6 m^3/h$ de caudal mínimo. También podemos utilizar por menos horas el motor y aumentar el caudal de la bomba.

Este será obtenido del ya mencionado ojo de agua (pozo) y dispuesto en un tinaco colocado en el techo del cuarto de baño.

Para tal fin, necesitamos saber la presión que la bomba ha de ser capaz de vencer suministrando sin dificultad el caudal anteriormente calculado, o, si preferimos, calcularemos la altura manométrica h_M total capaz de ser superada.

Dicha altura manométrica se compone en realidad de tres sumandos:

1. La altura de presión gravitatoria h_g propiamente dicha, definida como la diferencia de cotas entre el nivel superior del agua bombeada (el del tinaco) y el nivel superior del ojo de agua. Es preciso tener en cuenta que en época de sequía este último puede disminuir, aumentando por tanto h_g , aunque la

profundidad a que se halla la bomba (si es sumergible) o la longitud del conducto de aspiración del agua no cuentan para el cálculo de h_g , ya que la columna de agua que haya por encima del punto de extracción ayudará siempre a facilitar el bombeo.

2. La pérdida de carga h_R debida al rozamiento del agua en su recorrido.

$$H_R = \lambda (L/D)(v^2/2g)$$

En los casos en que la distancia de la fuente de agua al depósito de agua o punto de consumo sea considerable, aunque la tubería sea horizontal, el valor de h_R debe ser tenido en cuenta.

- La presión dinámica pura h_d con que el agua bombeada mana. Al salir, el agua siempre lleva una cierta energía cinética, consecuencia de su velocidad, que al fin y al cabo ha de obtenerse también de la potencia de la bomba.

$$H_d = v^2/2g$$

En la mayoría de los casos la presión dinámica puede despreciarse y en otros muchos, también la pérdida de carga h_R , pues siempre deben utilizarse diámetros de tuberías generosos que minimicen el rozamiento (ya que éste crece rápidamente si el diámetro de la conducción disminuye), por lo que el término de mayor preponderancia será el debido a la presión gravitatoria, sobre todo en el caso de extracción de pozos profundos.

La altura manométrica total es, pues:

$$h_M = h_g + h_R + h_d = h_g + \lambda (L/D)(v^2/2g) + v^2/2g$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Debido a que el **coeficiente** λ depende de las características del movimiento del fluido y de otros factores, por lo general resulta complejo su cálculo, y la pérdida de carga por fricción, h_R , suele averiguarse recurriendo a tablas, ábacos o expresiones aproximadas. En todo caso, el límite máximo de 40 mm por metro de tubería puede considerarse como una estimación aceptable, a falta de datos⁴⁵.

Así, nosotros tenemos una profundidad del pozo (ojo de agua) de 4 metros en época de sequía y una altura de 5 metros hasta la parte superior del tinaco. En total, requerimos de una bomba capaz de subir el agua a una altura de presión gravitatoria de 9 metros.

La distancia a recorrer desde la toma de agua hasta el tinaco son 45 metros:

Tenemos:

$$h_g = 4 \text{ m} + 5 \text{ m} = 9 \text{ m}$$

⁴⁵ Idem.

(Ec. De Darcy-Weisbach) $h_R = \lambda (L/D)(v^2/2g)$, donde λ ó $f = f(\epsilon/D, Re = vD/\nu)$

Suponiendo una t° media de 25° , un tubo de PVC de $D = 2.54$ cm (1 pulg) y calculando un **caudal Q de: 166 lts / hora = 0.0461 lts / seg.**

ϵ de la fig.1 (anexo) = **0.0015 mm**

$$\epsilon/D = 0.0000015 \text{ m} / 0.0254 \text{ m} = \mathbf{59.05 \times 10^{-6}}$$

$$\rho = \gamma/g = 1000 \text{ (kg/m}^3) / 9.81 \text{ (m/s}^2) = \mathbf{101.94 \text{ kg s}^2 / \text{m}^4}$$

$\mu = \mathbf{1.0 \times 10^{-6} \text{ kg m}^2/\text{seg}}$ (Constante de Viscosidad dinámica del H_2O)

$$\nu = \mu/\rho = 1.0 \times 10^{-6} \text{ (kg m}^2/\text{seg}) / 101.94 \text{ kg s}^2/\text{m}^4 = \mathbf{9 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$v = Q/A = 46.1 \times 10^{-6} \text{ (m}^3/\text{s}) / (\Pi (0.0127)^2 / 4) \text{ (m}^2) = \mathbf{0.364 \text{ m/s}}$$

$$Re = VD/\nu = (0.364 \text{ m/s})(0.0127 \text{ m}) / 9 \times 10^{-9} \text{ (m}^2/\text{s}) = \mathbf{513,528.81}$$

De la fig 1, tenemos $f = 0.019 = \lambda$

Continuando con h_R :

$$h_R = \lambda (L/D)(v^2/2g) = 0.019 ((45\text{m}) / (0.0254\text{m}))((0.296\text{m/s})^2 / 2(9.81\text{m/s}^2)) =$$

$$h_R = \mathbf{0.15 \text{ m}}$$

$$h_d = v^2/2g = (0.296\text{m/s})^2 / 2(9.81\text{m/s}^2) = \mathbf{0.00446 \text{ m}}$$

$$h_M = h_g + h_R + h_d = \mathbf{9 + 0.15 + 0.00446 = 9.15446 \text{ m}}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Vemos que la presión dinámica pura es despreciable y que la debida al rozamiento es bastante pequeña en comparación con la presión gravitatoria, como sucede en la mayoría de los casos.

La bomba elegida debería ser capaz de superar una altura manométrica mínima de unos 10 metros (mejor incluso de 15 m) suministrando el caudal necesario.

La potencia teórica que necesitaría la bomba para el caudal y la altura manométrica deseada sería:

$$P = \gamma Q h_M g = (1000 \text{ kg/m}^3) (46.1 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}) (9.15446 \text{ m}) (9.81 \text{ m/s}^2) = \mathbf{4.15 \text{ W}}$$

$$HP = 4.15 / 745.7 = \mathbf{0.0055 \text{ HP}}$$

Con el hecho de escoger una bomba de pequeño caballaje, será suficiente para satisfacer las necesidades del R. San Antonio. Ahora, se tomará en cuenta que las bombas comerciales suelen tener una eficiencia menor al 50%.

Otro caso mejor sería el de aumentar el caudal de llenado del tinaco a 500 lts/hora, lo que nos dará:

$$P = \gamma Q h_M g = (1000 \text{ kg/m}^3) (0.5 / 3600 \text{ m}^3/\text{s}) (9.15446 \text{ m}) (9.81 \text{ m/s}^2) = 12.473 \text{ W}$$

$$\text{HP} = 3.376 / 745.7 = 0.016 \text{ HP}$$

Este valor se puede acercar aplicando el 50% de eficiencia a una bomba de 1/20 de caballo, que comercialmente sería de 1/16 HP.

4.3.3.4 Iluminación

Como ya se mencionó, es preciso elegir las luminarias que más rendimiento proporcionen (descartando los típicos focos de incandescencia, cuya eficiencia luminosa es muy baja), pues aunque resulten más caras, son siempre más rentables, al exigir menor potencia eléctrica.

En el mercado existen una amplia gama de productos con tonalidades y potencias diversas, bien en forma de tubos o de lámparas de reducido tamaño.

Como los fines de este proyecto son de dotar de las necesidades energéticas básicas a los habitantes del Rancho San Antonio, se han elegido las siguientes potencias.

Concepto	Potencia requerida (W)
Cocina	32
Baño	17
Cuarto de estar	32
Estudio	32
Comedor	32
Recámara 1	17
Recámara 2	17
Recámara 3	17
Entrada	17
Total potencia	213 W

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En la cocina, estudio y comedor se decidió casi doblar la potencia por ser las habitaciones de mayor uso de la construcción y con los requerimientos de iluminación mayores por las actividades que allí se suelen o pueden realizar: cocinar, preparar alimentos, estudiar y simplemente convivir. Estos valores fueron escogidos arbitrariamente entre los ofrecidos por los fabricantes.

Por lo que respecta a la conexión de los aparatos electrónicos, su consumo ya fue contabilizado:

Concepto	Potencia requerida (W)	Tiempo (horas/día)	Consumo (W h/día)
Cocina	32	5	160
Baño	17	1	17
Cuarto de estar	17	3	51
Estudio	32	3	96
Comedor	32	3	96
Recámara 1	17	1	17
Recámara 2	17	1	17
Recámara 3	17	1	17
TV	40	4	160
Refrigerador a gas	7	24	168
Radio/ap.eléct.	20	4	80
Entrada/Pórtico	17	2	34
Bomba de agua	100	3	300
Total potencia	348	Total consumo:	1,205

4.3.3.5 Otros elementos

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

4.3.3.5.1 Conductores

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, el regulador, la batería y el inversor sean lo menores posibles.

La sección de los cables de debe 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, según NOM-001-SEDE-1999:

	Valor máximo (%)	Valor recomendado (%)
Tramo campo de paneles – regulador o inversor	3	1
Tramo regulador – acumulador	1	0.5
Tramo acumulador – inversor	1	1
Tramo línea principal – iluminación	3	3
Tramo línea principal – otros equipos (bombas, aparatos, etc),	5	3

Para calcular la relación entre la **sección del conductor** y su longitud, nos servimos de las siguientes expresiones:

$$V_{AB} / l = \rho I / S$$

$$S = \rho l I / V_{AB}$$

$$\rho \text{ para cobre} = 1.78 \times 10^{-8}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Nuestra longitud máxima medida desde donde se planea instalar las celdas hasta la habitación más alejada es aproximadamente de: 50 m.

$$S = (1.78 \times 10^{-2} \text{mA/V})(50\text{m})(8.33\text{A}) / (12\text{V}) = 0.62 \text{ mm}^2$$

La anterior fórmula permite hallar la sección S en función de las restantes magnitudes:

ρ = Resistividad del material conductor

l = Distancia entre los puntos A y B

i = Intensidad de la corriente

V_{AB} = Diferencia o caída de potencial entre los puntos A y B

Para nuestro caso, se utilizarán cables gruesos de cobre, pues nuestra corriente utilizada funcionará a 12 V y 8.33 A.

Con base en la NOM-001-SEDE-1999, en la sección 110-14, inciso c) para nuestro caso dice:

"Para circuitos de 100 A nominales o menos, y para las terminales de equipos identificadas para conductores de tamaño nominal 2.082 a 42.41 mm² (14 a 1 AWG), deben utilizarse conductores con temperaturas de operación del aislamiento máxima de 60°C."

Por lo que a la canalización concierne, este menciona lo siguiente: "Será un canal cerrado de materiales metálicos o no-metálicos, expresamente diseñado para contener alambres, cables o barras conductoras."

De la tabla 310-16 de la NOM-001-SEDE-1999, tenemos:

Tamaño nominal	Capacidad de conducción de corriente para cobre	Capacidad de conducción de corriente para cobre corregida por temperatura ambiente y por agrupamiento (x 0.8 x 0.82)
mm ² (AWG)	A	A
1.307 (16)	12	10
2.082 (14)	20	13
3.307 (12)	25	16
5.26 (10)	30	20
8.367 (8)	40	26
13.3 (6)	55	36

Nosotros obtuvimos una sección de 0.62 mm², pero 8.33 A nominales para 12 V de la instalación.

De acuerdo a esto, para el circuito de alimentación, le corresponde por capacidad de conducción de corriente un calibre de 1.307 (16 AWG) para evitar pérdidas de conducción y permitir cierta holgura de la instalación.

4.3.3.5.2 Estructura de soporte

El anclaje y la propia estructura deberán ser suficientes para garantizar su comportamiento estable frente a los vientos de máxima intensidad que cabe esperar en la zona y, como mínimo, resistirán velocidades de 150 km/h.

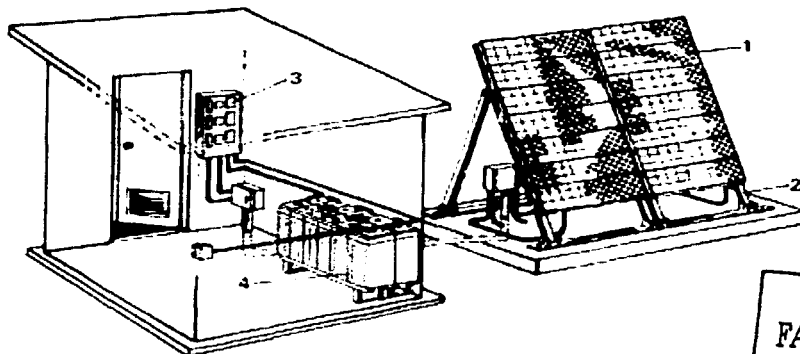
Normalmente el propio fabricante o distribuidor de los paneles suministra la estructura de soporte adecuada para los mismos, según el número de ellos.

4.3.3.5.3 Elementos auxiliares

Los dispositivos tales como medidores, alarmas, desconectadores, etc, se dimensionarán teniendo en cuenta la intensidad máxima que utilizaremos, es decir, 8,33 A, eligiendo el modelo de acuerdo a las especificaciones del fabricante. En todo caso, conviene adoptar un pequeño margen de seguridad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.4 Proyecto de Instalación



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- 1 Módulos fotovoltaicos
- 2 Estructura soporte
- 3 Regulación y control
- 4 Batería de acumuladores

En esta instalación los equipos de regulación y control se han centralizado, agrupándolos.

A manera de resumen, enlistaremos las necesidades energéticas del Rancho San Antonio, así como los elementos necesarios para su acometido:

Concepto	Valor
Días de autonomía	6
Energía necesaria diaria	1205 W h / día
R – factor global de rendimiento instalación	0,6156
Energía Real necesaria	1,957.36 W h
Capacidad útil de acumulación	11,744.16 W h
Capacidad nominal de acumulación	1,223.35 A h
Número de Acumuladores	11 acum. 110 A h / 12 V Pb-Acido
Energía de paneles necesaria a producir	2,174.84 W h
Horas Sol Pico para Pachuca, Hgo.	4.2
Número de Paneles	6 paneles 100 W / 12 V paralelo
Latitud Rancho San Antonio	19° 80' N
Inclinación de los paneles	Jun-Jul: S->N 2° Dic-Ene: N->S 42° Resto año: N->S 20°

Concepto	Valor
Intensidad pico panel	8.33 A
Intensidad de disipación del regulador	60 A
Regulador	1 Reg. Tipo Shunt
Frecuencia de conexión	60 Hz
Tipo de onda	Senoidal ($k_c = 0.2$)
Potencia de salida necesaria a conversión	167 W
Potencia de entrada requerida	196.47 W
Convertidor	1 convertidor de 200 W
Consumo de agua diario	500 litros
Caudal estimado	166 litros / hora
Altura manométrica mínima a superar	9.15 metros
Potencia bomba de agua	4.15 W / 0.0055 HP
Bomba comercial seleccionada	1/16 HP
Potencia requerida para iluminación	213 W
Iluminación	4 luminarias de 32 W 5 luminarias de 17 W
Capacidad de conducción	12 V / 8.33 A
Calibre cable conductor	1.307 mm² / 16 AWG

Habrán otros elementos tales como interruptores y medidores que se considerarán en el presupuesto ya que no se necesita un riguroso cálculo de éstos, puesto que se venden a nivel comercial y de uso estandarizado.

Para la puesta en marcha de la instalación fotovoltaica será necesario de obra de albañilería, canales sobrepuestos para el cableado, así como otros elementos mencionados en el presupuesto del capítulo siguiente.

La vida aproximada de los paneles varía de los 20 a 25 años de rendimiento alto, luego pueden ser sustituidos, reutilizados o reciclados.

En el caso de los acumuladores, esta suele ir de los 5 a los 10 años dependiendo de su calidad y uso adecuado.

Por lo que respecta a los otros elementos de la instalación, éstos no presentan ningún límite de tiempo funcional, es decir, que su reemplazo se llevará a cabo cuando sufran algún deterioro interno a lo largo de su uso.

Estos datos deberán ser tomados en cuenta a la hora de elegir marca, calidad y precio.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.5 Mantenimiento

4.5.1 Paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos requieren de muy escaso mantenimiento, por su propia configuración. El mantenimiento abarca los siguientes procesos:

1. Limpieza periódica del panel.

La suciedad acumulada sobre la cubierta transparente del panel reduce el rendimiento del mismo y puede producir efectos de inversión similares a los producidos por las sombras. El problema puede llegar a ser serio en el caso de los residuos industriales y los procedentes de las aves. La intensidad del efecto depende de la opacidad del residuo. Las capas de polvo que reducen la intensidad del sol de forma uniforme no son peligrosas y la reducción de la potencia no suele ser significativa. La periodicidad del proceso de limpieza depende, lógicamente, de la intensidad del proceso de ensuciamiento. La acción de la lluvia puede en muchos casos reducir al mínimo o eliminar la necesidad de la limpieza de los paneles. Su acción se favorece con paneles de cristales lisos, siendo aconsejable evitar los cristales rugosos.

2. Inspección visual de posibles degradaciones internas.

La inspección visual del panel tiene por objeto detectar posibles fallos, concretamente posibles roturas del cristal y, oxidaciones de los circuitos y soldaduras de las células fotovoltaicas por entradas de humedad en el panel o roturas en las capas del encapsulado.

3. Control del estado de las conexiones eléctricas y el cableado.

Se comprobará el apriete y estado de los terminales de los cables de conexionado de los paneles..

4. Control de las características eléctricas del panel.

En caso de notarse una baja en el rendimiento de la instalación se procederá a desconectar el panel y medir el voltaje y amperaje existente entre sus terminales a fin de verificar el rendimiento del panel, siendo un día soleado y a medio día el momento idóneo para comparar los datos obtenidos a los dados por el fabricante.

4.5.2 Sistemas de regulación, control y equipos auxiliares

El mantenimiento del sistema de regulación y control no difiere especialmente de las operaciones normales en equipos electrónicos. Las averías son poco frecuentes y la simplicidad de los equipos reduce el mantenimiento a las siguientes operaciones:

- Observación visual general del estado y funcionamiento del regulador. La observación visual permite detectar generalmente el mal funcionamiento del regulador, ya que este se traduce en un comportamiento muy anormal del equipo.
- Comprobación del conexionado y cableado de los equipos de regulación y control y de otros componentes auxiliares.
- Comprobación del tarado de la tensión de ajuste del regulador a la temperatura ambiente.
- Registro de los amperios-hora generados y consumidos en la instalación entre revisiones.

4.5.3 Acumuladores

Actualmente el control de calidad en la fabricación de acumuladores es muy alto y, consecuentemente, son muy fiables, dándose un porcentaje muy bajo de averías debidas a defectos de fabricación. Sin embargo, por su modo de trabajar, los acumuladores son los elementos que requieren mayor atención en una instalación fotovoltaica. Los acumuladores perecen principalmente por dos causas:

- Uso de la instalación superior al previsto en el diseño. Esta situación, frecuente en instalaciones pequeñas, conduce a descargas profundas y continuadas de la batería, que causan su destrucción anticipada.
- Falta de reposición periódica del electrolito en los acumuladores plomo-ácido.

El fin de la batería llega cuando no hay suficiente pasta de plomo en las placas para reaccionar con el electrolito, o no hay suficiente electrolito para reaccionar con el plomo.

Las situaciones anteriores determinan las necesidades de mantenimiento de los acumuladores. En concreto las operaciones usuales son:

- a) Comprobación del nivel del electrolito y relleno en su caso.
- b) Comprobación y limpieza del estado de las bornas del acumulador.
- c) Comprobación de la tensión sin carga de los elementos del acumulador.
- d) Medida de la densidad del electrolito.
- e) Comprobación de la utilización del acumulador y en particular la frecuencia de corte por baja tensión.

Existen preparados comerciales que sustituyen ventajosamente al agua destilada de los acumuladores, ya que evitan o dificultan la formación excesiva del sulfato, contribuyendo a alargar la vida de las baterías y a facilitar su mantenimiento.

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

El concepto de rentabilidad de una instalación fotovoltaica adquiere matices distintos al de cualquier otra instalación energética, que conviene precisar.

En una instalación solar térmica, el factor de más peso a la hora de decidir si ésta resulta o no viable es el ahorro potencial que la misma produciría durante sus años de vida útil, lo cual se refleja en ciertos índices que miden su rentabilidad. Si ésta fuese demasiado pequeña, el proyecto podría no ser aconsejable, siendo necesario recurrir a otra fuente 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 sí 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, también existen los 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 que 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 kW h y en 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: en el momento actual, el costo de los equipos fotovoltaicos (principalmente el de paneles y acumuladores) no permite 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 práctica totalidad de su vida útil (20 o 25 años como mínimo), no llegue siquiera a compensar su propio costo, si se valora dicha energía al precio de tarifa de las compañías eléctricas.

No obstante a lo dicho anteriormente, una instalación fotovoltaica es, en multitud de casos, totalmente viable y altamente aconsejable, por las ventajas que representa frente a otras posibles alternativas.

En cuanto a las ventajas de un sistema fotovoltaico frente a otros sistemas autónomos, como los tradicionales generadores eléctricos por combustible líquido, o los más recientes aerogeneradores, han de buscarse en las excepcionales cualidades que los paneles presentan y que en síntesis son:

6. Pocas posibilidades de averías y un mínimo de mantenimiento, ya que es el único sistema autónomo que carece de partes móviles.
7. No hay que preocuparse del suministro de combustible ni de pagar su coste.
8. Ausencia de contaminación y de ruidos molestos.
9. Resistencia a condiciones atmosféricas duras.
10. Instalación relativamente simple.
11. Posibilidad de ir aumentando la potencia instalada a voluntad, conforme vayan siendo mayores las necesidades del usuario.

No obstante, existen zonas de abundante viento en que los generadores eólicos resultan más apropiados, bien sean solos o combinados con la instalación fotovoltaica.

Los generadores de gasolina/diesel presentan su máxima competencia en aquellos casos en que la potencia necesaria es lo bastante grande como para que la opción fotovoltaica supusiera un número de paneles demasiado elevado (con el consiguiente aumento en el precio) pero, al mismo tiempo, el consumo no fuera lo suficientemente alto como para justificar claramente el tendido de una línea de red. Por supuesto, el mayor o menor soleamiento de la región es otro factor determinante para decidir una u otra opción.



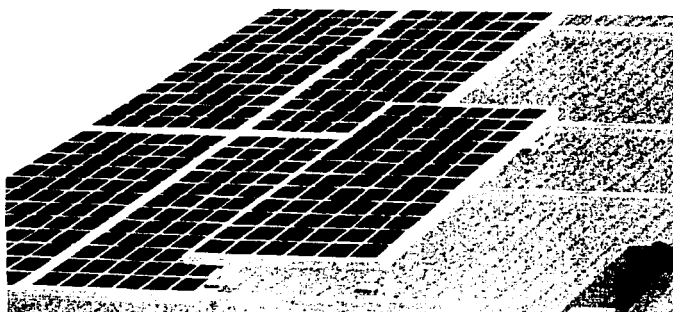
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.1 Presupuesto

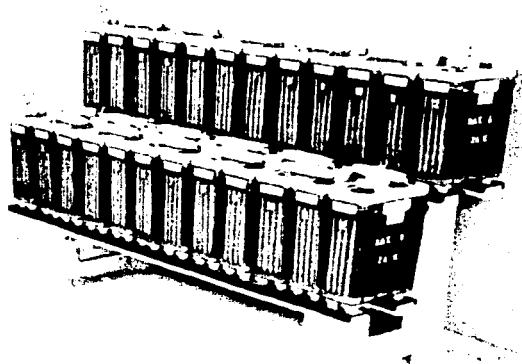
Para llevar a cabo la instalación se decidió instalar los paneles sobre el tejado del pequeño granero y dentro de éste colocar los acumuladores, regulador, convertidor y equipo de control y medición.

Esta decisión está apoyada por el hecho de que al ser vieja la construcción (piedra como material principal) se mantendrá fresco el lugar y así evitará sobrecalentamiento del equipo, además se aprovechará la inclinación del tejado de unos 20° N->S para que los soportes sólo se eleven a partir de junio en su parte sur 20° , bajándolo al nivel del tejado en otoño y elevando 20° la parte norte en invierno, volviendo al nivel del tejado en primavera.

También la altura de dicho tejado garantiza que no habrá sombra que cubra los paneles y que por otro lado se mantendrán seguros dentro de la construcción y no robarán espacio utilizable para otros fines.



Ver Plano 1 (Anexo)



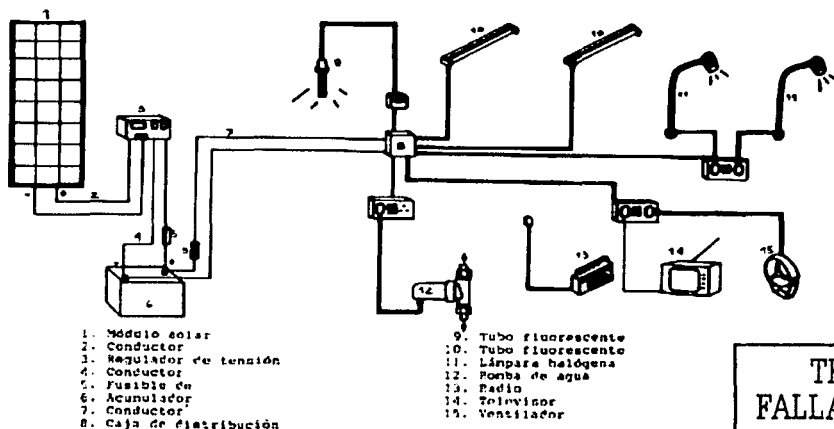
A continuación se presenta un presupuesto intermedio obtenido de la media entre 4 distribuidores mexicanos de equipamiento solar.

Cantidad	Elemento	Precio Unitario (USD)*	Precio Total (USD)*
11	Acumulador 110 A h / 12 V	171.00	1,881.00
6	Panel 100 W / 12 V	535.00	3,210.00
1	Convertidor Senoidal 200 W	92.00	92.00
1	Regulador Shunt 60 A	97.00	97.00
1	Estructura inclinable 6 paneles	153.00	153.00
500	Metros cable	0.15	75.00
1	Sistema de regulación y control	85.00	85.00
5	Luminarias 17 W	27.00	135.00
4	Luminarias 32 W	34.00	136.00
1	Bomba 1/16 HP	150.00	150.00
1	Interruptores, enchufes, etc.	100.00	100.00
1	Pequeño material (tornillos, etc)	50.00	50.00
1	Obra albañilería tejado	150.00	150.00
1	Transporte	200.00	200.00
1	Mano de obra de instalación	400.00	400.00
TOTAL			6,914.00 *

* Dólares estadounidenses

Que tomando un tipo de cambio de **11.50 Pesos por 1 Dólar**, nos daría la cantidad de : **79,511.00 Pesos mexicanos**.

Esta será la cantidad a pagar en caso de optar por el sistema fotovoltaico a día de hoy, tomando en cuenta las limitantes e inconvenientes que una instalación solar implica. La instalación tendrá un esquema parecido al siguiente croquis:



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Ahora pondremos el presupuesto de la Compañía de Luz y Fuerza para hacer la comparación de costos.

Cantidad	Concepto	Precio Unitario (MXP)**	Precio Total (MXP)**
15	Postes aterrizados, colocados y aislados	23,000.00	345,000.00
3	Km conductor	1,000.00	3,000.00
1	Transformador	50,000.00	50,000.00
1	Acometida y sistema de protección	10,000.00	10,000.00
Total			408,000.00 **

** Pesos mexicanos.

Aquí faltará contabilizar el presupuesto de un electricista para la instalación eléctrica de toda la construcción.

El hecho de conectarnos a la red eléctrica nos permitirá un consumo no limitado de energía a pesar de su gran inversión inicial.

5.2 Evaluación económica

Como se aprecia fácilmente, el costo de la instalación fotovoltaica es del orden de una quinta parte del costo que supone conectarse a la red eléctrica, aunque esto representa una limitación en el consumo y en el otro caso no.

Haciendo una comparación de ventajas y desventajas tenemos:

Instalación Fotovoltaica	
<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
Ahorro económico en la inversión inicial en comparación a la conexión de red. Bajos costos de mantenimiento. No facturas mensuales por consumo eléctrico. Utilización de energía no contaminante.	Limitación en el consumo energético.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Conexión a la Red	
<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
Consumo no limitado de la energía en cualquier momento.	Alto costo inicial. Pago de factura de consumo mensual.

Ahora haremos una comparación económica a 20 años, periodo de tiempo que se garantiza el óptimo rendimiento de los paneles fotovoltaicos:

En base al bajo consumo de energía que se realizaría con la instalación solar, se estimó una factura de \$50.00 mensuales (consumo mínimo) de ser esta energía suministrada por la compañía de Luz. También, por otro lado, se prevé un gasto de \$100.00 anuales en mantenimiento (aceites lubricantes de los ejes del soporte, limpiacristales y limpieza en general), así como en agua destilada para los acumuladores⁴⁶.

Instalación solar			Red eléctrica	
Año	Concepto	Costo	Concepto	Costo
0	Inversión inicial	79,511.00	Inversión inicial	408,000.00
1	Mtto.anual	100.00	Consumo anual	600.00
2	Mtto.anual	100.00	Consumo anual	600.00
3	Mtto.anual	100.00	Consumo anual	600.00
4	Mtto.anual	100.00	Consumo anual	600.00
5	Mtto.anual	100.00	Consumo anual	600.00
6	Mtto.anual	100.00	Consumo anual	600.00
7*	Camb. Acum.+Mtt	22,231.50	Consumo anual	600.00
8	Mtto.anual	100.00	Consumo anual	600.00
9	Mtto.anual	100.00	Consumo anual	600.00
10	Mtto.anual	100.00	Consumo anual	600.00
11	Mtto.anual	100.00	Consumo anual	600.00
12	Mtto.anual	100.00	Consumo anual	600.00
13	Mtto.anual	100.00	Consumo anual	600.00
14*	Camb. Acum.+Mtt	22,231.50	Consumo anual	600.00
15	Mtto.anual	100.00	Consumo anual	600.00
16	Mtto.anual	100.00	Consumo anual	600.00
17	Mtto.anual	100.00	Consumo anual	600.00
18	Mtto.anual	100.00	Consumo anual	600.00
19	Mtto.anual	100.00	Consumo anual	600.00
20	Mtto.anual	100.00	Consumo anual	600.00
Total		125,774.00	Total	420,000.00

* Años en los que por media de edad se tendrían que cambiar los acumuladores, que en el presupuesto figuran como 1,881.00 USD, y al tipo de cambio de 11.50 pesos por dólar, darán la cantidad de 21,631.50, más 100.00 pesos de mantenimiento anual y unos 500 pesos de transportación y mano de obra por cambio de los acumuladores. Esto nos da: 22,231.00 pesos mexicanos.

La cantidad de \$125,774.00 a 20 años nos da una media de \$6,288.70 pesos anuales o, de \$524.00 pesos mensuales durante 20 años, es decir, \$17.50 pesos diarios para el suministro de energía solar.

⁴⁶ Econolux, Naucalpan. 2003.

Por el contrario, tenemos que a 20 años los costos de la instalación solar son menos de una tercera parte de los costos de conectarse a la red, generando ahorros por cerca de \$300,000.00 pesos durante dichos 20 años o de \$15,000.00 pesos anuales.

Tal vez este pequeño ahorro de \$1,250.00 pesos mensuales no represente mucho en el bolsillo de una familia con solidez económica, pero si es de valiosa cuantía en familias que disponen de prácticamente dicha cantidad mensual para sobrevivir.

De antemano, la inversión inicial en energía solar es cinco veces inferior al de conectarse a la red, con la consiguiente ventaja de que no habrá recibo de luz mes a mes, pero con la restricción de limitar el uso de energía a tareas muy necesarias.

Aquí presentamos una tabla comparativa de costos amortizados a 20 años y vistos para distintos periodos de tiempo:

Periodo tiempo	Conexión Red	Instalación solar	Diferencia
20 años	420,000.00	125,774.00	294,226.00
1 año	21,000.00	6,288.70	14,711.30
1 mes	1,750.00	524.05	1,225.95
1 día	58.33	17.50	40.83

Es ahora momento que el dueño del Rancho San Antonio evalúe las ventajas y desventajas de una fuente energética a otra con sus respectivos costos y evaluando sus necesidades a corto y largo plazo.



Vista de los campos que rodean al Rancho San Antonio

TESIS CON
ALLA DE ORIGEN

6. PROCESO DE FABRICACIÓN Y ANÁLISIS AMBIENTAL

Los compuestos contaminantes relacionados con la producción y uso de la energía se encuentran en los estados gaseoso, líquido y sólido. Los gaseosos plantean mayores problemas. Entre los más importantes están: SO_2 , NO_x , CO_2 y, en menor cantidad, hidrocarburos, partículas con trazas de metales, Hg, V. Por otra parte, la atmósfera contiene gases radiactivos procedentes de la acción de los rayos cósmicos y de la liberación de radón por desintegración natural de los minerales de uranio y torio que se encuentran en la corteza terrestre y contaminan el aire, el agua, los materiales de construcción y los alimentos.

Las acciones para disminuir la contaminación ambiental causada por la producción y uso de la energía cubren varios frentes. De manera resumida el problema se plantea de la forma siguiente: disminución de las emisiones de CO_2 y de partículas al 50% de las actuales, control de los vertidos gaseosos y líquidos y tratamiento y protección de los residuos sólidos con especial atención al almacenamiento de residuos radiactivos de alta actividad.

El carbón y el uranio son actualmente los recursos más utilizados para producir energía térmica y también los que plantean mayores polémicas desde el punto de vista ambiental. La tecnología nuclear está muy desarrollada y la del carbón espera transformaciones profundas. La utilidad del uranio para otros usos es nula, mientras que el carbón tiene las posibilidades de la carboquímica.

Los combustibles gaseosos son los menos contaminantes seguidos por los líquidos y su utilización en la industria química en su doble faceta, productos y energía, tendrán normas de anticontaminación más estrictas. Por otra parte, estos combustibles son imprescindibles para los medios de transporte y sus precios siguen las veleidades de los mercados internacionales.

Los recursos energéticos menos contaminantes, como la energía solar, la geotérmica y la eólica, no pueden sustituir en plazo breve a las grandes centrales. Sin embargo, su aportación habrá de ir en aumento, empezando por zonas localizadas y con el suficiente apoyo de la investigación.

La generación fotovoltaica por si misma no contamina, pero la fabricación de los paneles solares y todo lo que una instalación solar implica requiere de energía proveniente de medios de generación tradicionalmente contaminantes.

En este capítulo se pretende describir el proceso de fabricación de paneles solares y analizar y cuantificar las emisiones directas e indirectas, así como el consumo de energía necesarios para finalmente hacer una evaluación ambiental de sus ventajas y desventajas.

6.1 Proceso de Fabricación de Paneles solares

Todo procedimiento químico supone la transformación de una o varias materias primas en uno o varios productos. A veces, junto a éstos, aparecen otros no deseados e inevitables que pueden tener valor para otros fines, llamados subproductos.

Dada la imposibilidad práctica de llevar a cabo las transformaciones en su totalidad, la parte de materia no transformada y las intermedias que no son posibles de recoger constituyen un conjunto de residuos que se escapan al ambiente y son causa de contaminación. La importancia de este fenómeno ha ido en aumento al crecer la población humana y su índice de consumo.

Una celda suelta solamente es capaz de proporcionar una tensión de algunas décimas de voltio (típicamente alrededor de medio voltio para las celdas de silicio) y a una potencia máxima de uno o dos vatios. Es preciso conectar entre sí en serie un determinado número de celdas para producir tensiones de 6, 12 o 24 voltios aceptadas en la mayor parte de las aplicaciones. Al conjunto así formado, convenientemente ensamblado y protegido contra los agentes externos (las celdas son muy delicadas), se le denomina panel o módulo fotovoltaico. A veces, la palabra panel se utiliza para designar un conjunto de dos o más módulos ensamblados entre sí.

El proceso de conexión de las celdas es automático, efectuándose mediante soldaduras especiales que unen el dorso de una celda con la cara frontal de la adyacente.

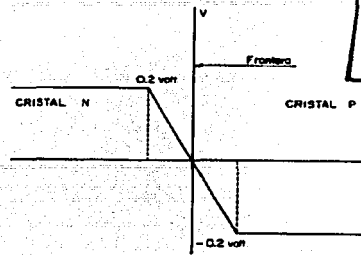
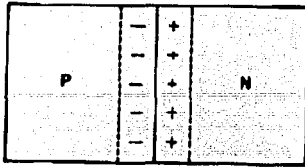
Para producir un panel de 12 voltios nominales usualmente se necesita un número de celdas entre 30 y 40, según las características de las mismas.

Ver Figura 1 (Anexo)

6.1.1 Fabricación de las celdas fotovoltaicas

Una celda fotovoltaica es una unidad formada por materiales semiconductores capaces de producir, mediante la unión P-N, una barrera de potencial que haga posible el efecto fotovoltaico. El tamaño de cada celda, que depende fundamentalmente del proceso de fabricación, varía normalmente desde unos pocos centímetros cuadrados hasta 100 cm² o más, y su forma es circular, cuadrada, o derivada de estas dos geometrías.

Las celdas se interconexionan en serie, para que los electrones expulsados de una sean recogidos por la siguiente, comunicándoles energía adicional, a fin de lograr una diferencia de potencial para el circuito exterior que sea adecuada a efectos prácticos (normalmente entre 6 y 24 V).



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

El tipo de celda más común y también el primero que se produjo industrialmente, es el formado por silicio puro monocristalino.

El procedimiento clásico de fabricación de las celdas de Si monocristalino, conocido como método Czochralski (abreviadamente Cz), parte de la obtención, a partir de la sílice –material muy abundante en la superficie terrestre- de silicio extremadamente puro, el cual se funde en un crisol junto con una pequeña proporción de boro, hasta formar una masa a 1400°C.

Una vez que todo el material se encuentra en estado líquido, se introduce en el seno del mismo una varilla en cuyo extremo hay un <<cristal germen>> de Si sobre el cual se van disponiendo lentamente nuevos átomos del material procedentes del líquido, que quedan perfectamente ordenados siguiendo la estructura del cristal.

Se obtiene así un monocristal cilíndrico de suficiente tamaño el cual, un vez enfriado, se corta en finas obleas circulares (o cuadradas si previamente el cilindro se ha cortado convirtiéndolo en un paralelepípedo rectangular) de unas 3 décimas de milímetro de grosor, que son tratadas químicamente en su superficie.

Estas obleas constituyen el producto semielaborado que a veces se exporta para que las factorías de diversos países completen el proceso de creación de la celda. Dicho proceso consiste esencialmente en la creación de la unión P-N, introduciendo la oblea de silicio dopado con boro en hornos especiales, dentro de los cuales se difunden átomos de fósforo que se depositan sobre una cara, alcanzando éstos una cierta profundidad bajo la superficie de la oblea.

Se completa esta fase del proceso mediante un tratamiento antirreflectante, que puede consistir en la formación de minúsculas estructuras piramidales sobre la superficie que va a recibir la radiación, para que el rayo reflejado tenga más posibilidades de volver a incidir antes de perderse definitivamente.

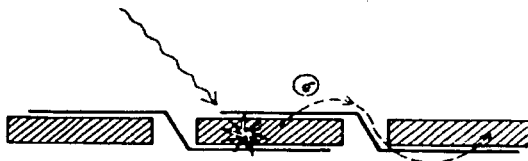
Por último se entra en el proceso de proveer a la celda de contactos eléctricos adecuados, a fin de que los electrones encuentren un camino fácil para salir y entrar de la misma. Esto se consigue depositando por métodos electroquímicos de

evaporación al vacío o serigráficos, una red o rejilla constituida por una aleación buena conductora, que adopta una geometría especialmente estudiada para conseguir una óptima recolección de electrones sin cubrir a la vez demasiada superficie útil de celda.

La rejilla metálica o parrilla conductora, que forma el contacto frontal de las celdas cristalinas suele consistir en una serie de dedos que están en contacto directo con el semiconductor y que se conectan entre sí mediante unas tiras metálicas. El diseño de estos dedos afecta a la eficiencia de la celda de dos maneras. Por un lado, implica un sombreado que impide que la parte de la radiación disponible alcance el interior de la celda. Y, por otro lado, introduce una resistencia debida a la unión metal-semiconductor y a la propia resistencia del material empleado. En este sentido, se ha evolucionado desde la técnica convencional del serigrafiado hasta la de contacto enterrado mediante láser LGBG (Laser Grooved Buried Grid), consiguiendo mejorar en un 25% la eficiencia de la celda sin apenas aumentar su coste. Las claves de ésta técnica son:

- Reducción del ancho de los dedos, de 150 micras con serigrafía convencional, a 20 micras, que reduce el sombreado de la celda hasta en un 3%, frente al 15% de las serigrafiadas.
- Aumento de la relación de aspecto (alto/ancho) del contacto, lo que supone una reducción en la resistencia total de la malla.
- Reducción de la resistencia contacto-semiconductor.

Después de pasar una serie de controles de calidad, la celda quedará lista para ser utilizada, uniéndola con otras iguales para así formar un módulo.



Esquema de la unión de las células en un módulo

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La celda final producida tiene un rendimiento aproximadamente igual a la mitad del máximo teórico del material de que está constituida. Esta pérdida de rendimiento se debe a tres causas principalmente:

- Pérdidas por reflexión, las cuales, aunque han sido reducidas, nunca es posible hacer desaparecer totalmente.
- Los fotones que inciden sobre la rejilla metálica en vez de sobre el material semiconductor se pierden, no produciendo el efecto fotovoltaico.
- Al circular la corriente a través de la celda se produce una pequeña pérdida por efecto Joule.

Por todo lo anterior, el rendimiento de una celda monocristalina de Si no suele superar el 15%.

Si el proceso de fabricación, en vez de partir de un monocristal, se hace dejando solidificar lentamente en un molde rectangular la pasta de silicio, se obtiene un sólido formado por muchos pequeños cristales o granos de silicio, del cual pueden cortarse celdas policristalinas cuadradas. Estas celdas han alcanzado una amplia comercialización, aunque sus rendimientos son algo menores que las monocristalinas, pues su precio es también inferior.

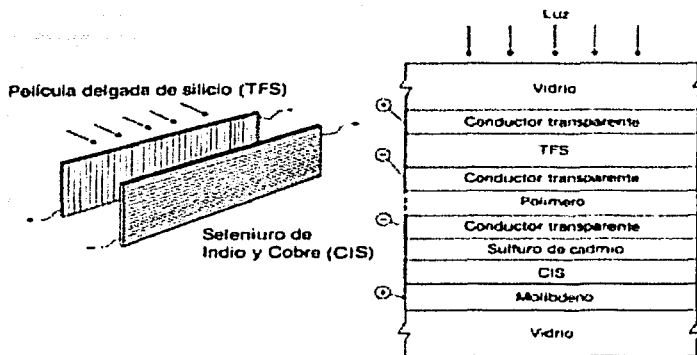
El proceso de cortar las celdas a partir de una sola pieza produce gran cantidad de desperdicio de material semiconductor en forma de polvo. Para evitar este inconveniente se introdujo un método de fabricación de celdas diferente, consistente en producir una fina tira continua de material policristalino que se corta en trozos rectangulares.

Las tecnologías más recientes en la fabricación de materiales se basan en el diseño conocido como de película delgada, que se diferencia de los anteriores, ya que no produce celdas individuales (que posteriormente han de ser conectadas en serie para obtener el voltaje suficiente para las aplicaciones más habituales), sino una finísima capa de solamente 1 o 2 micras de espesor de material semiconductor que se deposita sobre un sustrato apropiado, formándose un módulo continuo que no requiere interconexiones interiores.

Una curiosa característica de algunos tipos de películas delgadas semiconductoras es que los fotones que no logran transmitir su energía a los electrones atraviesan la película a causa de su extrema finura, lo cual posibilita el diseño de módulos semitransparentes que podrían utilizarse, por ejemplo, en los techos de los automóviles y ventanales de los edificios.

Actualmente el tipo de película delgada que más se produce es la de Silicio-Hidrógeno (TFS), que es el material semiamorfo que se observa en las calculadoras y otros pequeños dispositivos solares, aunque también existen paneles de mayor potencia.

Existen otra clase de películas delgadas, como la constituida por la combinación de Cobre, Indio y Selenio (CuInSe_2), abreviadamente CIS, o incluso combinaciones más sofisticadas.

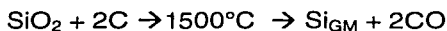


Combinación de dispositivos de diferente respuesta espectral. Esquema del conocido como -Tándem Tr.S/CIS-

Proceso químico:

a.- Obtención del silicio grado metalúrgico (98%)

Consiste en la reducción carbotérmica (1400°C-1500°C) de dióxido de silicio y carbón de coque en horno de arco eléctrico, dando lugar a la liberación de monóxido de carbono



b.- Obtención del silicio grado semiconductor (99,99%)

Uno de los procesos más utilizados para su obtención es la reducción con hidrógeno del triclorosilano (obtenido a partir de la reacción de ácido clorhídrico con el silicio grado metalúrgico proveniente de la etapa anterior), conocido como Método Siemens. Durante este proceso se generan cloruros metales como residuos (cloruros de hierro, aluminio, fósforo, níquel, calcio y otros), desprendiéndose, por hidrólisis, cloro gaseoso.

- Obtención de triclorosilano a partir de silicio grado metalúrgico



- Reducción de triclorosilano con hidrógeno



c.- Fabricación de las celdas de silicio monocristalino

En primer lugar se produce el lingote de silicio monocristalino dopado tipo P fundiendo el silicio grado semiconductor con una pequeña porción de boro (Método Czochralski).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A partir del lingote obtenido se cortan las obleas, se pulen o decapan químicamente, eliminándose polvo de silicio (20%).

Posteriormente se forma la juntura PN, con vapores de oxiclورو de fósforo (POCl_3), los cuales difunden una corta distancia (alrededor del 10%) dentro del silicio (capa tipo N), dando lugar a la formación espontánea e inmediata de una barrera potencial.

Por último, se les efectúa un tratamiento antirreflectante, y se realiza la metalización y sintetizado de las mismas.

6.1.2 Fabricación de la placa de vidrio templado

El vidrio templado utilizado en el armado de los paneles es de bajo contenido de hierro, lo cual le confiere una excelente captabilidad de los rayos ultravioleta e infrarrojos, resistencia a las altas temperaturas y capacidad de operar bajo condiciones climáticas extremas.

El proceso de fabricación puede resumirse de la siguiente forma:

1.- Cribado

Luego de pesadas y dosificadas, las materias primas (dióxido de silicio libre de óxido de hierro o con un contenido menor al 0.03%, carbonato de sodio; carbonato de calcio y carbonato de magnesio) se trituran y tamizan.

2.- Mezclado

Las materias primas se homogeneizan en una mezcladora cerrada donde se les adiciona entre un 2-6% de agua.

3.- Secado y precalentado

La mezcla se seca mediante el empleo de una corriente de aire seco a 100-106°C, y luego se precalienta hasta 300°C, mediante el uso de una corriente de gas caliente proveniente de la combustión del horno.

4.- Mezclado

Las materias primas son homogeneizadas en una mezcladora cerrada.

5.- Fusión

Los componentes sólidos ingresan a un horno en el que se emplea como combustible Fuel Oil.

En una primera etapa las materias primas se funden y reaccionan (400°C a 1050°C), obteniéndose una masa vítrea líquida (1300°C) con una gran cantidad de burbujas de dióxido de carbono (CO_2).

En una segunda etapa (1500°C), las burbujas adquieren una fuerza ascensional superior a la viscosidad del vidrio fundido que les permite elevarse a la superficie donde rompen eliminando los gases.

6.- Templado y estirado

El vidrio obtenido se enfría lentamente hasta la temperatura ambiente mediante un sistema de refrigeración con agua y ventilación. El estirado se hace en conjunto al templado, empleándose para ello una máquina de estiraje compuesta por rodillos por la que se desplaza la masa vítrea.

7.- Recocido

Las láminas son introducidas a un horno de recocido en la que se le aplica un nuevo salto térmico y posteriormente un brusco enfriamiento a fin de extraerle todas las tensiones superficiales.

8.- Acabado

Las láminas son pulidas con arena para el esmerilado grueso, y luego con materiales más blandos como el óxido de selenio (SeO_2) para el esmerilado fino.

9.- Corte

Esta operación se realiza en mesas provistas con herramientas diamantadas que marcan la superficie de corte sobre la que después se realiza un esfuerzo de tracción, consiguiendo que la fisura se propague en el espesor.

6.1.3 Fabricación de los perfiles de aluminio anodizado

Las etapas requeridas para fabricar los perfiles de aluminio anodizado utilizados en la confección de los paneles son básicamente las que se describen a continuación:

1.- Obtención de alúmina de alta pureza (Proceso Bayer):

Mediante este proceso se obtiene alúmina (óxido de aluminio anhidro, Al_2O_3) de alta pureza a partir de bauxita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , MnO_2 y VO_2). Esta es molida y tratada con una Solución al 25% de hidróxido de sodio (NaOH) (200-240°C y 30 atm), formando aluminato de sodio (NaAlO_2).

En una etapa posterior, la solución es enfriada y diluida con agua con lo que se logra descomponer el aluminato de sodio en alúmina hidratada ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), compuesto insoluble que se separa en la etapa denominada precipitación, y que es luego filtrada y lavada. La solución de NaOH restante es concentrada y reintroducida en el proceso.

Finalmente, la alúmina hidratada se calienta por encima de los 1000°C a fin de eliminar el agua. La alúmina obtenida es un polvo fino y blanco de alta pureza, con pequeñas cantidades de óxido de silicio, sodio, y otras impurezas.

2.- Obtención de aluminio (Proceso May Heroult)

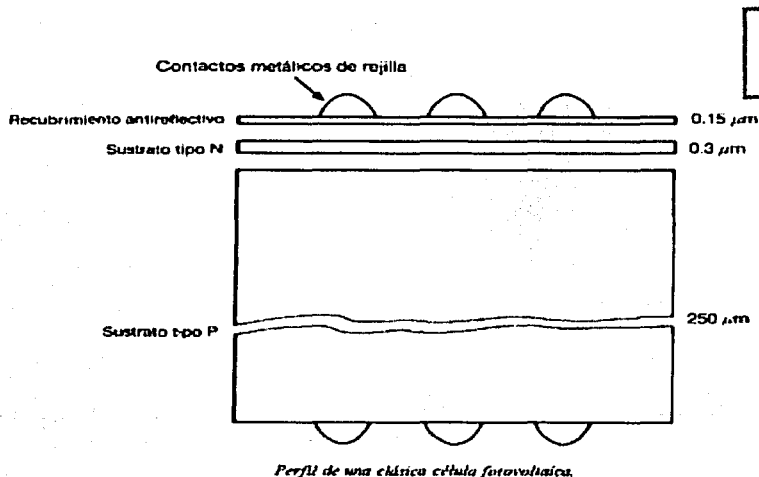
Consiste en la electrólisis de la alúmina de alta pureza, utilizándose para ello cubas electrolíticas con barras suspendidas de carbón grafito (ánodos). Las cubas son contenedores de acero recubiertos con una mezcla apisonada de brea y carbón de antracita o coque de elevada pureza (para así evitar la contaminación del metal producido), comportándose como cátodos.

Dentro de la cuba electrolítica están contenidos en estado líquido una mezcla de alúmina, criolita (Na_3AlF_6), trifluoruro de aluminio (AlF_3) y fluoruro de calcio (CaF_2), a los que se denomina baño electrolítico. La criolita (fundente) no participa en forma directa en la reacción, sólo ofrece un medio apropiado para que la reacción se lleve a cabo.

Dado que la temperatura de operación varía entre 950 y 965°C , el aluminio, cuyo punto de fusión es 660°C , permanece en estado líquido. Durante la electrólisis se desprenden CO , CO_2 y gases que resultan de la descomposición de la criolita. El baño electrolítico resultante no constituye un residuo si no un subproducto ya que puede, previo acondicionamiento, ser empleado en nuevas cubas o vendido.

Los ánodos se retiran de las celdas antes de completar su consumo total (un 25% del tamaño del ánodo original) y son molidos y mezclados con coque para fabricar los nuevos ánodos.

El aluminio proveniente de la cuba electrolítica se vuelca en un horno donde se lo acondiciona para la obtención de barros de aleación tratados térmicamente para extrusión.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.- Fabricación y anodizado de los perfiles

Los barrotos de aleación de aluminio se colocan en máquinas extrusoras para la obtención de los perfiles.

El anodizado es un tratamiento superficial que mediante un proceso electrolítico produce una capa de óxido (alúmina) sobre el perfil de aluminio con un espesor entre 10 y 25 m, y que posee un alto valor anticorrosivo en medios cuyo pH está comprendido entre 4 y 9.

6.1.4 Armado del panel solar

El armado del panel consiste en la interconexión eléctrica de las celdas fotovoltaicas, una vez terminadas las interconexiones eléctricas, las celdas son encapsuladas en una estructura tipo sándwich, consistente en una lámina de vidrio templado, otra de un material orgánico adecuado, por ejemplo acetato de etilenvinilo (EVA), las propias celdas, otra capa de sustrato orgánico y, por último, una cubierta posterior formada por varias láminas de polímeros u otro vidrio. La estructura concreta de cada modelo de panel varía de un fabricante a otro.

Posteriormente se ensambla el conjunto, colocando la placa de vidrio templado de bajo contenido de hierro en la cara que mira al Sol, y en la cara posterior, una lámina plástica multicapa (Tedlar- Poliéster) resistente a la acción mecánica, opaca y de color claro para reflejar la luz.

Al conjunto ensamblado se le realiza un posterior laminado y curado para lograr la perfecta adhesión de los distintos componentes y obtener así una sola pieza, la cual se enmarca con los perfiles de aluminio anodizado provistos de las perforaciones necesarias para su montaje, colocándose finalmente las conexiones eléctricas externas.

6.2 Contaminantes generados durante el ciclo de vida de los paneles solares

A continuación se describirán los efectos que tienen sobre el hombre las principales sustancias contaminantes generadas en las diferentes etapas del ciclo de vida de los paneles solares

Contaminantes	Efectos sobre el hombre
Tricloruro de Fósforo (PCl ₃)	<p>Es un líquido volátil a temperatura y presión normal. Reacciona violentamente con agua desprendiendo calor.</p> <p>Puede actuar por contacto, inhalado o ingestión.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Por contacto: provoca irritación severa en los ojos, mientras que en estado líquido en contacto con la piel u ojos provoca quemaduras severas. • Por inhalación: causa irritación y dificultades respiratorias, tos, labios azules. • Por ingestión: produce quemaduras severas en boca, garganta y esófago, y dolores abdominales.
Silicio (Si)	<p>Es un sólido no metálico.</p> <p>El la forma de polvo produce enfermedades respiratorias al considerársele como una partícula molesta (partículas cuyas concentraciones en los ambientes de trabajo pueden reducir la visibilidad, producir depósitos molestos en los ojos, oídos y fosas nasales o producir daños en la piel o en las membranas mucosas, por una acción química o mecánica, ya sea por sí mismo o porque se precise de una enérgica limpieza de la piel para su eliminación).</p>
Cloruro de Níquel (NiCl ₂)	<p>Es un sólido, soluble en agua y etanol.</p> <p>Puede actuar por contacto, inhalación o ingestión.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Por contacto: (polvo y aerosoles) provoca irritación en los ojos y en la piel. En el caso de exposiciones repetidas produce eczemas cutáneos. • Por inhalación; (polvo y aerosoles) causa irritación del aparato respiratorio. Si las exposiciones son repetidas, la irritación crónica del aparato respiratorio superior provoca la pérdida del olfato, asma bronquial, fibrosis pulmonar, pneumoconiosis, y aumento del riesgo de cáncer nasal y pulmonar. • Por ingestión: (sólido y soluciones) produce vómitos, diarreas, temblores, problemas respiratorios, y en ciertos casos la muerte.
Monóxido de Carbono (CO)	<p>Es un gas incoloro e inodoro.</p> <p>Los efectos de una intoxicación por monóxido de carbono son muy variados dependiendo de la duración y la intensidad de la exposición. Éste produce el "Síndrome neuroconductual", caracterizado por cefalea, astenia (decaimiento de fuerzas, debilidad), vértigo, náuseas, disminución de la atención y de la concentración, e intoxicación aguda por formación de carboxihemoglobinemia se produce anoxia (ausencia de oxígeno), tisular con compromiso neurológico progresivo, como convulsiones y daño tisular en otros órganos, especialmente el miocardio y cerebro.</p>

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Cloro (Cl ₂)	<p>Puede producir intoxicaciones agudas o crónicas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Intoxicaciones agudas: frecuentemente, evolucionan en tres periodos; primero se produce irritación ocular y rinofaríngea, acompañada de una sensación de constricción torácica y de tos profunda, luego la víctima experimenta una impresión equivocada de remisión, que puede durar de 6 a 36 horas, y finalmente puede aparecer bruscamente un edema agudo de pulmón. Inhalado en fuertes dosis, el cloro puede provocar para respiratorio. En las intoxicaciones ligeras, donde los signos iniciales son moderados, cabe esperar finalmente la aparición de edema. Además, las lesiones provocadas en el aparato respiratorio pueden implicar secuelas (asma, dilatación de bronquios, enfisemas, etc), • Intoxicaciones crónicas: se caracterizan por manifestaciones cutáneas (acné); trastornos respiratorios (bronquitis y enfisemas), oculares (conjuntivitis), digestivos y dentarios.
Óxido de Selenio (SeO ₂)	Es un sólido que causa irritación aguda de las vías respiratorias, edema de pulmón, quemaduras e irritaciones cutáneas, quemaduras oculares y conjuntivitis.
Fluoruros (F)	Es inhalado en forma de polvos o humos, produciendo flourosis. Produce dermatitis aguda irritativa, conjuntivitis aguda, manifestaciones irritativas de las vías aéreas altas, bronconeumopatías agudas y edema pulmonar agudo, quemaduras químicas, y síndrome osteoligamentoso.
Anhídrido Carbónico (CO ₂)	Es un gas que puede provocar desde alteraciones climáticas (efecto invernadero) hasta perturbaciones en el desenvolvimiento normal de los seres vivos. Las perturbaciones sobre la salud son: molestias por olores, irritación de las vías respiratorias, irritación de ojos, alteraciones de la función pulmonar, sinergismos en agua y catarros; bronquitis crónica y aguda, riesgos de cáncer de pulmón, riesgos de enfermedades cardiovasculares, perturbaciones del sistema nervioso central, alteraciones enzimáticas.

*Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo 19.587 Argentina
 *Ley de Preservación de los Recursos del Aire 20.284 Argentina

6.3 Evaluación de las diferentes alternativas de gestión de los paneles solares desechados

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6.3.1 Alternativas de gestión

A continuación se enumeran las diferentes alternativas de gestión de los principales materiales que constituyen la estructura de los paneles solares (celdas fotovoltaicas, placa de vidrio templado con bajo contenido de hierro y perfiles de aluminio anodizado), desechados al término de su vida útil.

Disposición final

Se denominan sitios de disposición final, a los espacios especialmente acondicionados para la disposición de los residuos que no han sido recuperados, utilizando para ello métodos que no alteren la calidad de los recursos ambientales.

En general, para la disposición final de residuos se utiliza el sistema de rellenos sanitarios.

Recuperación

Se entiende por recuperación de un material, al reprocesamiento de su materia prima para la obtención de nuevos productos. En general, se pueden distinguir cuatro tipos de recuperación, según el producto: reutilización, reciclado, valoración energética y recuperación química.

- La reutilización del material consiste en darle nueva utilidad, previo acondicionamiento del mismo, radicando su mayor limitación en el número máximo de ciclos de reutilización a los que puede ser sometido, ya que en cada uno de ellos, el material sufre un proceso de degradación.
- El reciclado se basa en el reprocesamiento del material para la obtención de uno de menor valor, dependiendo de la calidad del material obtenido del que ha sido reprocesado.
- Las restantes alternativas –valoración energética (recuperación de energía en forma de calor) y recuperación química (recuperación de sustancias químicas sencillas)- carecen de aplicabilidad en los materiales utilizados.

6.3.2 Gestión de los materiales

De acuerdo a los resultados obtenidos, se describirán los procesos de gestión de mayor interés desde el punto de vista del aprovechamiento de materia y energía , para cada uno de los materiales estudiados.

Reutilización de las celdas fotovoltaicas

Las celdas fotovoltaicas sólo pueden ser reutilizadas como celdas de menor tamaño que las desechadas, ya que aún no se han desarrollado técnicas que permitan recuperar el silicio monocristalino que las constituye.

Reciclado del vidrio

El vidrio utilizado en la fabricación de los paneles solares es bajo en impurezas y de una composición específica, por lo cual podría ser empleado como materia prima hasta en un 100%. Sin embargo, diversos ensayos han demostrado que cantidades mayores al 80% provocan un sensible incremento de la fragilidad del vidrio obtenido.

Si bien el vidrio que integra el panel lleva adosada una capa de EVA ($nC_6H_{10}O_2$), esto no impide su reciclado por fusión, dado que el EVA posee una temperatura de fusión próxima a los 76°C, la cual está muy por debajo de la del vidrio (1500-1600°C). Esto permite que el EVA se descomponga en CO y CO₂, pudiendo eliminarse junto con los restantes gases generados durante el proceso de fusión.

El vidrio obtenido a partir de los paneles descartados debes seguir las siguientes etapas:

- 1 *Triturado:* Alimentadores vibratorios lo trasladan hacia quebrantadoras de martillos, donde es triturado en trozos no mayores a los 25 mm de diámetro.
- 2 *Tamizado:* Una cinta transportadora hace pasar los trozos de vidrio por una cámara de soplado donde el polvo de vidrio es retenido en filtros, a fin de evitar que se volatilice junto con los gases de combustión, impidiendo de esta manera la contaminación ambiental.
- 3 *Lavado:* Una máquina lavadora, mediante agua caliente y agitación, termina de extraer el polvo remanente.
- 4 *Secado:* El material se decanta y seca.
- 5 *Fundición:* Una vez seco, el material ingresa al horno de fundición, juntamente con un 20% de materia prima virgen.

Reciclado del aluminio

A diferencia del vidrio la reutilización del aluminio puede ser del 100%, dado que puede ser refundido sin perder sus características físico-químicas. El reciclado del aluminio sigue las siguientes etapas.

- 1 *Triturado:* Operación mecánica que consiste en cortar el material reduciéndolo a pequeñas dimensiones.
- 2 *Fundición:* Los fragmentos son fundidos en un horno rotativo, utilizándose sal (NaCl) como fundente.
- 3 *Horno de mantenimiento y colada:* Al metal fundido se le efectúan las correcciones de composición química que fueran necesarias y los tratamientos que indican las normas para el baño líquido.
- 4 *Desgasificado:* La unidad de desgasificado consiste de un eje rotor por el cual se inyecta un gas inerte a presión que provoca el arrastre de los gases hacia la superficie y la flotación de las muy pequeñas impurezas existentes en la masa de aluminio líquido. Como desgasificante se puede utilizar hexafluoroetano (C_2F_6).
- 5 *Filtrado:* La unidad de filtrado permite retener en un filtro cerámico poroso las impurezas aún presentes en el baño.
- 6 *Colada:* El metal obtenido es colado en lingotes o placas. Se obtiene un metal apto para iniciar nuevamente el proceso tecnológico de fabricación de material destinado a la producción de los nuevos perfiles.

Ver Figura 2 (Anexo)

6.3.3 Conclusiones

“ La obtención del silicio grado semiconductor constituye la etapa de mayor consumo energético por panel (76% del consumo total de energía a lo largo de su ciclo de vida).”⁴⁷

“ El tiempo de funcionamiento de un panel, necesario para recuperar la energía consumida en su fabricación, es de aproximadamente 12 años.”⁴⁸

“ El reciclado del vidrio y el aluminio que constituyen la estructura del panel solar presenta las siguientes ventajas:

- Preservación de recursos naturales. Importante ahorro de materias primas ($MgCO_3$, $CaCO_3$, Na_2CO_3 , Bauxita, $NaOH$).
- Disminución del consumo energético.
- Reducción de la contaminación ambiental: menor generación de contaminantes tales como monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y fluoruros.
- Disminución de los residuos: mayor vida media de los rellenos sanitarios, y reducción de los costos de disposición.”⁴⁹

⁴⁷ Sirtl (1985) Procesado de material de silicio de grado solar. Energía solar fotovoltaica.

⁴⁸ Mc Cormick (1985) Silicon Processing for Photovoltaico I

⁴⁹ Austin (1988). Manual de procesos químicos en la industria. Tomo II.

7. CONCLUSIONES

Cada vez son más los mexicanos que tienen acceso a la energía eléctrica, ya sea por medio de la red de suministro o por la instalación de fuentes alternas de energía renovable, aunque aún quedan unos 4.5 millones de personas que carecen de electricidad, los cuales en su mayoría habitan en regiones dispersas y alejadas de la red de suministro eléctrico de la CFE y de baja densidad demográfica, características que dificultan la extensión del servicio.

En el sector eléctrico mexicano se han identificado problemas estructurales cuya configuración data de hace más de treinta años y hoy enfrenta retos económicos y ambientales aunados a una mayor demanda en crecimiento y con exigencias mayores⁵⁰.

Si bien se necesitan inversiones para aumentar la capacidad del sector eléctrico, los problemas ambientales de la excesiva combustión de hidrocarburos indican que también se requiere buscar fuentes más limpias de generación.

Afortunadamente, la promoción de las energías renovables en México encuentran correspondencia en ciertas disposiciones legales. El artículo primero de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente enuncia que sus disposiciones "son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable". En la fracción V del mismo artículo se establece que esta ley busca sentar las bases para:

El aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas⁵¹.

Por un lado, la naturaleza de los insumos eléctricos tiene consecuencias sobre el ambiente pero, por otro, la existencia, o en su caso, la carencia del servicio determina de manera positiva o negativa – respectivamente – al sector económico y social.

Los beneficios consustanciales a la generación de energía a partir de ER se pueden constatar en países como Alemania, España y la India, entre otros muchos, por lo que los expertos en el campo de las ER opinan que: " las experiencias ajenas demuestran también que la voluntad política, traducida en objetivos precisos y en mecanismos operativos claros, han sido el motor principal

⁵⁰ Informe SENER, 2002.

⁵¹ SEMARNAT, Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente, 1997.

para convertir un recurso energético renovable, no contaminante y accesible, en beneficio para la sociedad”⁵².

Es allí donde la energía solar ha encontrado un nicho de mercado en el medio rural, puesto que sus costos resultan competitivos frente a las fuentes convencionales de energía.

El Rancho San Antonio es un claro ejemplo de ello, al encontrarse a tan sólo 1 km de distancia del suministro de la red, sus habitantes padecen de las consecuencias de no estar conectados a ella. La vida termina con el ocaso y comienza con el primer rayo de luz del sol, el agua debe ser acarreada como antiguamente se hacía, tomando así tiempo utilizable para otras actividades, parte de los alimentos no pueden ser mantenidos al no haber un refrigerador, su lejanía se agranda al no poder escuchar la radio o mirar la televisión y algunas labores domésticas, como el hacer una salsa, se realiza en molcajete y no en licuadora.

Además, siendo el Sol la fuente de energía de la Tierra y siendo la región de Zempoala una zona buena de incidencia solar, sería un desperdicio no aprovechar el recurso libre, no contaminante y gratuito en beneficio de la población.

El proyecto elaborado se realizó paso a paso dando una amplia explicación a cualquiera que quiera montar su propia instalación de cómo realizar un proyecto de energía solar y, por otro lado, dando las bases técnicas y teóricas del funcionamiento de dicho sistema, para así servir de manual de fácil comprensión que esté al alcance de cualquier comunidad o interesado en el tema y de esta forma acercar a la gente con casos similares al Rancho San Antonio a la opción de la energía solar.

Los resultados obtenidos fueron presupuestados entre cuatro empresas distribuidoras y de éstos se obtuvo un presupuesto promediado, el cual fue comparado con la oferta de la Compañía de Luz.

La diferencia en la inversión inicial resultó abismal, la instalación fotovoltaica representa la quinta parte del costo de conexión a la red y, a los veinte años, la inversión total en energía solar representa la tercera parte de la convencional, lo que la sitúa en la opción más económica a corto y mediano plazo.

Si contemplamos la inversión a unos sesenta años, es posible que los gastos en energía sean similares. Entonces, a largo plazo, 60 años, ¿estaremos hablando de la misma cantidad invertida?. Posiblemente no sea así. Los gastos de reestructuración del sector eléctrico mexicano afectarán los bolsillos de los consumidores y, por otro lado, se espera una reducción de precios en los elementos de las instalaciones solares conforme su demanda aumente y el mercado monopolizado libere los precios.

⁵² Jorge M. Huacuz. Informe energético, pag.63, 2002.

Es decir, si apostamos por la energía solar ahora tendremos la limitante de la cantidad de energía disponible, pero es muy probable que en una década sea económicamente muy accesible aumentar la potencia de la instalación a la mitad de precio que nos saldría al día de hoy y así duplicar la energía entrante.

Así, la ganancia sería el aprovechamiento libre y gratuito en energía con una inversión rentable y atractiva, bajo el inconveniente, por supuesto, de la libertad en su uso. Es ridículo pensar en una lavadora o un microondas conectado al sistema fotovoltaico.

Para comunidades alejadas de la red y con no grandes aspiraciones energéticas, la energía solar representa una opción económica y ecológica, además de darles independencia en su suministro energético.

Pequeñas escuelas, clínicas y pozos comunitarios pueden beneficiarse del sol, así como pequeños talleres que necesiten de motores de corto caballaje y unas horas de iluminación artificial.

Además, como se menciona en el capítulo VI, actualmente por cada doce años de operación de un panel, éste paga la energía que se utilizó en su fabricación, y el resto de años se convierten en generación de energía no contaminante. Aunando a que cada año se mejoran los procesos de fabricación y se alargan los años de vida de los paneles y acumuladores, es posible que también en una década la cuota a pagar se reduzca a la mitad, es decir, 6 años, pretendiendo ganar 24 años de generación energética ecológica y sustentable.

No se trata de incorporar a la gente sin suministro eléctrico a la sociedad moderna de grandes consumos energéticos, sino de hacerles la vida un poco más fácil y cómoda con un sistema limpio y económico que les brinde la oportunidad de mejorar sus condiciones de vida y, por otro lado, de enseñarnos a todos que con menos energía y más limpia todos podemos vivir.

Apostar por la energía solar para comunidades alejadas y reprimidas económicamente es apostar por el bienestar sustentable.

Anexo

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Apéndice

Símbología	Concepto	Fórmula
A	Azimut solar	
A	Área transversal de la tubería	
A,B	Parámetros característicos de cada módulo	
C _u	Capacidad útil	$C_u = EN$
E _p	Energía producida por los paneles	
E	Energía real necesaria para alimentar los acumuladores	$E = ET / R$
e	Eficiencia	
E _T	Energía total recibida	
FF	Factor de forma	
h _b	Altura de presión gravitatoria	
h _d	Altura dinámica	$h_d = v^2 / 2g$
h _g	Pérdida de carga por rozamiento	$h_R = l (L/D) (v^2/2g)$
h _M	Altura manométrica	$h_M = h_g + h_R + h_d$
h	Altura solar	
H.S.P.	Horas de Sol Pico	
i _p	Intensidad pico del panel	
i _r	Intensidad máxima capaz de disipar el regulador	
i _{sc}	Corriente de cortocircuito	
i	Corriente	
I	Irradiancia	$I = E / St$
k _a	Coefficiente de autodescarga del acumulador	
k _b	Coefficiente de pérdidas por rendimiento en el acumulador	
k _c	Coefficiente de pérdidas en el convertidor	
k _v	Coefficiente de otras pérdidas (efecto Joule, rendimiento de la red, etc)	
l	Longitud del conductor	
N _{pp}	Número de paneles en paralelo	
N _r	Número de reguladores	$N_r = N_{pp} i_p / I_r$
N	Días necesarios de autonomía de la instalación	
pd	Profundidad de descarga máxima admisible del acumulador	
P _e	Potencia de entrada en el regulador	$P_e = P_s / e$
P _s	Potencia de salida del regulador	
P	Potencia producida por el panel	
P	Potencia de la bomba	$P = g Qh M_g$
P _M	Potencia máxima	
Q	Caudal	
R	Factor global de rendimiento de la instalación	$R = 1 - [(1 - k_b - k_c - k_v) k_a N / pd] - k_b - k_c - k_v$
r	Resistividad del material conductor	
S	Área de incidencia	
S	Sección conductor	$S = rI / VAB$
t	Tiempo	
V _{oc}	Voltaje a circuito abierto	
V	Voltaje	
V	Velocidad flujo	$V = Q / A$

Tabla: Irradiación global media en la República Mexicana

Datos en KWH/m2

Estado	Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Sonora	Hermosillo	4.0	4.60	5.40	6.60	8.30	8.60	6.90	6.60	6.70	6.00	4.70	3.90
Sonora	Guaymas	4.5	5.70	6.50	7.20	7.30	6.80	5.90	5.80	6.30	5.90	5.10	5.60
Chihuahua	Chihuahua	4.1	4.90	6.00	7.40	8.20	8.10	6.80	6.20	5.70	5.20	4.60	3.80
Coahuila	Piedras Negras	3.1	3.60	4.20	4.50	4.80	6.00	6.70	6.30	4.90	4.10	3.30	2.90
Coahuila	Saltillo	3.8	4.20	4.80	5.10	5.60	5.90	5.90	5.60	5.20	4.40	3.60	3.30
Nuevo León	Monterrey	3.2	3.60	4.10	4.30	4.80	5.50	6.10	5.60	5.00	3.80	3.30	3.00
San Luis Potosí	Rio Verde	3.6	4.00	4.60	4.90	5.40	5.60	5.80	5.80	5.10	4.30	3.70	3.30
San Luis Potosí	S.L.Potosí	4.3	5.30	5.80	6.40	6.30	6.10	6.40	6.00	5.50	4.70	4.20	3.70
Zacatecas	Zacatecas	4.9	5.70	6.60	7.50	7.80	6.20	6.20	5.90	5.40	4.80	4.20	4.10
Campeche	Campeche	4	4.10	5.50	5.80	5.50	4.90	4.90	5.10	4.70	4.40	4.20	3.70
Guanajuato	Guanajuato	4.4	5.10	6.10	6.30	6.60	6.00	6.00	5.90	5.80	5.20	4.80	4.60
Colima	Colima	4.4	5.10	5.30	5.80	6.00	5.20	4.90	5.00	4.60	4.40	4.40	3.90
Colima	Manzanillo	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Aguascalientes	Aguascalientes	4.5	5.20	5.90	6.60	7.20	6.30	6.10	5.90	5.70	5.10	4.80	4.00
Guerrero	Chilpancingo	4.1	4.50	4.90	5.20	5.20	5.20	5.10	5.10	4.70	4.40	4.10	3.80
Guerrero	Acapulco	4.8	5.30	6.10	5.90	5.60	5.10	5.30	5.40	4.90	5.20	5.00	4.70
Nayarit	Tepec	3.9	4.30	4.80	5.50	6.10	5.30	4.90	5.30	4.40	4.40	4.00	4.80
Veracruz	Tuxpan	3.1	3.80	4.40	4.80	4.70	4.40	4.70	5.50	4.40	4.10	3.40	3.10
Veracruz	Córdoba	3.1	3.30	3.60	3.80	4.10	4.40	4.60	4.50	4.10	3.50	3.10	2.80
Veracruz	Orizaba	3.3	3.50	3.90	4.20	4.90	4.40	4.50	4.60	4.30	3.60	3.30	3.10
Veracruz	Jalapa	3.2	3.50	3.80	4.30	4.60	4.40	4.90	5.00	4.40	3.70	3.30	3.00
Veracruz	Veracruz	3.7	4.50	4.90	5.10	5.10	4.80	4.70	5.10	4.60	4.80	4.10	3.60
Chiapas	Comitán	4.1	4.40	4.80	4.90	5.10	4.80	5.50	5.50	4.80	4.00	4.00	3.70
Chiapas	Arriaga	5.1	5.40	5.50	5.90	5.60	5.20	5.90	5.50	5.10	5.30	5.10	4.70
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	3.8	4.40	4.60	4.80	5.30	5.10	5.40	5.30	4.90	4.40	4.10	3.70
Chiapas	San Cristóbal	4	4.30	4.50	4.50	4.80	4.70	5.40	5.30	4.60	4.20	3.90	3.70
Chiapas	Tapachula	5.4	4.90	4.80	4.60	4.70	4.70	5.20	5.10	4.60	4.10	4.30	4.10
Quintana Roo	Chetumal	3.9	4.70	5.40	5.70	5.30	4.70	4.90	5.00	4.50	4.40	4.00	3.70
Quintana Roo	Cozumel	3.9	4.60	5.30	5.70	5.20	4.80	4.90	4.90	4.60	4.40	4.00	3.80
Oaxaca	Salina Cruz	5.4	6.30	6.60	6.40	6.10	5.00	5.60	5.90	5.20	5.90	5.70	5.20
Oaxaca	Oaxaca	4.9	5.70	5.80	5.50	6.00	5.40	5.90	5.60	5.00	4.90	4.80	4.40
Jalisco	Colotlán	4.6	5.70	6.50	7.50	8.20	6.60	5.80	5.60	5.80	5.30	4.90	4.10
Jalisco	Lagos de Moreno	4.5	5.30	6.10	6.70	7.20	6.10	5.80	5.60	5.50	5.00	4.70	4.00
Jalisco	Guadalajara	4.6	5.50	6.30	7.40	7.70	5.90	5.30	5.30	5.20	4.90	4.80	4.00
Durango	Durango	4.5	5.40	6.50	7.00	7.50	6.80	6.00	5.60	5.70	5.10	4.80	3.90
Tamaulipas	Soto la Marina	4.4	4.20	4.90	4.90	5.10	5.30	5.40	5.40	4.90	4.60	3.70	3.20
Tamaulipas	Tampico	3.4	4.10	4.70	6.40	5.00	4.90	4.90	4.90	4.60	4.60	3.70	3.20
Yucatán	Progreso	3.3	4.90	5.40	5.50	5.30	5.10	5.30	5.30	5.00	5.00	4.40	4.00
Yucatán	Valladolid	4.1	4.10	3.10	5.40	5.70	5.30	5.40	5.40	5.90	4.20	3.80	3.50
Yucatán	Mérida	3.7	4.00	4.60	5.20	5.70	5.50	5.70	5.50	6.40	4.20	3.80	3.40
Baja California	La Paz	3.7	5.50	6.00	6.60	6.50	6.60	6.30	6.20	5.90	5.80	4.90	4.20
Baja California	San Javier	4.4	4.60	5.30	6.20	6.50	7.10	6.40	6.30	6.40	5.10	4.70	3.70
Baja California	Mexicali	4.2	4.40	5.00	5.60	6.60	7.30	7.00	6.10	6.10	5.50	4.50	3.90
Sinaloa	Mazatlán	3.9	4.80	5.40	5.70	5.70	5.60	4.80	4.90	4.70	5.00	4.50	3.90
Sinaloa	Culiacán	3.6	4.20	4.80	5.40	6.20	6.20	5.40	5.10	5.20	4.60	4.20	3.40
Querétaro	Querétaro	5	5.70	6.40	6.80	6.90	6.40	6.40	6.40	6.30	5.40	5.00	4.40
D.F.	Tacubaya	4.4	5.20	5.80	5.80	5.70	5.10	4.90	4.90	4.70	4.40	4.20	3.80
México	Toluca	4.4	4.90	5.30	5.40	5.20	5.20	4.90	4.90	4.60	4.40	4.20	3.90
México	Chapingo	4.5	5.10	5.60	5.80	5.90	5.40	5.20	5.20	5.00	4.70	4.60	3.90
Tlaxcala	Tlaxcala	4.6	5.10	5.50	5.40	5.60	5.20	5.30	5.20	5.10	4.90	4.70	4.00
Puebla	Puebla	4.9	5.50	6.20	6.40	6.10	5.70	5.80	5.80	5.20	5.00	4.70	4.40
Hidalgo	Pachuca	4.6	5.10	5.60	6.80	6.00	5.70	5.90	5.80	5.30	4.90	4.60	4.20
Michoacán	Morelia	4.2	4.90	5.50	5.80	5.90	5.20	5.00	5.10	4.90	4.60	4.30	3.70
Mínimo		3.10	3.30	3.10	3.80	3.80	4.40	4.50	4.50	4.10	3.50	3.10	2.80
Máximo		5.40	6.30	6.60	7.50	7.50	8.60	7.00	6.60	6.70	6.00	5.70	5.60
Promedio		4.10	4.70	5.30	5.70	5.70	5.60	5.60	5.50	5.10	4.70	4.30	4.20

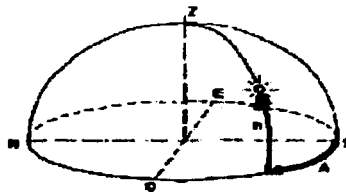
Fuente: CONAE

Tabla: Azimuts y alturas solares

La primera columna de la izquierda (Hora) expresa el número de horas de diferencia con el mediodía solar (12 horas solares).

El azimut (A) se considera negativo antes del mediodía y positivo después.

Existen siempre dos momentos del día, uno por la mañana y otro por la tarde, en los que son iguales tanto las alturas solares como los azimuts (excepto en lo que respecta al signo de éstos, según se ha dicho). Por ejemplo, a las 8 de la mañana los valores son lo mismos que a las 4 de la tarde; a las 9 de la mañana coinciden con los de las 3 de la tarde, etc. Por esta razón, basta con tabular únicamente respecto a la diferencia horaria con el mediodía solar.



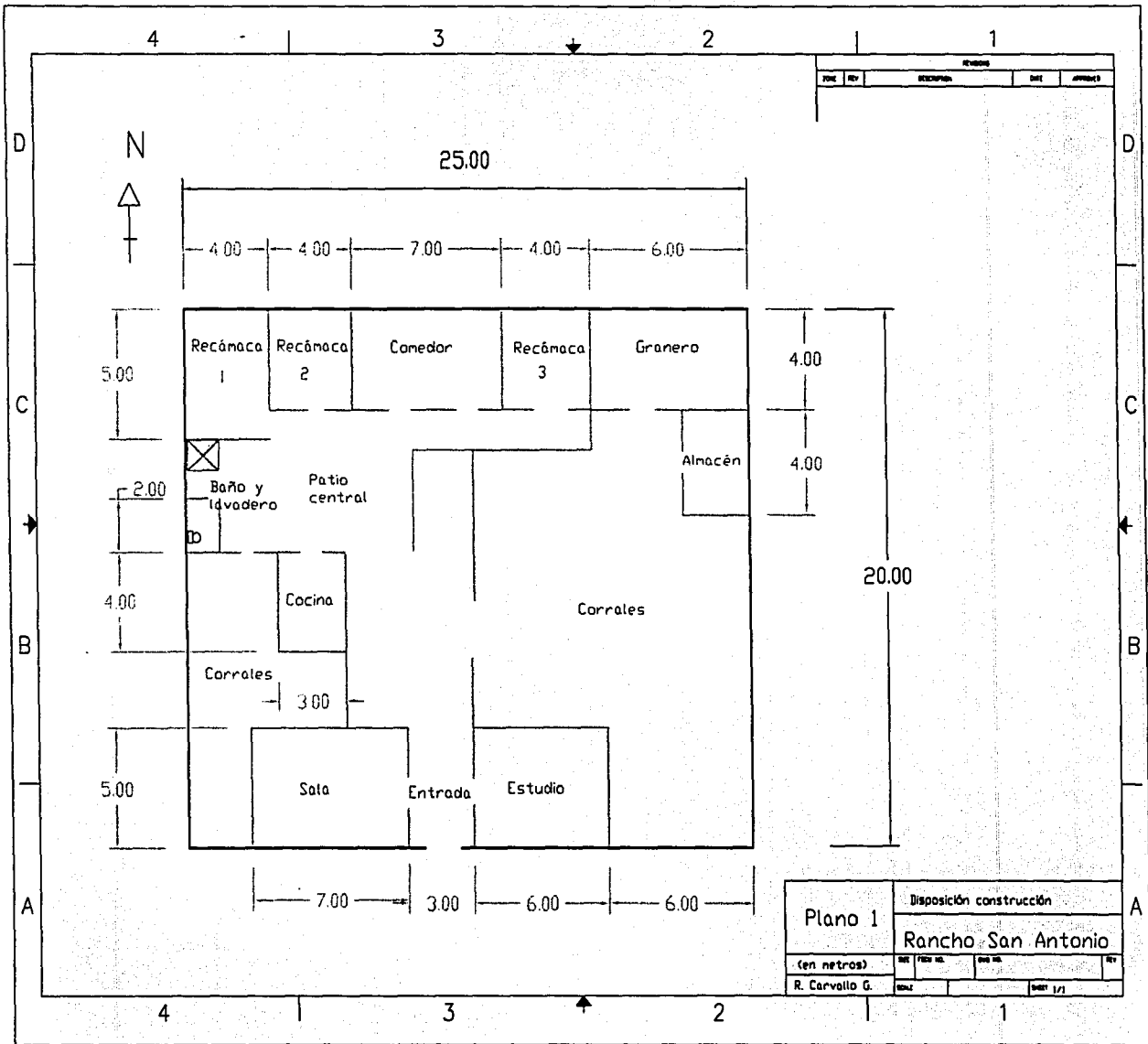
A: Azimut H: Altura

Latitud = 20°

Hora	Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun	
	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H
0	0	49	0	57	0	68	0	80	0	89	180	87
1	21	47	25	54	35	63	57	72	88	76	106	76
2	37	40	44	46	56	53	75	59	93	62	102	62
3	50	30	57	35	68	41	83	45	96	48	103	48
4	59	18	66	22	76	27	89	31	100	34	105	35
5	65	6	73	9	82	13	94	17	104	20	108	21
6	---	---	---	---	---	---	99	3	108	6	112	8
7	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Hora	Jul		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic	
	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H
0	180	88	0	84	0	73	0	61	0	51	0	47
1	99	76	70	75	42	67	28	58	22	49	19	44
2	99	62	83	61	63	56	48	49	39	41	36	38
3	100	48	90	47	74	43	61	37	52	31	48	28
4	103	34	94	33	82	29	70	24	61	20	56	17
5	106	21	99	19	87	15	76	11	67	7	63	5
6	110	7	103	5	93	1	---	---	---	---	---	---
7	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Fuente: Instalaciones de Energía Solar, Censolar, Sevilla 2002.



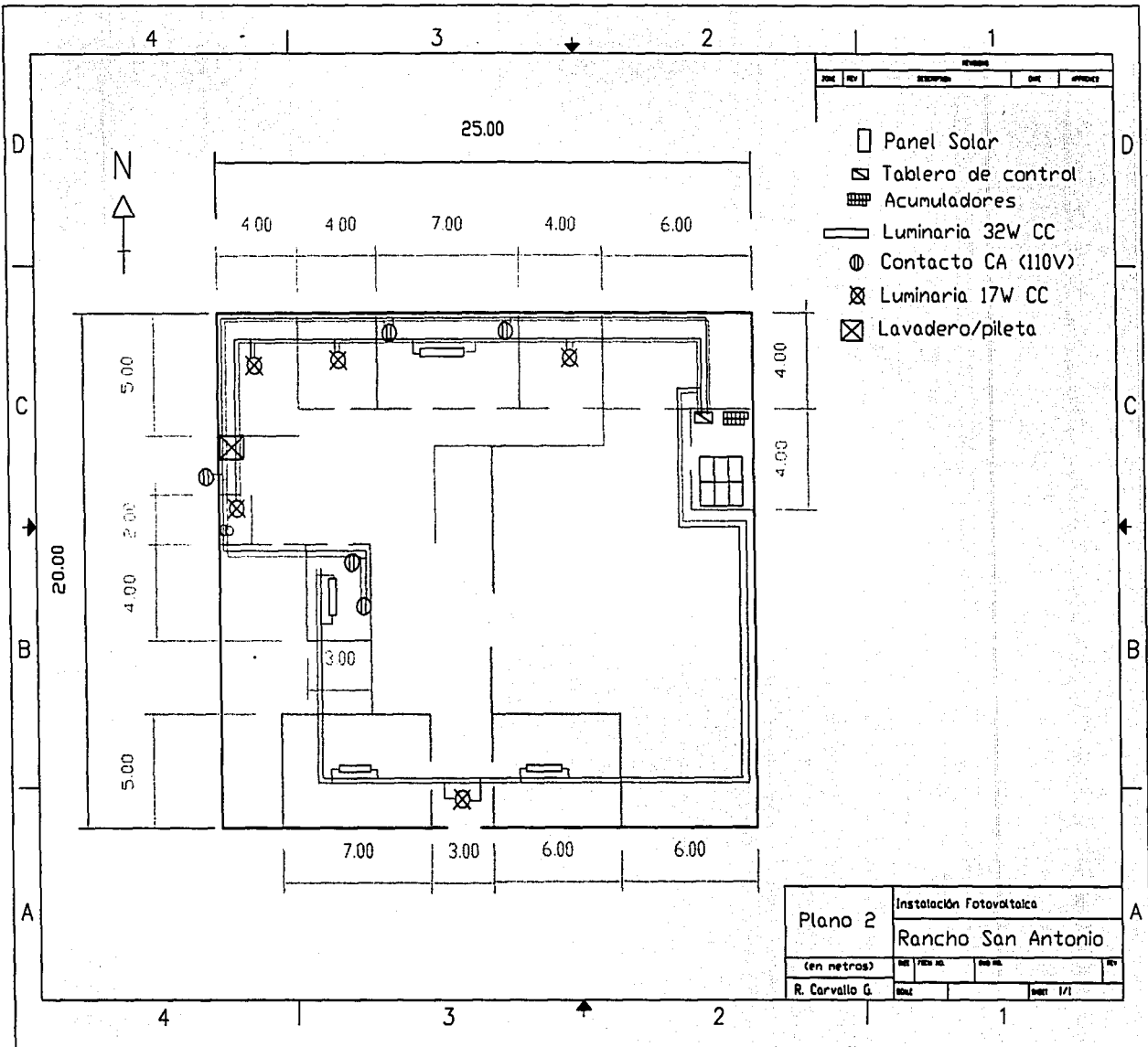


Figura 1. Ciclo de vida de un panel solar

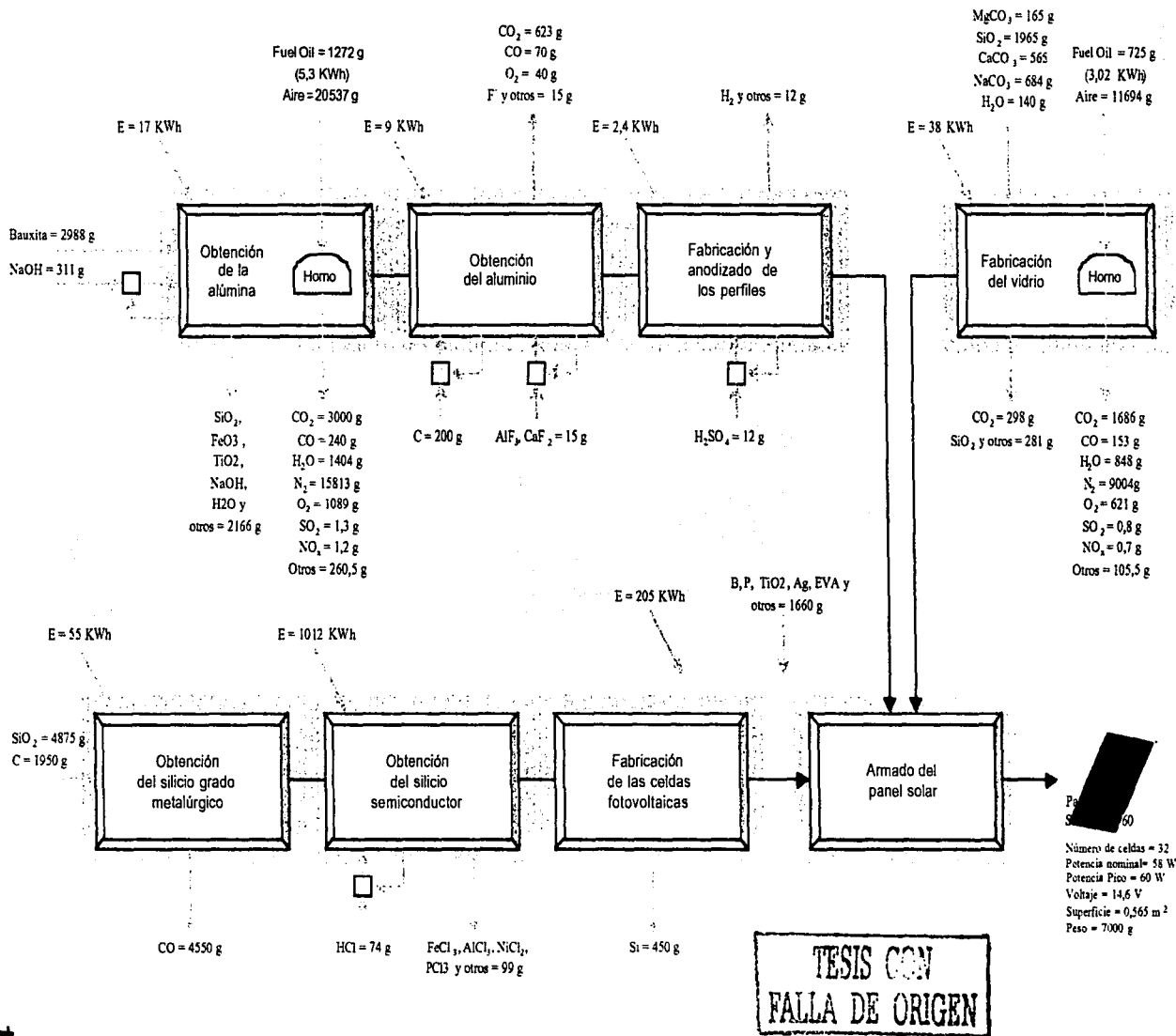
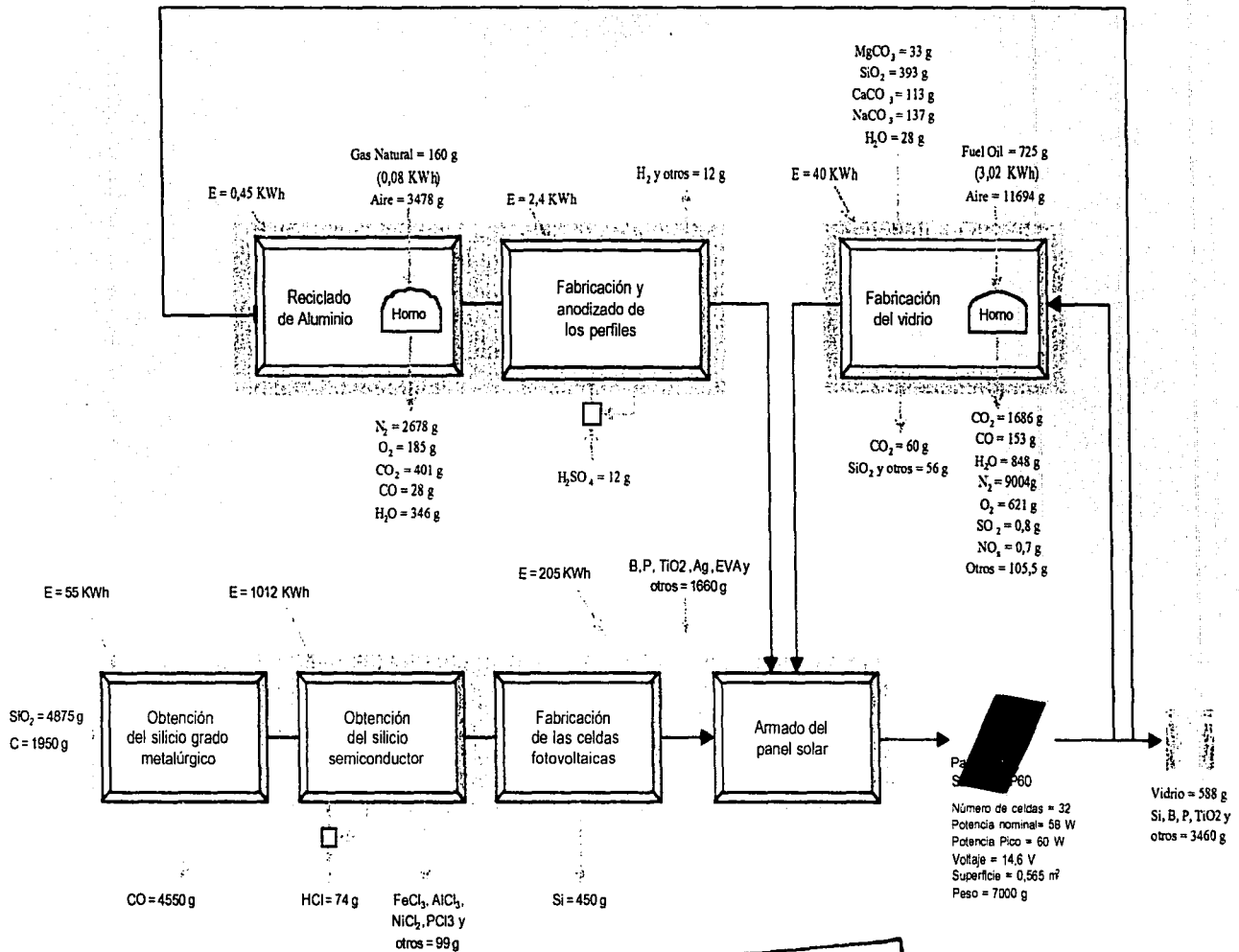


Figura 2. Ciclo de vida de un panel solar optimizado mediante la recuperación de sus materiales



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

PAGINACIÓN DISCONTINUA

Bibliografía

- Censolar**, "*Instalaciones Fotovoltaicas*", Sevilla 2002.
- Censolar**, "*La energía solar, aplicaciones prácticas*", Sevilla 2002.
- J.Henry, G.Heinke**, "*Ingeniería Ambiental*", Prentice Hall, México 1996.
- Vian Ortuño, Ángel**, "*Introducción a la Química Industrial 2ª Ed*", Reverté, Barcelona 1999.
- Wark**, "*Termodinámica 5ta Edición*", McGraw Hill, México 1996.
- Máster D**, "*Instalador en Energía Solar*", Madrid 2000
- Chang**, "*Química 7ª Edición*", McGraw Hill, Colombia 2002.
- Serway**, "*Física 3ª Edición*", McGraw Hill, México 1996.
- Kim Mi Ra, Goldsmidt Viviana**, "*Ciclo de vida de los paneles solares*", Grupo de Estudios sobre Energía, Universidad Tecnológica Nacional, BB.AA. 1999.
- Sirtl**, "*Procesado de material de silicio de grado solar*", Energía Solar Fotovoltaica, pp. 36-39, BB.AA. 1985.
- Van Overstraeten J., Lauwers P.**, "*Fabricación de células solares*". *Energía Solar Fotovoltaica*, pp.40-43, BB.AA. 1985.
- Enkerlin E. Cano G, Garza R.**, "*Ciencia ambiental y desarrollo sostenible*", cap, 16-19, Editores Internacionales, México 1997.
- Tyler Miller G.**, "*Ecología y medio ambiente*", Edit. Iberoamericana, México 1994.
- "*Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo 19.587*", Argentina
- Frost & Sullivan**, "*El mercado de la energía renovable de América Latina*", Industrial South America, Londres 2000.
- CONAE**, "*Las energías renovables en México y el mundo*", CONAE, México 2000.
- CONAE**, "*Sistemas térmicos solares*", CONAE, México 2000.
- CONAE**, "*Energía Fotovoltaica*", CONAE, México 2000.
- CONAE**, "*Energía Eólica*", CONAE, México 2000.
- CONAE**, "*Energía Minihidráulica*", CONAE, México 2000.
- CONAE**, "*Energía de la Biomasa*", CONAE, México 2000.

- World Nuclear Association**, "*Electricidad y energía renovable*", Londres 2002.
- Boyle G**, "*Renewable Energy – Power for a Sustainable Future*", Open University, U.K. 1996.
- CONAE**, "*Propuesta para la modernización del Sector Eléctrico*", México 2000.
- CONAE**, "*Fabricantes y distribuidores de quipos de energías renovables*", CONAE, México 2000.
- Nogués F. Royo J**, "*Ciclo energías renovables, Jornadas de Biomasa, Generalidades*", Fundación CIRCE, México, Abril 2002.
- Montufar O**, "*Proyectos con energía solar*", FIRCO, SAGARPA, México 2000.
- Caballero A.**, "*Física para juristas*", Universidad Complutense, Madrid 1990.
- INEGI**, "*Censo de población y vivienda Estado de Hidalgo 2000*", Pachuca 2000.
- Fuentes C.**, "*Energía renovable para un desarrollo sostenible: el Protocolo de Kioto, experiencias internacionales y el caso de México*", UNAM, enero de 2002.
- Márquez F**, "*Estrategias de la Conae en la promoción de las energías renovables en México*", Ponencia, septiembre de 2000, pág. 1.
- Scheer Hermann**, "*La era solar*", [//www.magazine-deutschland.de/spanish.html](http://www.magazine-deutschland.de/spanish.html)
- Carless Jennifer**, "*Energía Renovable*", México, Edamex, 1995, pág. 39.
- Romero-Paredes A.**, "*Los sistemas eólicos*", *Curso de actualización para ingenieros*, México, 1995, pág. 3.
- Caldera M. Enrique.**, "*Energías Renovables en México: potenciales, aplicaciones y mercados*", ensayo inédito, julio 1998, pág.11.
- Rincón Eduardo**, "*Estado del arte de la investigación en energía solar en México*", México, Cuadernos de la Fundación ICA, FICA, 1999, pág.15.
- Secretaría de Energía**, "*Evolución orgánica*", México, Secretaría de Energía, 1999, pág. 43.
- López Juan A. y Mejía R.**, "*Busca el CIE formas de energía limpias, eficientes y rentables*", en la revista *UNAM hoy un enlace con la sociedad*, Año 6, Núm 31, enero-febrero, 1998, pág. 6.
- Instituto de Investigaciones Eléctricas**, "*Capacidad tecnológica*", folleto publicado por el IIE, Editora e Impresora de Morelos, S.A. de C.V., México.

Hiriat Le Bert G., *"México: experiencia de la Comisión Federal de Electricidad en la generación eoloelectrica"*, Ponencia presentada en el Seminario Internacional sobre la Implantación de la Generación Eoloelectrica, celebrado en el Museo Tecnológico de la CFE el día 9 de noviembre de 1999, pág.2.

"Energías renovables en la agenda ambiental mexicana: perspectivas sectoriales al año 2000", México, D.F. 18 de octubre de 1999, Colegio de Ingenieros Civiles.

SEMARNAP, *"Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente"*, SEMARNAP, México, 1997, pág. 57.

Kleist Trina, *"Solar power brings electricity to villages for the first time"*, *The News*, domingo 7 de julio de 1991, pág. 10.

Caldera M. Enrique, *"Potencial de generación eléctrica con energías renovables en México"*, septiembre de 1998, pág.2.

"www.semarnat.gob.mx"

Dirección de Cambio Climático-Semarnat, *"Inventario Nacional de emisiones de gases de efecto invernadero con cifras de 1990"*, México, 1999, pág. 2-3.

Sheinbaum Claudia, *"Greenhouse gas energy scenarios for Mexico in year 2020, and mitigation potential of renewable technologies"*, *Memorias del Millennium Solar Forum 2000 Mexico*, Ciudad de México, 17-22 de septiembre de 2000, pág 775.

Debora Ley Lum, *"Programa de apoyo de energías renovables de los Laboratorios Nacionales Sandía de los Estados Unidos para comunidades rurales mexicanas"*, trabajo de investigación inédito, Centro Universitario México, División de Estudios Superiores, México, 2001.

Ambriz Juan J., *"Curso de Inducción a la energía"*, 7 junio

Atersa, *"Manual de instalaciones fotovoltaicas"*, Atersa, Valencia 2002.

Huacuz Jorge, *"Informe energético"*, México 2002.

Austin, *"Manual de procesos químicos en la industria"*, Tomo II, Madrid 1985.

Mc Cornick, *"Silicon Processing for Photovoltaic I"*, Pp. 3-47, Nueva York 1985.

Sirtl, *"Procesado de material de silicio de grado solar"*. Pp.36-39, Madrid 1985.