



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



Facultad de Ingeniería

“Utilización de la energía solar en asentamientos irregulares de la Ciudad de México”

TESINA

PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE

Ingeniera Industrial

PRESENTA

Erandi Sombra Mendiola

TUTOR: Dra. Rina Guadalupe Aguirre Saldivar

2010



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos:

Agradezco a todas las personas que, al inicio, durante y al final de mi carrera profesional, me dedicaron palabras de aliento, regaños y sonrisas; a todas las personas que me compartieron sus conocimientos y experiencias de vida; y a aquéllas que vivieron el proceso conmigo y creyeron en mí.

Gracias a cada uno de ustedes por ser parte de una etapa muy importante de mi vida, a partir de la cual me defino como una profesional dispuesta a retribuirle al mundo y a la vida esta satisfactoria experiencia con trabajo arduo y actualización constante.

Hoy, como resultado de mucho esfuerzo y dedicación, les dedico este trabajo esperando cumplir las expectativas y sabiendo que, sin ustedes y su apoyo, no hubiera logrado concluir.

UTILIZACIÓN DE ENERGÍA SOLAR EN ASENTAMIENTOS IRREGULARES DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Índice

Capítulo 1. Introducción3
1.1 Objetivo	...4
1.2 Metas	...4
1.3 Alcances y limitaciones	...4
Capítulo 2. Generalidades7
2.1 Contaminación atmosférica	...7
2.1.1 Contaminación atmosférica en la ciudad de México	...10
2.2 Asentamientos irregulares	...12
2.3 Energía solar	...15
2.3.1 Actividad solar	...17
Capítulo 3. Energía fotovoltaica y fototérmica20
3.1 Energía fotovoltaica	...20
3.1.1 Características de la energía fotovoltaica	...21
3.1.2 Afectación ambiental	...26
3.1.3 Diseño y costos	...29
3.2 Energía fototérmica	...32
3.2.1 Clasificación de los sistemas fototérmicos	...32
3.2.2 Aplicaciones de la energía solar en asentamientos irregulares	...35
3.2.3 Afectación ambiental	...39
3.2.4 Diseño y costos	...40
Capítulo 4. Caso práctico: Ocotla47
4.1 Características de Ocotla	...47
4.2 Contaminación atmosférica	...49
4.3 Propuesta	...51
4.3.1 Panel fotovoltaico	...51
4.3.2 Calentador solar de agua	...54
4.3.3 Cocina solar	...56
Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones58
Fuentes de información62
Anexo68

Capítulo 1

Introducción

El ser humano ha explotado las fuentes convencionales de generación de energía y, como son recursos no renovables, se han comenzado a agotar. Esto ha provocado que con el paso del tiempo sus costos se eleven y surjan problemas económicos y políticos entre los países que cuentan con reservas de estas fuentes y los que desean explotarlas.

Esta forma de generación de energía ocasiona problemas ambientales principalmente por las emisiones contaminantes que conlleva el proceso, como consecuencia de los contaminantes emitidos se tienen cambios en el clima y en los ecosistemas. Para minimizar estos problemas, es conveniente promover el uso racional de la energía y la sustitución de las fuentes convencionales por otras, que son ilimitadas o renovables.

Un ejemplo de las alternativas es la energía solar, aprovechando la conversión de la energía proveniente del Sol en calor o en electricidad para distintas aplicaciones. En la actualidad se han desarrollado varios sistemas para el aprovechamiento de la ésta, desde plantas complejas para generación de energía a gran escala hasta sistemas pequeños para uso doméstico.

Una desventaja que tienen estos sistemas es que se debe contar con amplios espacios que permitan la recepción de la radiación del Sol sin verse interrumpida por sombras de edificios. Los asentamientos irregulares de la Ciudad de México cuentan con estas características; grandes espacios libres y construcciones de alturas pequeñas. Bajo estas condiciones, la utilización de energía solar en ellos puede ser factible y beneficiosa; adicionalmente ayudaría a evitar o mitigar las consecuencias de algunos problemas ambientales que los asentamientos generan: permanecer en suelos de conservación ecológica o por prácticas de la vida diaria, como la quema de leña y gas LP.

Los sistemas de captación de energía solar no tienen un impacto ambiental nulo; en la utilización a gran escala se requieren grandes terrenos, afectando con ello especies y ecosistemas. Además la fabricación del equipo requerido va acompañada de la emisión de contaminantes; sin embargo comparado con otras fuentes de energía este impacto es muy reducido.

En el uso doméstico estos sistemas pueden apreciarse como un atractivo arquitectónico; pero a veces son un problema estético por considerarlos desagradables a la vista (Armstrong, 2009). Esta percepción se irá reduciendo conforme la población se adapte a ellos, como ocurrió con los tinacos.

Su instalación implica una cierta inversión económica, pero a largo plazo su utilización representa un ahorro, ya que la energía solar no requiere combustibles. Como los asentamientos irregulares cuentan con población heterogénea y distintos niveles adquisitivos, el costo inicial de un captador solar puede ser demasiado elevado; por esa razón en este trabajo se analizaron otras formas más accesibles de aprovechamiento de energía solar: una cocina, un calentador de agua y paneles solares.

A pesar de la extensa investigación que se ha hecho sobre los sistemas de captación solar, su eficiencia sigue siendo baja; situación que cambiará en la medida en que se desarrollen más prototipos y se amplíe la experimentación con otros materiales.

En este documento se analiza la factibilidad técnica, ambiental y económica de la utilización de la energía solar en los asentamientos irregulares de la Ciudad de México contra las formas actuales de generación de energía. Se toma como ejemplo un asentamiento específico: Ocotla (Del. Tlalpan, México DF).

1.1 Objetivo

Analizar la factibilidad del uso de sistemas de aprovechamiento de energía solar en los asentamientos irregulares de la Ciudad de México como fuente de energía calorífica y eléctrica.

1.2 Metas

- Determinar la viabilidad de utilizar cocinas solares, calentadores solares de agua y paneles solares en asentamientos irregulares, considerando su localización e insolación promedio.
- Analizar el beneficio ambiental que se obtendría por el aprovechamiento de esta energía.
- Evaluar si estas tecnologías son económicamente accesibles a corto o largo plazo para los habitantes del asentamiento.

1.3 Alcances y limitaciones

El desarrollo de esta tesina se llevó a cabo a partir del Programa de Reducción de Impacto Ambiental (PRIA), realizado de agosto a diciembre de 2009 por alumnos de la asignatura Proyecto de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, para el asentamiento irregular Ocotla, ubicado en la

Delegación Tlalpan. El PRIA analizó las condiciones ambientales del asentamiento para proponer alternativas para el mejor manejo de los recursos y la reducción del daño ambiental. El estudio se subdividió en los temas de: agua potable, agua residual, contaminación de suelos, contaminación atmosférica, residuos sólidos urbanos (basura), residuos peligrosos y riesgo ambiental; para lo cual se hicieron visitas al asentamiento, una encuesta a sus habitantes (ver anexo), investigaciones teóricas y la revisión de dos estudios previos: Programa de Manejo Integral de Contaminantes (PMIC, 2002) y Plan Estratégico de Manejo Ambiental (PEMA, 2007).

Esta tesina combina datos e información del PRIA, PMIC y PEMA, con investigación bibliográfica específica referente a energía solar y, dadas las características de una tesina, el objetivo de esta se cumplió con los siguientes alcances y limitaciones:

- La encuesta para realizar el diagnóstico se aplicó a los habitantes que respondieron a una invitación abierta; asistieron 20 personas de 450 con que cuenta el asentamiento.
- Se realizaron dos visitas al asentamiento. La primera para realizar un recorrido por el sitio y levantar la encuesta, la segunda para presentarle a los habitantes las propuestas elaboradas y entregarles un ejemplar del PRIA.
- Los diseños y el dimensionamiento de los equipos solares en esta tesina se realizaron a nivel general empleando datos promedio y cálculos estándar. El diseño en detalle depende de las dimensiones reales de la vivienda en que se instalará el equipo.
- Los costos de las tecnologías propuestas se obtuvieron de las fuentes citadas en los respectivos capítulos de esta tesina; pueden variar con el tiempo y el proveedor.

Contenido general

Esta tesina cuenta con cinco capítulos, siendo el primero esta introducción y el quinto las conclusiones. El contenido de los demás capítulos se encuentra distribuido de la siguiente forma:

El capítulo dos muestra las generalidades; es decir, una compilación teórica e introductoria de los datos más importantes acerca de contaminación atmosférica, asentamientos irregulares y energía solar. En el mismo puede observarse la relación de estos conceptos y la justificación de esta propuesta.

El capítulo tres habla de la energía fotovoltaica y la fototérmica. Se muestran las características principales de estas formas de transformación de la energía solar, los sistemas utilizados, el impacto ambiental, su diseño y costo.

El capítulo cuatro, basado en el anterior, muestra las propuestas para un asentamiento irregular específico localizado en la delegación de Tlalpan: Ocotla. De las alternativas disponibles se seleccionan las más adecuadas y se realiza un análisis económico.

Capítulo 2

Generalidades

A lo largo de la historia el ser humano ha aprovechado los recursos naturales para satisfacer sus necesidades básicas y tener una vida más confortable, pero conforme avanzaron las civilizaciones comenzó a sobreexplotar dichos recursos provocando su agotamiento; se ha ocasionado un desequilibrio ecológico, los ecosistemas se encuentran alterados y contaminados y los seres vivos sufren las consecuencias.

La diversidad de especies animales y vegetales de la Ciudad de México se ha reducido significativamente debido a la sobrepoblación y la contaminación; y a pesar de que algunos de sus ecosistemas se encuentran protegidos en reservas ecológicas, también se han visto afectados. Los suelos de la ciudad se dividen en urbano y de conservación; el primero destinado a viviendas, el segundo a actividades primarias (agricultura y ganadería), de protección del ambiente y de re-oxigenación del aire. El aumento descontrolado de habitantes en la zona urbana y la falta de viviendas han ocasionado que algunos pobladores se establezcan en asentamientos irregulares en áreas de conservación o reserva, dañándolos y afectando las especies que ahí habitan.

Ante la necesidad de erradicar o regularizar los asentamientos en suelo de conservación, las autoridades e instituciones académicas realizan acciones diversas. En el Programa de Reducción de Impacto Ambiental, realizado por la UNAM (PRIA, 2009), se elaboraron propuestas para mitigar los problemas de contaminación del asentamiento irregular Ocotla, considerando mejoras en la calidad del aire, agua y suelo. Como una de las alternativas para reducir los contaminantes atmosféricos se analizó la utilización de energía solar como sustituto de la quema de leña y gas LP, para generar calor y energía eléctrica.

Antes de presentar la propuesta específica para Ocotla es conveniente presentar los tres conceptos fundamentales en el desarrollo de esta tesina: contaminación atmosférica, asentamientos irregulares y energía solar.

2.1 Contaminación atmosférica

La atmósfera es la capa gaseosa que rodea a la hidrósfera y litósfera; en ella se generan los fenómenos climáticos y meteorológicos que ocurren en la Tierra, se regula la entrada y salida de energía del planeta y es el principal medio de transferencia de calor. Está compuesta en un 78% por nitrógeno, un 21% oxígeno y el resto por otros elementos.

Se considera contaminación atmosférica a la presencia de uno o más contaminantes, o cualquier combinación de ellos, que cause un desequilibrio

ecológico; entendiendo por contaminante toda materia o energía en cualquier estado físico y forma que al incorporarse en la atmósfera altere o modifique su composición y condición natural (LGEEPA, 1998).

Los contaminantes de la atmósfera se clasifican según diversos criterios. A continuación se mencionan los principales para este estudio, sin atender clasificación alguna:

Hidrocarburos no quemados y compuestos orgánicos volátiles (HC y COV): Son compuestos formados por hidrógeno y carbono principalmente. Los HC se producen por combustión incompleta mientras que los COV provienen de solventes y evaporación de combustibles. Estos contaminantes influyen en la formación de smog fotoquímico y en los asentamientos irregulares se considera que no alcanzan altas concentraciones.

Monóxido de carbono (CO): Este gas es emitido a la atmósfera cuando ocurre una combustión incompleta, es venenoso para los seres humanos y puede provocar mareo, dolor de cabeza, desmayos e incluso la muerte.

Dióxido de carbono (CO₂): Este gas de efecto invernadero es producto de la combustión completa. Aunque no tiene efectos negativos sobre la salud, sí los tiene sobre el ambiente, pues favorece el calentamiento global.

Óxidos de nitrógeno (NO_x): Afectan la salud del ser humano por atacar directamente a los pulmones; perjudican al ambiente al producir el smog fotoquímico y combinarse con la humedad acidificando la lluvia, lo que ocasiona daños en los ecosistemas.

Partículas. Son emitidas principalmente por la erosión de los suelos y la quema de basura. Las partículas son un problema estético, reducen la visibilidad y causan daños a las vías respiratorias (The Green Gate, 2009). En los asentamientos irregulares este tipo de contaminación es muy común por la erosión del suelo debido a la falta de pavimentación de las calles y por quemar basura.

La contaminación generada en los asentamientos irregulares no sólo afecta a la gente que habita en ellos, el daño se extiende. En general, la contaminación atmosférica acontece a 5 escalas, según el área afectada (Boubel-Turner, 1994):

- Local: Cuando el área afectada abarca hasta 5 kilómetros; los contaminantes se producen dentro de esa área y generalmente de una sola fuente.
- Urbana: El impacto se extiende hasta 50 kilómetros. El área afectada abarca comunidades enteras por lo que la salud de sus habitantes peligra.
- Regional: La afectación abarca de 50 a 500 kilómetros.

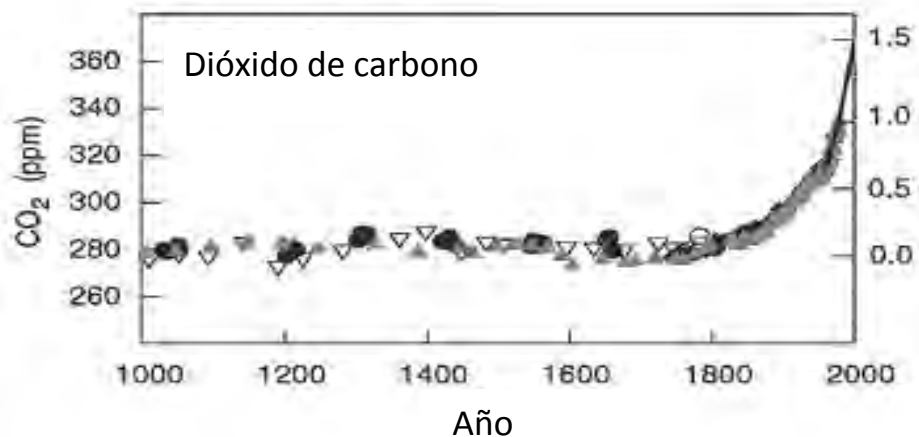
- Continental: Deterioro de 500 a miles de kilómetros. Esta escala indica una situación grave que involucra varios países; mucha gente y especies que se encuentran en peligro.
- Global: Impacta a todo el planeta.

La contaminación atmosférica actual ha alcanzado un impacto global (según el criterio mencionado); el daño ambiental abarca todo el planeta y se observan consecuencias graves como el calentamiento global que ha generado un cambio climático.

Se entiende por calentamiento global al aumento de temperatura promedio del planeta debido al incremento en la cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera; éstos impiden la salida de la radiación solar que debe reflejarse al exterior del planeta, provocando cambios en ecosistemas y afectando a muchas especies animales y vegetales (BIODISOL, 2009).

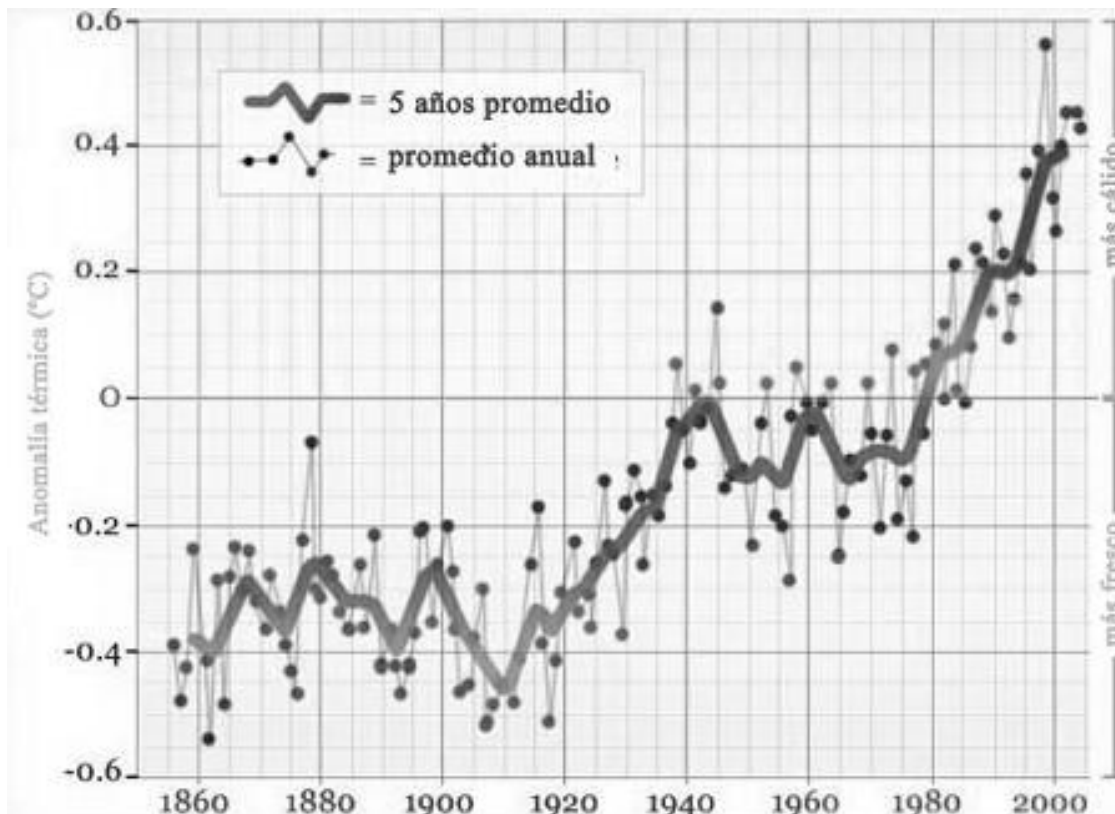
La atmósfera tiene en su composición natural gases de efecto invernadero (H_2O y CO_2), pues este proceso es parte del ciclo natural del planeta; se convierte en contaminación cuando hay un incremento significativo de éstos. Los principales gases de efecto invernadero son dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) (Davis, 1998).

El incremento más notable de la contaminación atmosférica inició con la revolución industrial; cuando se descubrieron los usos del vapor para mover máquinas comenzó a utilizarse una gran cantidad combustibles fósiles que ahora son parte de la vida diaria. La combustión es la principal fuente de contaminantes atmosféricos (PVEM, 2009) y uno de los principales causantes del cambio climático. En la figura 2.1 se muestra el aumento de dióxido de carbono desde el año 1000 a nuestros días. Como se puede notar en la gráfica hay un incremento en la concentración de dicho contaminante a partir del año 1800.



Fuente: SEMARNAT, 2009
 Figura 2.1. Aumento de dióxido de carbono

El aumento de temperatura en la atmósfera de la Tierra ha sido drástico; en la figura 2.2 se puede apreciar la variación de la temperatura promedio de 1860 al año 2000, incrementándose notablemente en los últimos 30 años. La tendencia indica que podría aumentar entre 1° y 7°C en los próximos 100 años (Medina, 2009).



Fuente: http://199.6.131.12/es/scictr/watch/climate_change/change.htm

Figura 2.2. Aumento de la temperatura global

Si el aumento en la temperatura global continúa, el cambio climático traerá consecuencias graves como el deshielo de los polos, la muerte de especies marinas que no toleren la variación de temperatura, alteraciones en los ecosistemas, aumento del nivel del mar, sequías y cambios meteorológicos.

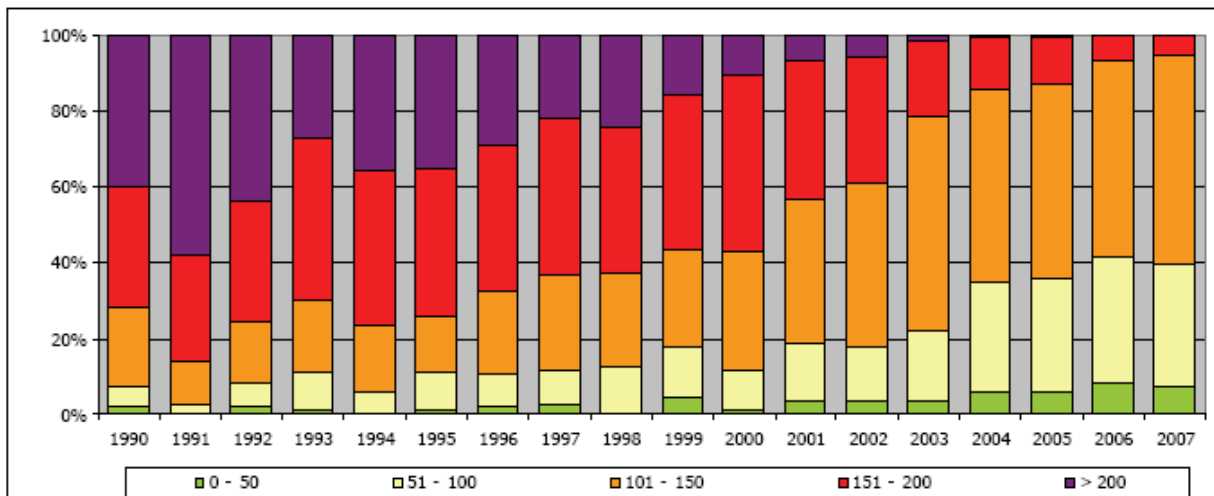
2.1.1 Contaminación atmosférica en la Ciudad de México

La Secretaría de Medio Ambiente (SMA) mide la calidad del aire mediante el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA); señala la cantidad de contaminantes ambientales presentes y asigna un valor dentro de una escala de calidad que va desde buena hasta extremadamente mala. Esta escala permite al gobierno tomar decisiones sobre las medidas a tomar cuando es necesario reducir los niveles de contaminación y evitar daños a la salud;

ejemplos de éstas son la suspensión de actividades al aire libre y la aplicación del “hoy no circula” (SMA, 2009).

La obtención del IMECA se realiza mediante un algoritmo de cálculo para la generación de los subíndices que indican la calidad del aire, utilizando funciones segmentadas basadas en dos puntos de quiebre que se basan en los criterios mexicanos que especifican las concentraciones de contaminantes para las que existen evidencias de daños significativos a la salud. El primer subíndice tiene asignado el valor 100 y el segundo de 500, entre este intervalo hay 3 valores más para describir la situación actual del aire. El cálculo se realiza en 5 zonas de la Ciudad de México y se reporta: para el Ozono y el bióxido de nitrógeno, el máximo valor de las cinco zonas; para el monóxido de carbono, el máximo promedio móvil de 8 horas; para el bióxido de azufre y partículas menos a 10 micrómetros, el máximo del promedio móvil de 24 horas y para partículas suspendidas el promedio de 24 horas por estación en muestreos de 6 días (Pedroza, 2010).

La medición del IMECA se realiza diariamente, se tienen registros históricos de dichos datos que permiten comparar la calidad del aire de la ciudad antes y ahora. En la figura 2.3 se muestra una gráfica de la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México del año 1990 a 2007. El color verde indica buena calidad en el aire, mientras que el color morado indica calidad extremadamente mala (SMA, 2009).



Fuente: SMA, 2007

Figura 2.3: Calidad del aire en la Ciudad de México, 2007.

La re-oxigenación del aire en espacios destinados a reservas ecológicas y preservación del ambiente permite disminuir los niveles altos de contaminación. Sin embargo, como estas áreas han sido invadidas por asentamientos irregulares, la calidad el aire se sigue afectando; para

contrarrestar este efecto se debe frenar la expansión y multiplicación de dichos asentamientos y crear planes ambientales con alternativas para reducir los contaminantes presentes en la atmósfera, como la reforestación y la supresión de la quema de combustibles fósiles, entre otras.

Para el sitio en estudio, la contaminación atmosférica radica en lo siguiente: los resultados de la encuesta (Ver anexo) aplicada en Ocotla indican que el recurso más utilizado en el asentamiento para generar calor es el gas LP, un combustible fósil peligroso y altamente inflamable al mezclarse con oxígeno, y que se ha convertido en un riesgo latente debido a las fugas ocasionadas por el diseño inadecuado de las instalaciones y el mal estado de los cilindros en los que se almacena el gas (SENER, 2009). El gas LP afecta al ambiente desde su extracción hasta su utilización y como es un recurso no renovable va a encarecerse y agotarse.

Para sustituir al gas LP con otras fuentes de generación se requiere una inversión económica significativa, la cual a largo plazo será compensada por los beneficios económicos y ambientales; éste es el caso de la energía solar, donde la inversión económica se recupera por no requerir combustibles, no genera contaminantes y puede aprovecharse mediante sistemas distintos según su aplicación como la generación de electricidad y el empleo en la cocina y el baño.

2.2 Asentamientos irregulares

A los grupos de gente que se establecen en suelos destinados a la conservación ecológica y actividades primarias se les conoce como asentamientos irregulares. La falta de planeación y el lugar en el que se encuentran localizados representan un problema tanto para los propios habitantes como para la ciudad en general. En algunas ocasiones carecen de los servicios básicos, como agua potable, drenaje, electricidad, calles pavimentadas, transporte y sistemas de recolección de basura; en otras cuentan con los servicios de forma irregular, lo que provoca que los habitantes tengan una vida menos confortable de la que tendrían en una vivienda regular.

Ambientalmente generan problemas de agua, aire y suelos, ya sea por el manejo inadecuado de los recursos naturales o por las actividades que se llevan a cabo en asentamiento, como la disposición de las aguas negras y grises directamente al suelo (propiciando su filtración y la contaminación del manto acuífero) y el manejo inadecuado de la basura a través de la quema (PRIA, 2009).

Las principales emisiones de contaminantes atmosféricos de los asentamientos irregulares se generan por la defecación de animales al aire libre, las partículas desprendidas por la erosión de los suelos y la quema de

basura, leña y gas LP; sin embargo la mayor afectación al ambiente es el impedimento de la re-oxigenación del aire de la ciudad, pues suelen encontrarse en los que solían ser los “pulmones verdes” de ésta.

El Distrito Federal tiene una superficie de 149,524 ha; sólo el 41% de este terreno (61,082 ha) está considerado suelo urbano, el 59% restante (88,442 ha) es suelo de conservación ecológica (Mollá, 2006).

En el año 2000, del suelo de conservación, 62,000 ha, ya se encontraban bajo régimen de propiedad social, estaban registrados 36 poblados rurales y 708 asentamientos humanos; de éstos sólo 180 eran regulares (Mollá, 2006). En la figura 2.4 puede observarse la distribución de los suelos de conservación en la Ciudad de México, que en su mayoría se encuentran al sur y representan más de la mitad del territorio.



Fuente: Sánchez Barrientos, 2009

Figura 2.4: Suelos de conservación ecológica.

La mayor parte de los asentamientos irregulares de la ciudad de México se encuentra en las delegaciones de Xochimilco, Tlalpan, Milpa Alta y Tláhuac; en la figura 2.5 se puede observar la distribución de los asentamientos irregulares por delegación.



Fuente: Sánchez Barrientos, 2009
 Figura 2.5: Distribución de los asentamientos irregulares

Los suelos de conservación dentro de la Ciudad de México brindan varias ventajas, en ellos se genera una mayor producción de oxígeno, promueven el ecoturismo y el desarrollo de actividades primarias (agricultura y ganadería), que favorecen el desarrollo económico; asimismo se propicia la recarga del manto acuífero, posteriormente se extrae el 57% como consumo de agua potable en la ciudad.

Estas zonas han sido menospreciadas; su tasa de deforestación es de aproximadamente 500 ha al año y el número de asentamientos sigue aumentando (Mollá, 2006), lo que ha impactado directa y negativamente en el ambiente. El territorio en el que se encuentran ubicados es muy rico en recursos naturales y posee una gran diversidad de especies animales y vegetales; un uso inadecuado y la explotación de dichos recursos conlleva a un desequilibrio con graves consecuencias ambientales, como la destrucción de ecosistemas.

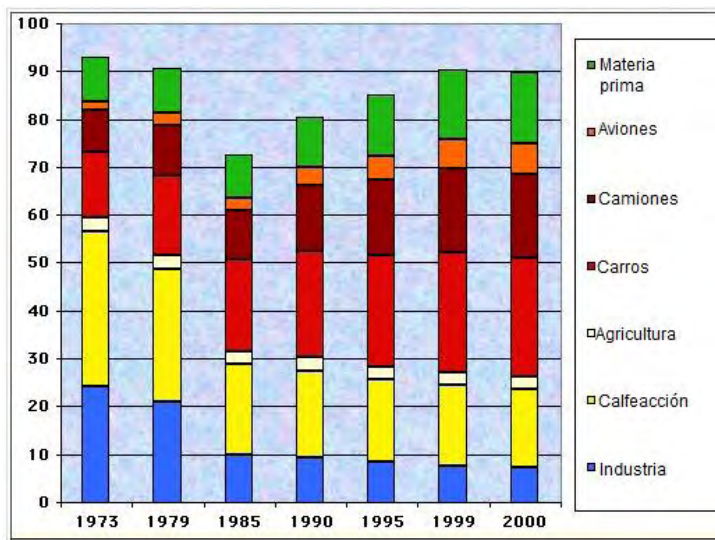
En 2009 se creó la Comisión para la Regularización de la Tenencia de la Tierra (CORETT, 2009) con el objetivo de regularizar la posesión de las tierras para promover un desarrollo urbano equilibrado, brindar seguridad a los propietarios y mejorar su nivel de vida, lo cual traería beneficios no sólo para los habitantes de dichos asentamientos, sino también para el resto de los pobladores de la Ciudad de México.

La creación de programas de reducción de impacto ambiental ayuda a combatir los problemas del asentamiento y a mejorar su calidad de vida, evitan daños a la salud y al ambiente mediante la creación de alternativas adecuadas al lugar.

2.3 Energía solar

Los combustibles que se utilizan hoy en día para generar energía están en vías de agotarse, el desarrollo industrial acelerado que se vive en el mundo ha traído consigo problemas a las economías, principalmente ocasionados porque los recursos energéticos necesarios para mantener dicho desarrollo se han encarecido; el petróleo, que es la fuente de energía primaria más utilizada, es un recurso limitado y conforme éste escasea su costo aumenta.

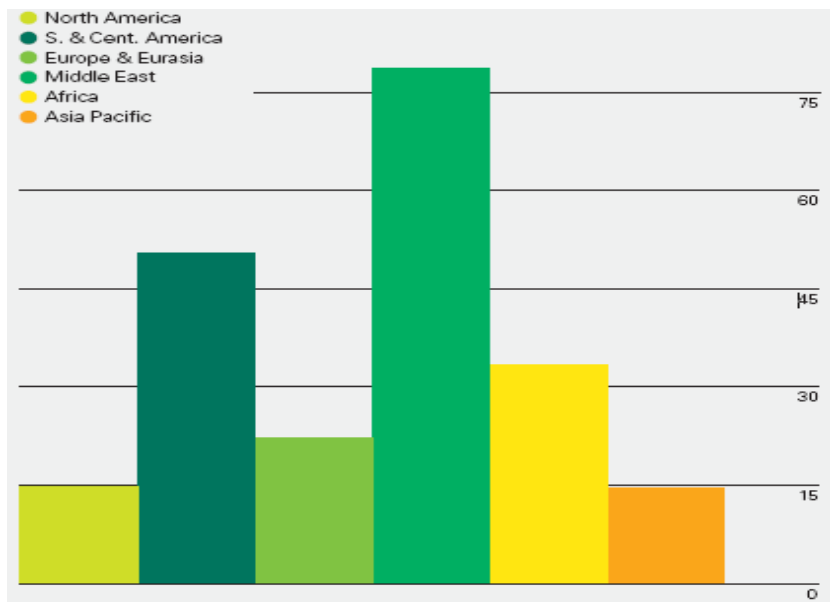
Los usos del petróleo son variados; los más comunes se pueden observar en la figura 2.6. Su principal destino es la generación de combustible para transportes y producción de electricidad, representado en la figura como calefacción e industria.



Fuente: http://www.manicore.com/anglais/documentation_a/carb_agri_a.html

Figura 2.6: Usos del petróleo

Las reservas conocidas de petróleo se están agotando; la figura 2.7 muestra la estimación de años, realizada por British Petroleum, en los que cada región podrá seguir gozando de reservas de petróleo con el ritmo de consumo actual. México se encuentra considerado en la región de Norteamérica (BP, 2009):



Fuente: BP, 2009
 Figura 2.7: Reservas de petróleo en el mundo

Como se puede apreciar en la figura, en Norteamérica, las reservas de petróleo que pudieran obtenerse con la tecnología existente, durarán 20 años; encontrar fuentes sustitutas de este recurso se ha convertido en una necesidad por lo que se han comenzado a emplear fuentes renovables que permiten cubrir la necesidad energética sin agotar las reservas de petróleo y afectando menos el ambiente.

Se conoce como energías renovables a *“aquellas energías que tienen una fuente prácticamente inagotable con respecto al tiempo de vida del ser humano en la Tierra y cuyo aprovechamiento es técnicamente viable”* (ANES, 2009). Tienen la ventaja de que pueden utilizarse en distintas aplicaciones y escalas, su costo a largo plazo suele ser más bajo que el requerido por las energías convencionales, no necesitan combustibles fósiles y su impacto ambiental es menor porque generan pocas o incluso nulas emisiones de gases contaminantes (por lo que se consideran “energías limpias”).

Entre las fuentes de energía limpia se encuentra la solar; ésta se produce en el Sol debido a la continua reacción termonuclear que se lleva a cabo en su interior a temperaturas de varios millones de grados (ANES, 2009). Utilizarla no es una idea reciente; en las antiguas civilizaciones el hombre se sabía dependiente del Sol y le dio diversos usos prácticos.

Ejemplos de algunos personajes que hicieron uso de la energía solar son Arquímedes, de quien se dice que en el año 212 aC. incendió con energía solar una flota romana usando espejos; y el francés Antoine Lavoisier, que en el siglo XVIII alcanzó temperaturas de hasta 1,750°C enfocando los rayos del Sol a través de lentes para fundición de metales (Manrique, 1984).

En el siglo XIX se desarrollaron más aplicaciones, entre las que pueden mencionarse un destilador de agua salada, una máquina de vapor para una imprenta y una cocina solar. En los últimos 50 años se ha impulsado la investigación sobre esta fuente energética encontrando más funciones incluso a escalas mayores, como las plantas termosolares.

El Sol como fuente de energía puede aprovecharse de dos formas: energía fototérmica o energía fotovoltaica. La primera es aquella en la que la luz del sol se transforma en calor para aumentar la temperatura de procesos, materiales o fluidos de trabajo; la segunda se utiliza para generar energía eléctrica.

Sea cual sea su transformación y utilización, aunque los sistemas de captación aún no tienen altas eficiencias y sigue siendo una tecnología cara, es una alternativa que genera beneficios ambientales y económicos a largo plazo, su uso es factible en grande o pequeña escala y puede utilizarse en regiones urbanas o rurales por su variedad de aplicaciones.

2.3.1 Actividad solar

Para entender más a fondo cómo se aprovecha la energía solar es necesario primero conocer su fuente: el Sol. A continuación se mencionan sus características, con base principalmente en el texto escrito por Manrique (1984).

El Sol es una estrella cuya masa es aproximadamente 334,000 veces mayor que la Tierra, está formado por materia gaseosa, principalmente por hidrógeno y helio, gira sobre su propio eje una vez cada cuatro semanas y tiene un diámetro de 1.39 millones de kilómetros.

La distancia entre el Sol y la Tierra cambia por la órbita elíptica de este planeta a su alrededor, y es de aproximadamente 150 millones de kilómetros. El Sol tiene temperaturas muy altas, distintas en cada capa; para fines prácticos y en las aplicaciones en que se utiliza la energía solar, se considera que el Sol está a una temperatura superficial media de 5,762°K., de igual forma se ha normalizado un valor para medir la radiación solar extraterrestre, que no es constante.

La radiación solar es la energía electromagnética que mana en los procesos de fusión del hidrógeno (en átomos de helio) contenido en el Sol (CONAE, 2009a). Esta radiación se divide en 3 bandas:

- La banda ultravioleta tiene una longitud de onda menos a 0.35 μ m y contiene el 7% de la energía
- La banda visible tiene longitudes de entre 0.35 μ m y 0.75 μ m y contiene el 47% de la energía

- La banda infrarroja, con longitud superior a los $0.75\mu\text{m}$, contiene 46% de la energía

El 47% de esta radiación llega a la Tierra, aunque la que llega a su superficie representa aproximadamente un 28%, pues lo demás es absorbido o reflejado por la atmósfera y las nubes (RENA, 2008).

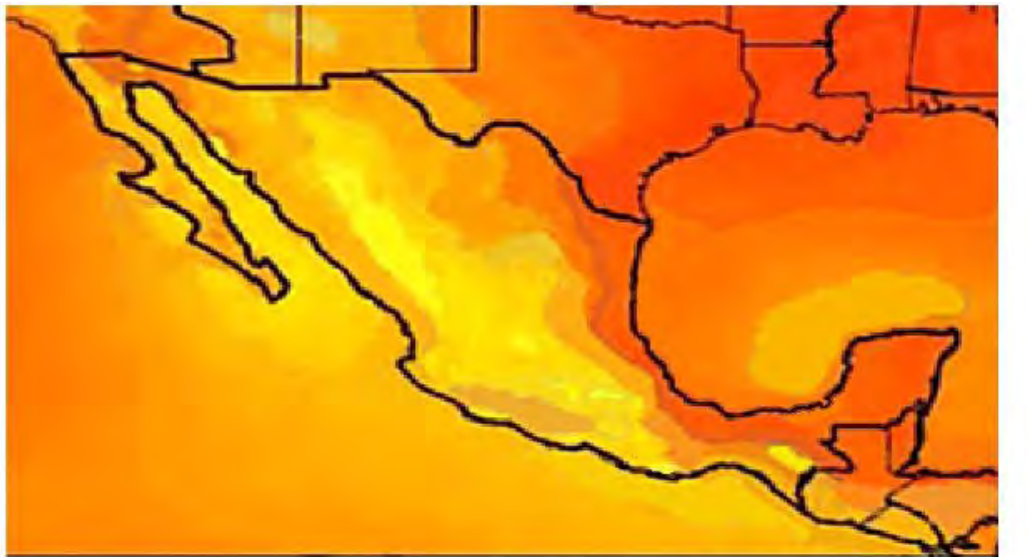
Para medir la radiación que emite el Sol se utiliza el concepto de constante solar, definida por Manrique como *“la cantidad de energía por unidad de tiempo que recibe del Sol una superficie de área unitaria perpendicular a la radiación, en el espacio y a una distancia media del Sol a la Tierra”*, con un valor estandarizado de $1,353 \text{ W/m}^2$ para el total de la radiación solar extraterrestre.

Esta radiación en la Tierra varía según las condiciones meteorológicas y la posición del Sol, que depende de las estaciones del año, el lugar donde se mide la radiación y la hora del día. En condiciones ideales, para un día sin nubes y sin contaminación, el máximo que podría recibirse en cualquier punto de la superficie terrestre son unos 1000 W/m^2 (CONAE, 2009a).

La energía solar que llega en un año a la superficie de la Tierra, sin contar la parte de ella que se absorbe por los mares, es de $1.5 \cdot 10^{17} \text{ KWh}$. Esto equivale a miles de veces el consumo energético total a nivel mundial (CONAE, 2009a).

La ubicación de los asentamientos irregulares de la Ciudad de México es favorable para la utilización de la energía solar; su lejanía de la ciudad otorga la ventaja de permitir que la luz solar llegue directa y no se refleje o interrumpa por los edificios altos.

México presenta índices de insolación adecuados para su aprovechamiento. La insolación se define como *“la cantidad de energía solar (directa, difusa y reflejada) que se recibe durante la duración del día, en un punto determinado del planeta, sobre una superficie colectora horizontal de 1m^2 ”* (EPSEA, 2009). Para la ciudad de México la media es de 5.3 KWh/m^2 (NMSU, 2009). En la figura 2.8 se puede observar un mapa del país con su promedio de insolación anual.



Fuente: Ecoefecto, 2009

Figura 2.8. Insolación promedio en México

Si la eficiencia de los dispositivos de recolección y aprovechamiento de energía solar fuera mayor, se alcanzaría suficiente energía para cubrir el consumo actual; se requiere investigación y desarrollo de sistemas y tecnologías para aumentar su eficacia y aprovecharla. Algunos sistemas solares que pueden utilizarse en los asentamientos irregulares se presentarán en los siguientes capítulos.

Capítulo 3

Energía fotovoltaica y fototérmica

Como se mencionó anteriormente, la energía solar puede ser aprovechada en la generación de energía eléctrica (fotovoltaica) o de calor (fototérmica), para lo cual existen sistemas de captación y transformación que serán detallados en el presente capítulo.

3.1 Energía fotovoltaica

La energía eléctrica se ha convertido en una necesidad para la humanidad, facilita muchas actividades de la vida diaria (lavar, cocinar, trabajar, comunicarse) y lo más importante, incrementa la productividad al aumentar el tiempo de iluminación.

En la tabla 3.1 se muestra la proporción de los distintos tipos de plantas de generación de energía eléctrica en México. Actualmente el 45% de la electricidad generada proviene de plantas termoeléctricas (CFE, 2009a).

Tipo de generación	Capacidad efectiva[MW]	Porcentaje
Termoeléctrica	22,668.69	45%
Hidroeléctrica	11,094.90	22%
Carboeléctrica	2,600.00	5%
Geotermoeléctrica	964.50	2%
Eoloeléctrica	85.25	0%
Nucleoeléctrica	1,364.88	3%
Termoeléctrica (Productores Independientes de ciclo combinado termoeléctrico)	11,456.90	23%
Total	50,236.12	100%

Fuente: CFE, 2009a

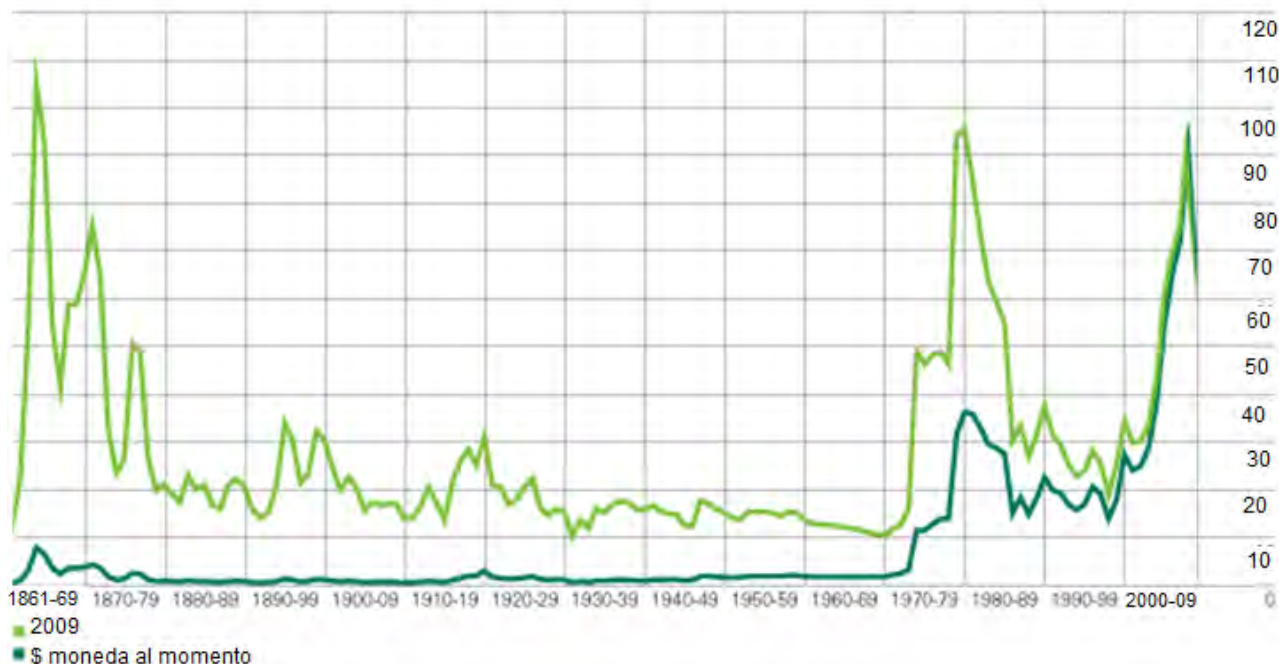
Tabla 3.1: Capacidad instalada por tipo de generación

El petróleo es la fuente primaria más utilizada en la generación de energía; como se mencionó en el capítulo 2, sus reservas han disminuido

notablemente, en oposición a su precio que va en aumento. La figura 3.1 muestra las fluctuaciones del precio del petróleo; la línea superior es una equivalencia de dichos precios en el valor que el dinero tendría en 2009, mientras que la inferior es el precio real en cada año señalado.

Precios del Petróleo 1861-2009

Dólares (EU) por barril



Fuente: BP, 2009

Figura 3.1: Aumento en el precio del petróleo

El encarecimiento del petróleo genera un aumento en el precio de la energía eléctrica, lo que obstaculiza para algunos el uso de este servicio. Para no depender de esta fuente energética se requiere la utilización de fuentes que sean renovables como la energía fotovoltaica, obtenida al transformar en electricidad la energía solar (ANES, 2009).

3.1.1 Características de la energía fotovoltaica

Para la elaboración de este subtema se tomó como base las publicaciones de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES, 2009) que brinda información útil y completa sobre esta energía y sus principales características.

Los sistemas fotovoltaicos funcionan mediante una propiedad llamada “efecto fotoeléctrico”, que consiste en transformar la luz en energía eléctrica sin

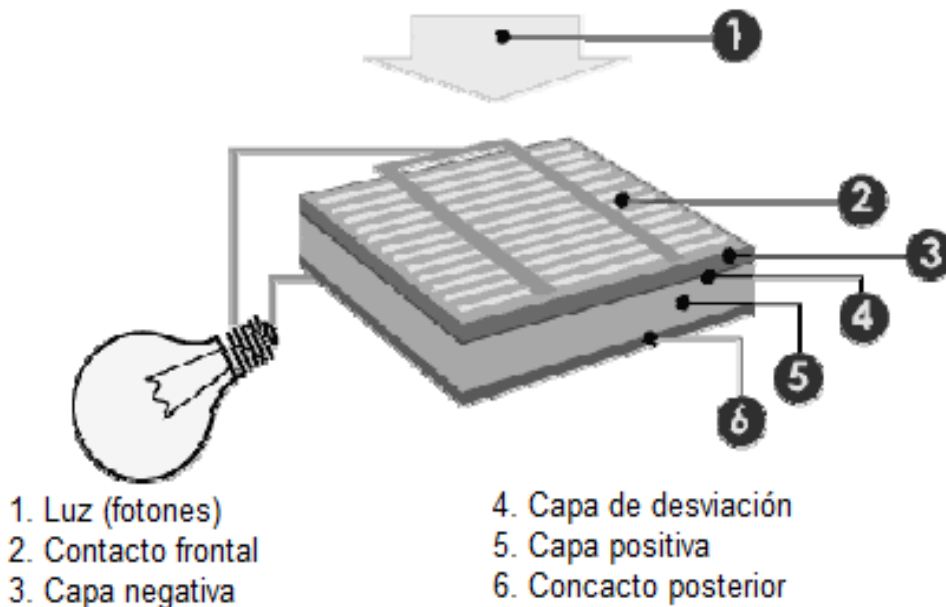
ningún paso intermedio. Esta conversión ocurre a nivel atómico, los materiales que poseen esta propiedad son capaces de absorber fotones de la luz solar (luz visible) y emitir electrones libres, que al ser capturados forman una corriente eléctrica.

El efecto fotoeléctrico fue descubierto por el físico francés Becquerel en 1839, quien observó que algunos materiales producían electricidad al estar expuestos a la luz. Más tarde Einstein, en 1905, profundizó esta investigación, fundamentando las bases de la energía fotovoltaica.

El primer sistema fotovoltaico fue una batería solar construida en 1954 en los laboratorios. Fue en la década de los 60's cuando se encontraron otras aplicaciones para este tipo de energía gracias a la industria espacial, y en los 70's a causa de la crisis energética.

Los dispositivos en los que se realiza la transformación de energía solar a eléctrica se conocen como "generadores fotovoltaicos", y están compuestos por un conjunto de unidades mínimas llamadas "celdas solares", que se conectan para formar "paneles solares" (ANES, 2009).

Las celdas solares están construidas con materiales semiconductores y cubiertas por una capa antirreflejante. Para su funcionamiento tienen una rejilla delgada semiconductor tratada, por medio de la cual se forman polos positivo y negativo para generar un campo eléctrico, además se agregan materiales conductores en cada polo del campo para formar un circuito eléctrico; al llegar la luz solar los electrones se excitan, los átomos del material semiconductor son capturados en el circuito, produciendo así la corriente eléctrica. La figura 3.2 muestra estructura de la celda:



Fuente: Martínez, 2006

Figura 3.2: Celda Solar

Las celdas solares se deben conectar entre sí para formar los módulos. El voltaje obtenido depende de la cantidad de celdas que compongan el módulo y la cantidad de luz recibida por éste. A su vez pueden conectarse varios módulos para formar un “arreglo” y, del mismo modo, a mayor área del arreglo más electricidad se produce. Los arreglos producen corriente directa y pueden ser conectados en serie o en paralelo, según se requiera, para obtener los voltajes o corrientes deseados.

Los módulos tienen como características principales (CONAE, 2009a):

- Potencia de pico (Wp): Es la potencia suministrada por el módulo en condiciones estándar (radiación solar de $1000\text{W}/\text{m}^2$ y temperatura ambiental de 25°C).
- Corriente nominal (A): Corriente nominal suministrada por el módulo en el punto de trabajo.
- Tensión nominal (V): tensión de trabajo del módulo.

Los módulos suelen tener una potencia de entre 50 y 150 Wp según el tipo y eficiencia de las celdas que los conforman.

Para lograr absorber la mayor cantidad de energía posible se han explorado materiales que permitan una mayor eficiencia, entendiéndose por ésta la cantidad de luz que es transformada en energía eléctrica; en promedio se alcanza una eficiencia de alrededor de 35% con sistemas en los que se superponen varias celdas; sin embargo actualmente hay sistemas de mayor eficiencia y se ha experimentado con materiales como arseniuro de galio, diseleniuro de indio con cobre y telurio de cadmio para mejorarla.

El material más utilizado en las celdas sigue siendo el silicio, que se encuentra en 3 formas, dependiendo de su estructura:

- Silicio monocristalino: con una eficiencia de 15% a 17%
- Silicio policristalino: con una eficiencia de 12% a 14%
- Silicio amorfo: con una eficiencia menor al 10%

Para utilizar sistemas fotovoltaicos es necesario considerar su orientación y características principales:

a) Orientación de los arreglos fotovoltaicos. La luz solar viaja en línea recta desde el Sol a la Tierra; una parte de ésta se dispersa (radiación difusa), otra se absorbe y otra cae en la superficie en línea recta (radiación directa) (Martínez, 2006).

Los paneles solares generan electricidad aún sin radiación directa; es decir, aunque el día esté nublado seguirán transformando la luz en energía. Sin embargo, para su funcionamiento óptimo debe aprovecharse la mayor cantidad de radiación directa posible, para lo cual se toma en cuenta la

orientación hacia el Sol. En el hemisferio norte, el panel debe orientarse hacia el sur, mientras que en el hemisferio sur debe orientarse hacia el norte.

La inclinación ideal del panel es en ángulo perpendicular a los rayos del Sol a medio día, y es parecido al ángulo de latitud de la región en la que se va a instalar (CONAE, 2009a).

b) Características principales de los sistemas fotovoltaicos. Se define como *sistema fotovoltaico el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar y transformar la energía solar disponible, transformándola en utilizable como energía eléctrica* (CONAE, 2009a).

Un sistema de generación de energía eléctrica consta de los siguientes componentes adicionales al panel: cables, estructura de soporte, convertidores CD-CA, un controlador de carga y baterías.

Las baterías no son necesarias para el funcionamiento del sistema, sin embargo son elementos importantes; almacenan energía para la noche o para períodos de escasez solar, de modo que se cuente con energía aún cuando el panel no está generándola. Sus desventajas son sus tiempos de vida cortos (de aproximadamente 5 años) y costos elevados.

Los sistemas fotovoltaicos se clasifican en tres (Martínez, 2006):

- Sistemas solares autónomos o fotovoltaicos domiciliarios: En éstos el panel solar genera electricidad directamente para la casa o edificio en el que se encuentra instalado.
- Sistemas solares conectados a la red pública: En éstos la generación de electricidad del panel es entregada por completo a la red pública; cuando este tipo de sistema se utiliza en un domicilio, el usuario entrega toda su energía durante el día a la red y ésta se la devuelve en la noche.
- Sistemas solares de emergencia: son utilizados cuando no hay, temporalmente, una red de distribución pública.

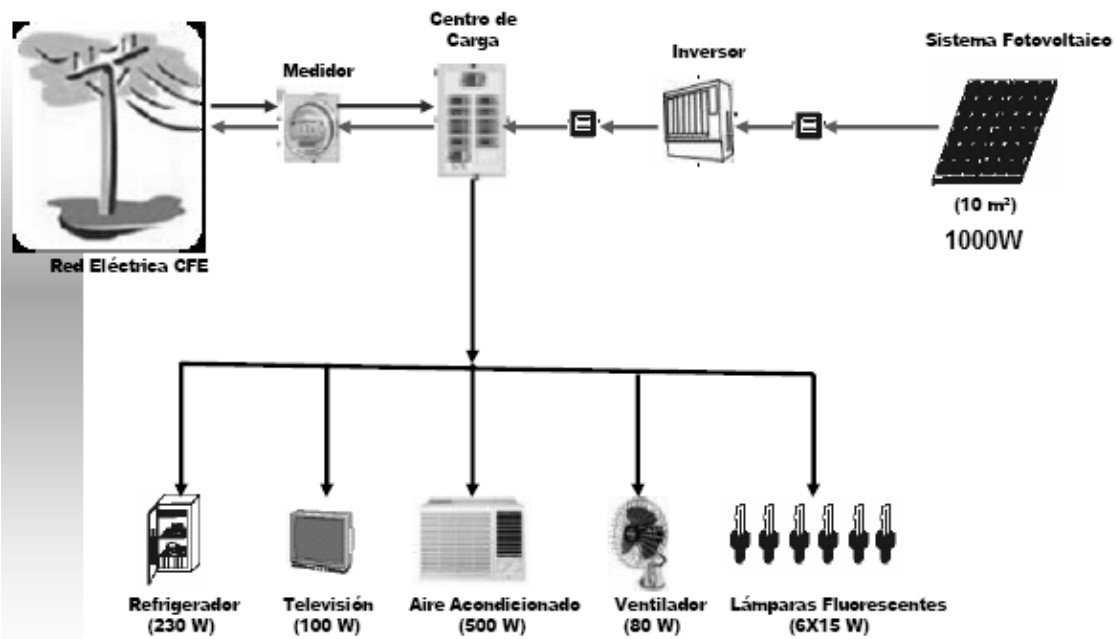
En este documento se propone para los asentamientos irregulares, un sistema de generación de energía solar conectado a la red pública para los asentamientos irregulares; tal es el caso del Vecindario Fotovoltaico Valle de las Misiones, ubicado en Mexicali, Baja California Norte; donde el gobierno diseñó un conjunto de casas cuyos techos tienen paneles fotovoltaicos con capacidad de 1000 W, conectados directamente a la red de distribución eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad CFE (IIE, 2009).

El arreglo anterior confiere a la red de distribución toda la energía generada por los paneles solares a lo largo del día; cuando el habitante de la vivienda

necesita electricidad, CFE la brinda equilibrando a final de mes lo que se otorgó a la red y lo que se empleó, por medio de un medidor bidireccional.

El panel solar de 1000 W suele ser suficiente para cubrir la necesidad energética; sin embargo, en caso no cubrir la demanda, se complementa con la red eléctrica pagando la diferencia; en algunos casos CFE queda debiendo electricidad a los usuarios, que se descuenta del recibo próximo.

Para los cálculos realizados en el capítulo siguiente para asentamientos irregulares se supone que un panel de 1000 W es suficiente para cubrir la necesidad energética: un refrigerador (400 W), 10 focos ahorradores (30 W c/u), una televisión (100 W) y algún aparato adicional; no se obtuvieron datos del consumo energético real del asentamiento. La figura 3.3 muestra la conexión que debería tener el sistema y un ejemplo de la utilización de los 1000 W; en ese caso se emplean un ventilador y aire acondicionado dadas las necesidades climáticas de Mexicali; para un asentamiento irregular podrán ser sustituidos por otros aparatos eléctricos según las necesidades de la vivienda como un horno de microondas o una lavadora.



Fuente: IIE, 2009

Figura 3.3: Sistema de generación de energía eléctrica de 1000 W

El sistema consta de un panel solar conectado a un inversor porque se genera corriente eléctrica directa y para su utilización debe transformarse a corriente eléctrica alterna. Posteriormente está unido al centro de carga, donde se encuentran los interruptores que controlan el uso de la energía en la

vivienda, que va a su vez conectado al medidor bidireccional para registrar la entrada y salida de energía eléctrica hacia y desde la red de distribución. La ventaja de utilizar este arreglo reside en que no se necesita una batería; al conceder la energía generada a la red de distribución no será necesario almacenarla. Si los 1000 W del panel cubren la necesidad eléctrica de la vivienda no se deberá cubrir ninguna cuota de electricidad mensual, en caso contrario se compensará el consumo con energía de la red y se pagará una cuota correspondiente a la tarifa de CFE.

3.1.2 Afectación ambiental

La energía solar fotovoltaica está considerada una de las energías renovables menos dañinas para el ambiente. Al generarse por medio de la transformación de la luz solar no requiere combustibles y no se producen emisiones contaminantes, vibraciones ni ruido; cabe señalar que sí se forman residuos peligrosos al utilizar baterías y los materiales con los que se fabrican los paneles.

El impacto visual de la energía solar fotovoltaica no suele ser grande, pero depende de la magnitud de los paneles solares y su ubicación; en las viviendas se puede incluir el panel solar como un decorativo arquitectónico y generar la energía directamente en el lugar de consumo, lo que disminuye las pérdidas que se tendrían al transportarla.

En la tabla 3.2 se observa un listado de contaminantes atmosféricos y riesgos ambientales, ocasionados por distintas fuentes de generación energética; en ésta puede apreciarse un análisis de los efectos de cada uno mediante el uso de una escala de 1 a 5, según el grado de afectación ambiental que recomienda *Ecologistas en acción* (2009).

	Carbón	Petróleo	Gas natural	Nuclear	ESFV	ESFT
SO ₂ , NO _x	5	4	2	2	1	1
CO ₂	5	5	5	2	1	1
CH ₄	3	2	4	1	1	1
Partículas	3	3	1	1	2	1
Metales pesados	3	2	1	1	2	1
Almacenamiento de residuos	3	2	1	4	2	2
Catástrofes	2	3	3	5	1	1
Intrusión visual	3	4	4	3	2	2
Ruido	2	1	1	1	1	1
Terreno ocupado	4	2	2	2	2	2
Seguridad y salud	3	3	2	3	1	1
TOTAL	36	31	26	25	16	14

ESFV: Energía solar fotovoltaica y ESFT: Energía solar fototérmica

Fuente: Ecologistas en acción, 2009

Tabla 3.2: Análisis de la afectación ambiental por la generación de electricidad

Como puede observarse en la tabla, las energías solares fotovoltaica y fototérmica (ESFV y ESFT) ocasionan una afectación ambiental menor que las demás; cabe señalar que, si bien el daño ambiental es muy reducido éste no se considera nulo porque existen diversos aspectos que se deben considerar (CECU, 2009):

a) Contaminación producida por el proceso de fabricación de los componentes. Al elaborar paneles fotovoltaicos se llevan a cabo diversos procesos, dependiendo de la tecnología utilizada en su fabricación se emiten distintos contaminantes. Los sistemas fotovoltaicos más usados son los de silicio, éste es muy abundante pero debe ser purificado, para lo que se requieren agentes agresivos como el ácido sulfúrico, que deberán disponerse adecuadamente para evitar daños al ambiente o a la gente.

Además del material activo (silicio en este caso), el panel se conforma de diversos materiales; se utiliza aluminio en los marcos, vidrio para encapsular y acero para las estructuras. Cabe mencionar que la producción, extracción y transporte de los componentes que se necesitan para fabricar el panel solar forman un proceso contaminante pues se generan emisiones de gases de efecto invernadero por combustión, se generan residuos peligrosos y se requiere energía convencional.

Actualmente se obtiene silicio reciclado de los desechos de la industria electrónica y de paneles solares más viejos, el reciclaje de estos últimos evita que desprendan gases tóxicos y formen residuos peligrosos.

b) La utilización del suelo. El terreno necesario para producir energía fotovoltaica depende de la instalación:

- Las instalaciones descentralizadas requieren un terreno mínimo; los paneles se instalan en tejados, fachadas y terrazas de los edificios ya existentes, o en áreas de suelo no utilizado.
- Los sistemas centralizados, que generan electricidad a gran escala, requieren grandes extensiones de terreno, dependen de la eficiencia de conversión de los módulos y las características de insolación del lugar.

La tabla 3.3 muestra una comparación de las distintas tecnologías de generación de electricidad y el espacio que requeriría su instalación para producir cada GWh de energía durante 30 años.

Tecnología	Espacio [m ² /GWh] (30 años)
Carbón	3642
Fototérmica	3561
Fotovoltaica	3237
Eólica	1225
Geotérmica	404

Fuente: Ecologistas en acción, 2009

Tabla 3.3: Requerimiento de suelo por GW de energía generado en 30 años

Se requieren espacios muy amplios de insolación directa para captar la energía solar y los suelos de estos lugares no están exentos de sufrir algún impacto.

c) El impacto visual. A pesar de que la energía solar se ha vuelto más común en los últimos años, la población aún no está acostumbrada a esta tecnología y la rechaza por cuestiones estéticas (Armstrong, 2009).

El impacto visual de estos sistemas depende de su tamaño; como se mencionó anteriormente, este problema es menor cuando las instalaciones son descentralizadas, sin embargo los sistemas fotovoltaicos de mayor tamaño impactan inevitablemente en el paisaje.

Es necesario considerar que los paneles solares tienen superficies reflectantes, por lo que es preciso que su orientación no obstaculice puntos de observación, esta interferencia puede minimizarse también al respetar las distancias y emplear árboles que desvíen la luz, siempre y cuando no hagan sombra al panel.

d) El impacto sobre la flora y la fauna. Cuando se utiliza un sistema fotovoltaico descentralizado el impacto sobre la flora y la fauna prácticamente no existe, no daña suelos ni genera ruido o contaminación. Los sistemas centralizados sí pueden ocasionar una alteración del ecosistema; como requieren un territorio amplio y sin sombras es necesario remover la vegetación cercana, lo que podría desencadenar la desaparición de alguna especie o cambios en el clima.

No hay una fuente de generación de energía que esté exenta de afectar al ambiente; se deben comparar los efectos negativos que trae consigo cada una para seleccionar la menos dañina, y hacer un estudio específico para el lugar en el que se quiera instalar la planta, para determinar así cuál es la más indicada según las características y requerimientos.

Para los asentamientos irregulares se recomienda el empleo de sistemas fotovoltaicos descentralizados; la flora, la fauna y el terreno no sufrirían alteraciones y los habitantes de la zona se beneficiarían.

3.1.3 Diseño y costos

Los cálculos para diseñar un sistema solar fotovoltaico aquí mencionados, están basados en el texto escrito por Francisco Gimeno (2002).

a) Ubicación geográfica de la instalación. La orientación del panel solar depende de dónde se instalará. Una vez conocida la orientación se debe tener el dato de la radiación media anual en la zona.

Algunos medidores antiguos reportan la medición de la insolación en una unidad llamada “Langley”, que son calorías por centímetro cuadrado. La equivalencia para 1kwh/m² es 86.2069 cal/cm². Considerando el dato antes mencionado para la radiación solar en la ciudad de México, que es 5.3 kWh/m², la equivalencia en Langleys será la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Energía solar Langleys} &= \text{radiación solar} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right] * \frac{86.2069 \left[\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2} \right]}{1 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]} && \text{(ec. 3.1)} \\ &= 5.3 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right] * \frac{86.2069 \left[\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2} \right]}{1 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]} = 456.89657 \left[\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2} \right] \end{aligned}$$

Cuando el rendimiento de un panel solar es aproximadamente 20%, se puede considerar:

$$\begin{aligned} \text{Energía solar total} &= \text{Energía solar Langleys} * \text{rendimiento} && \text{(ec. 3.2)} \\ &= 456.89657 \left[\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2} \right] * 0.2 = 91.3793 \left[\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2} \right] \end{aligned}$$

Posteriormente debe definirse el ángulo de inclinación de los paneles para aprovechar al máximo la radiación; este se determina según la latitud de la posición geográfica de la instalación, la latitud de la Ciudad de México es de 19°24". Por estar ubicados en el hemisferio norte el panel deberá ir orientado hacia el sur.

b) Demanda diaria de energía. Para determinar la demanda diaria debe hacerse un estudio de la media de consumo anual de energía de los receptores, y los valores máximos y mínimos requeridos para generar la energía eléctrica deseada; para ello es necesario calcular los subsistemas que componen una central solar fotovoltaica, que son:

1. Cálculo del número de módulos fotovoltaicos. Dependiendo de la capacidad del sistema fotovoltaico que se requiera debe calcularse el número de módulos necesarios, para determinarlo se requiere conocer la capacidad de generación por cada panel que se instalará. La ecuación que deberá utilizarse será:

$$Num. de paneles en paralelo = \frac{Consumo (diario)}{Generación(1 panel)} \quad (ec. 3.3)$$

2. Cálculo de la capacidad de las baterías. Si el sistema fotovoltaico va conectado con un medidor bidireccional a la red de distribución este cálculo no será necesario; en caso de no estar conectados es preciso calcular la capacidad de las baterías que se requieren. La ecuación que debe utilizarse es:

$$Capacidad de batería = \frac{consumo * días autonomía}{Profundidad de descarga} \quad (ec. 3.4)$$

Siendo *consumo* la capacidad en cantidad de amperes por hora al día que tienen las baterías a utilizar, *días autonomía* el tiempo que debe operar el sistema sin radiación solar y *profundidad de descarga* es la descarga final que se entrega en porcentaje.

3. Cálculo de la sección del conductor. Como se trabaja con tensiones continuas de bajo valor (12 o 24 volts) las intensidades son muy elevadas; no dimensionar correctamente los semiconductores electrónicos y el cableado eléctrico puede ocasionar pérdidas importantes. La sección del conductor se determina por la siguiente ecuación:

$$S = \frac{2 * L * I}{\left(\frac{1}{\rho}\right)^3 \Delta V_{AB}} \quad (ec. 3.5)$$

donde:

S: Sección, en mm²

L: longitud del cable, en m

I: Intensidad de corriente que circula por los cables en [A]

ΔV_{AB} : Caída de tensión en el cableado en [V]

ρ : Resistividad, en $\Omega mm^2/m$

factor 2: Se multiplica por éste para considerar la ida y vuelta del cableado

4. Costo de los paneles solares. Este costo es variable y debe determinarse al momento de instalar el sistema, pues los precios de los paneles cambian dependiendo de la empresa, la ciudad y la tecnología. Debe realizarse una cotización para encontrar la opción óptima.

5. Costo total. Al costo de los paneles solares debe sumársele el importe del cableado y el del convertidor de corriente, resultando entonces la siguiente ecuación:

$$Costo total = paneles + cableado + convertidor \quad (ec. 3.6)$$

Este costo total puede diferirse en pagos anuales utilizando la siguiente ecuación, útil en caso de conseguir un financiamiento:

$$\text{Costo anual} = \frac{\text{Costo total}}{\text{tiempo de vida til}} \quad (\text{ec. 3.7})$$

c) Obtención del punto de equilibrio. Para conocer el beneficio económico generado al utilizar paneles solares es conveniente obtener el punto de equilibrio, por medio del cual se puede determinar el tiempo en el que se recupera la inversión económica inicial. Para la obtención de este cálculo se considera un consumo energético promedio per cápita de 270 kWh por bimestre (Arroyo, 2005); considerando un promedio de 5 habitantes por vivienda (PRIA, 2009) se tiene un consumo promedio de 675 kWh mensuales.

Panel fotovoltaico:

$$Y = \text{Costo del panel solar} \quad (\text{ec. 3.8})$$

Para el consumo energético convencional:

$$Y = (675kWh)(\text{tarifa CFE} \frac{\$}{kWh})X \quad (\text{ec. 3.9})$$

Igualando las ecuaciones 3.8 y 3.9 se tiene:

$$\text{Costo del panel solar} = (675kWh)(\text{tarifa CFE} \frac{\$}{kWh})X \quad (\text{ec. 3.10})$$

Despejando la ecuación 3.10:

$$X = \frac{\text{Costo del panel solar}}{(675kWh)(\text{tarifa CFE} \frac{\$}{kWh})}$$

siendo:

X = meses en que se recupera la inversión

El costo de estos sistemas suele ser elevado; su adquisición podría facilitarse mediante financiamientos con bajo interés. Para los asentamientos irregulares se podría solicitar ayuda a la Delegación, pues el gobierno de la Ciudad de México se encuentra impulsando proyectos y campañas de mejora ambiental y podría dedicar a esta causa cierta cantidad del presupuesto destinado a éstos.

En el siguiente subtema se mencionan algunas propuestas de sistemas solares más económicos para generación de energía térmica, aprovechables también en estos asentamientos.

3.2 Energía fototérmica

Muchas actividades de la vida diaria, como cocinar y bañarse, requieren de una fuente de calor que suele provenir de la quema de combustibles fósiles, los cuales son agotables y generan emisiones contaminantes; para evitar su uso puede aprovecharse la energía solar: una fuente natural, limpia, renovable y gratuita. La energía solar térmica o energía fototérmica es aquella que se obtiene al transformar la radiación solar en calor transmitido a un fluido de trabajo (CONAE, 2009b).

En los asentamientos irregulares se genera calor con gas LP y leña; se podrían sustituir aprovechando el calor del sol para cocinar, secar granos (cuando existan actividades de agricultura), hervir agua para beber y calentar agua para bañarse.

Según la encuesta aplicada en Ocotla, actualmente el combustible más utilizado es el gas LP; este gas presenta algunos inconvenientes, se encuentra almacenado en cilindros que pueden estar en mal estado y al no contar con una buena instalación pueden presentar fugas, lo cual es una amenaza para la salud de los habitantes del asentamiento por la toxicidad del gas y es un riesgo de explosión. Por otro lado cuando se termina el gas almacenado en el cilindro, se debe esperar a la compañía suministradora para rellenarlo; debido a la localización de los asentamientos irregulares es posible que pasen días antes de que acudan al lugar, por lo que el usuario no goza de energía térmica en estos periodos, según mencionaron los habitantes de Ocotla (PRIA, 2009).

A diferencia del combustible mencionado, la energía solar fototérmica es inagotable y no depende de ninguna compañía suministradora. Existen diversos sistemas de captación para colectarla según las actividades en las que será aprovechada que en este capítulo se describen.

3.2.1 Clasificación

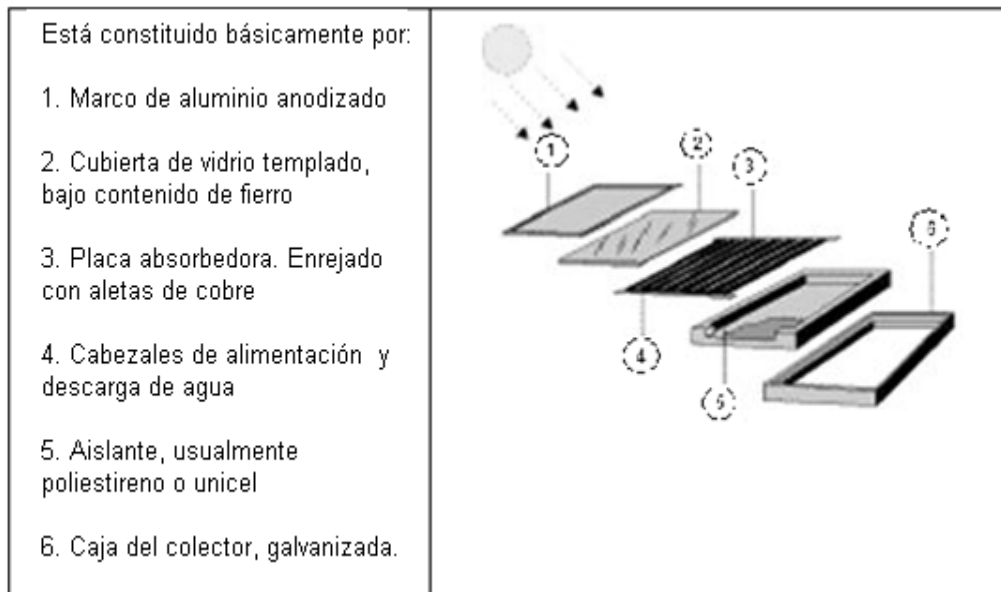
Los sistemas que se utilizan para obtener la energía fototérmica se llaman “colectores solares” y se clasifican según su almacenamiento en:

- Almacenamiento en medio único: La energía térmica es almacenada directamente en el mismo fluido que circula por el sistema; presentan una eficacia de 90%.
- Almacenamiento en medio dual: El calor se almacena en un medio distinto al fluido de trabajo que se calienta en los colectores. Éstos tienen una eficiencia del 70%.

Asimismo, los colectores solares se clasifican en tres categorías según la temperatura de trabajo: de baja, media y alta temperatura. A los colectores de

media y alta temperatura se les conoce como “concentradores solares”; se diferencian de los otros en que la radiación colectada se refleja a una superficie de menor área, la cual concentra la energía alcanzando temperaturas mayores (CONAE, 2009b).

a) Colectores de baja temperatura: Se les conoce como “colector solar plano”; mediante absorbedores elevan la temperatura del fluido de trabajo entre 40°C y 80°C; se utilizan principalmente en calentadores de agua para baño y albercas. En la figura 3.4 se muestran sus componentes:

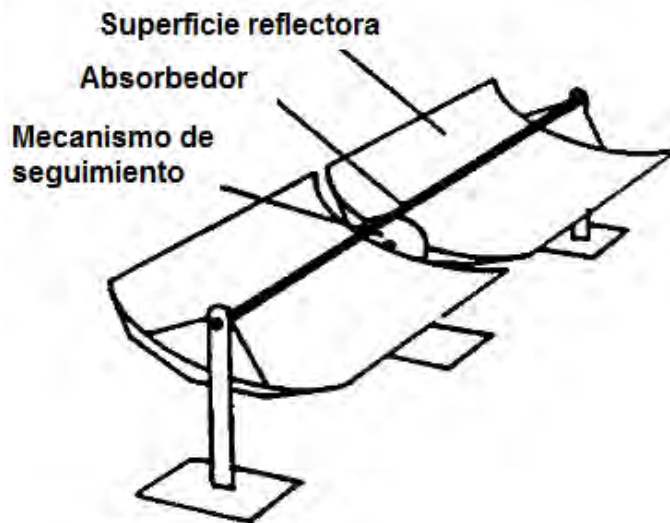


Fuente: CONAE, 2009b

Figura 3.4: Colector solar plano.

b) Colectores de temperatura media: Concentran la radiación solar para elevar la temperatura del fluido de trabajo entre 100°C y 300°C. Se les conoce como “concentrador de canal parabólico”, su funcionamiento se basa en dirigir la radiación mediante espejos hacia un receptor de menor tamaño. Se utilizan únicamente en zonas de alta radiación solar y se requieren amplios terrenos para elevar el fluido a una temperatura suficiente, por lo que no se emplean con mucha frecuencia.

Utilizan reflectores parabólicos, a lo largo del foco de la parábola se alberga un tubo hacia el que se enfoca la radiación, por el que se conduce el fluido de trabajo, que suele ser aceite térmico o vapor de agua. La figura 3.5 muestra un ejemplo.

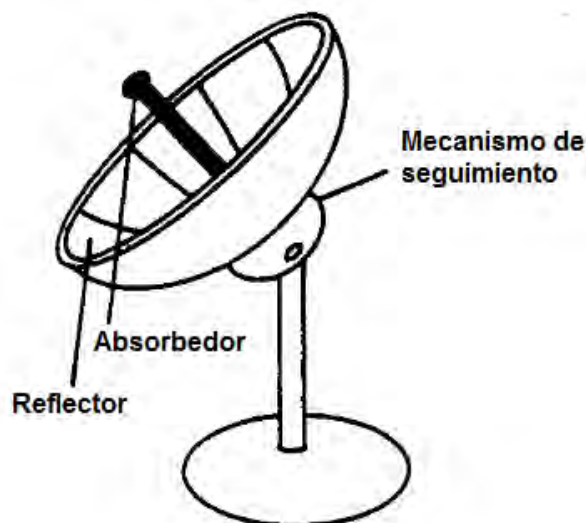


Fuente: Kaplan, 2009

Figura 3.5: Concentrador solar de canal parabólico.

c) Colectores de alta temperatura: Con este tipo de colectores se pueden alcanzar temperaturas mayores de 500°C. Dentro de éstos se encuentran los “concentradores de plato parabólico” y los “sistemas de torre central”. El calor generado suele utilizarse para generación de electricidad.

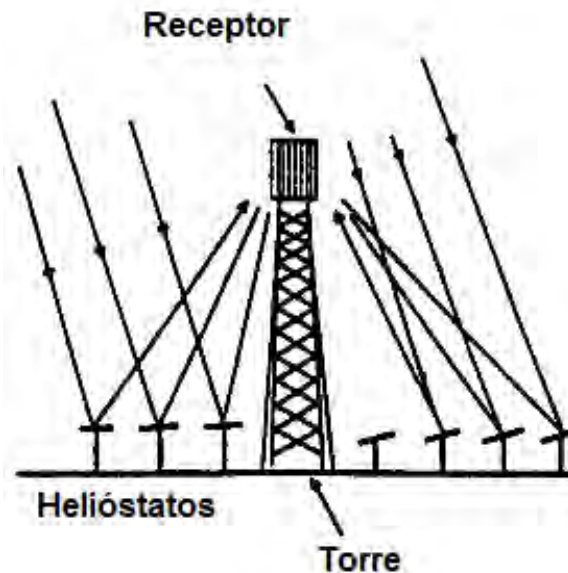
Los platos o discos parabólicos son superficies paraboidales compuestas de una serie de espejos que concentran la radiación solar hacia un receptor, éste forma parte de un ciclo termodinámico productor de electricidad (SENER, 2005). En la figura 3.6 se pueden observar sus componentes principales:



Fuente: Kaplan, 2009

Figura 3.6: Concentrador solar de plato o disco parabólico

Los sistemas de torre central son plantas que utilizan espejos planos llamados helióstatos, con los que se refleja la radiación solar hacia un receptor que se encuentra sobre una torre para concentrarla, que hace las veces de caldera, como se puede apreciar en la figura 3.7. Por medio de un fluido, el calor es colectado y enviado a la base de la torre para su utilización en generación de electricidad (SENER, 2005).



Fuente: Kaplan, 2009

Figura 3.7: Concentrador solar de torre central

La mayor temperatura que puede alcanzarse con la tecnología actual por medio de concentradores solares es de 3800K.

3.2.2 Aplicaciones de la energía solar en asentamientos irregulares

Muchos de los dispositivos creados para aprovechar la energía solar se componen de tecnologías relativamente simples, por lo que pueden ser utilizadas tanto en comunidades urbanas como rurales y para actividades complejas (como generar electricidad) o sencillas (como calentar agua).

Los asentamientos irregulares tienen un estilo de vida variable según su cercanía a la ciudad, pero ya sea vida urbana o rural puede considerarse a la energía solar como una fuente viable. Almanza y Muñoz (1994) proponen las siguientes alternativas de utilización de esta energía:

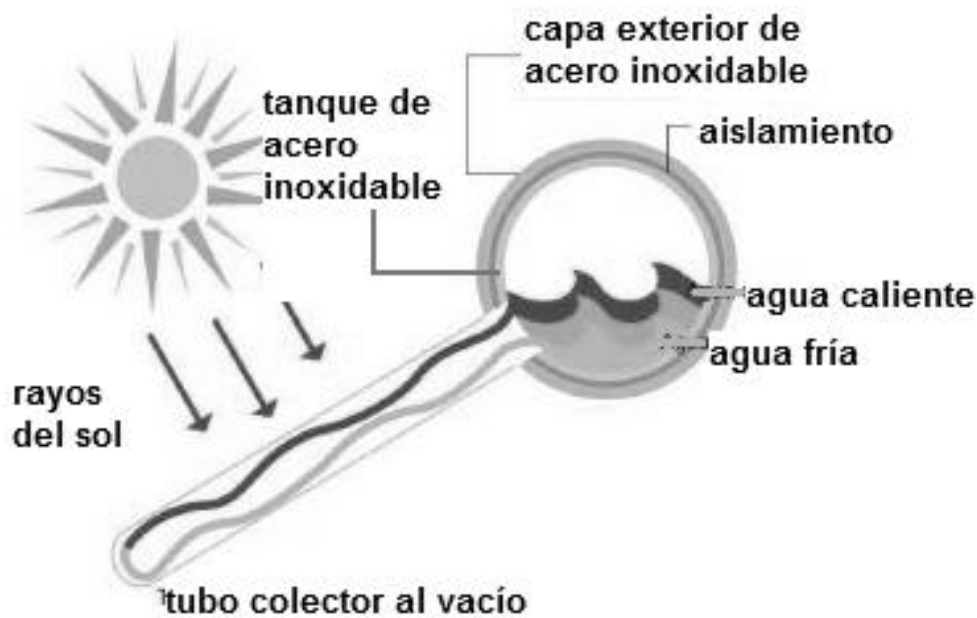
- Calentar agua para su uso en baños, digestores de metano o cocinas.
- Calentar aire que se puede utilizar en secar granos, madera, pescado.
- Cocinas solares para cocer alimentos.

- Irrigación y bombeo de agua de pozos (bombas solares).
- Desalación de agua salobre (con mucha cantidad de sal) existente en el subsuelo.

a) Calentar agua para su uso en baños, digestores de metano o cocinas:

Los calentadores de agua son colectores solares planos que, por medio de materiales negros absorbentes, podrían calentar suficiente agua para su uso en baños, en la cocina o en digestores.

Los captadores poseen un tanque para almacenar el agua caliente conectado a una tubería, cubiertos con un material aislante térmico y una capa impermeable para evitar pérdidas de calor. El agua alcanza temperaturas entre 40°C y 80°C dependiendo de la época del año y las condiciones ambientales de la región; comercialmente tienen una capacidad de 150 a 200 litros. Un esquema del funcionamiento de los calentadores de agua se muestra en la figura 3.8:



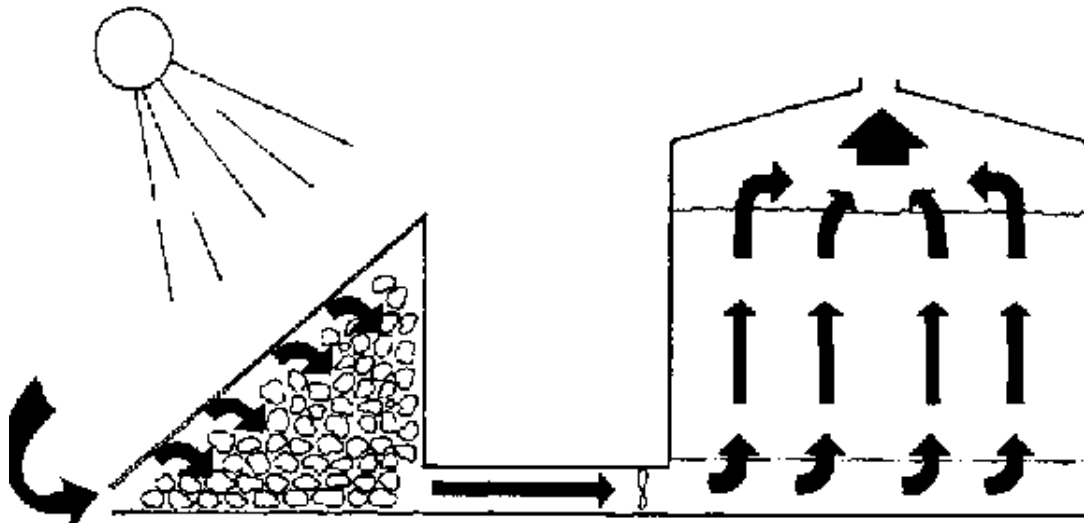
Fuente: Proenergy, 2009

Figura 3.8: Calentador solar de agua

b) Calentar aire que se puede utilizar en secar granos, madera, pescado:

Hay varios tipos de calentadores solares que eliminan la humedad de alimentos o materiales; su funcionamiento general es el explicado en la figura 3.9: se calienta un colector solar formado por un grupo de piedras amontonadas en una caja de paredes negras que absorben la energía del sol, el aire penetra por la parte inferior atravesando las piedras previamente calentadas por el sol y se calienta a su paso, ingresa al silo del grano por la

parte inferior auxiliado por un ventilador y sale por la abertura superior (FAO, 2009).



Fuente: FAO, 2009

Figura 3.9: Secador de granos

c) Cocinas solares para cocer alimentos: Las cocinas solares son dispositivos que captan energía solar transformándola en calor aprovechable para cocinar en la intemperie. Constan de un espejo cóncavo que concentra la radiación en una pequeña área, sólo concentran la radiación directa, por lo que únicamente pueden utilizarse con cielo despejado y deben orientarse a la posición del sol. El espejo puede ser de diferentes materiales como lámina de aluminio troquelado, lámina de acero inoxidable o lámina negra quemada y deben limpiarse frecuentemente para eliminar el polvo y mantener su reflectancia.

También hay cocinas solares diseñadas para usarse dentro de una habitación, pero se limitan a la cocción mediante el uso del agua caliente obtenida de calentadores solares como los previamente mencionados.

Los dos principales tipos de cocinas solares son:

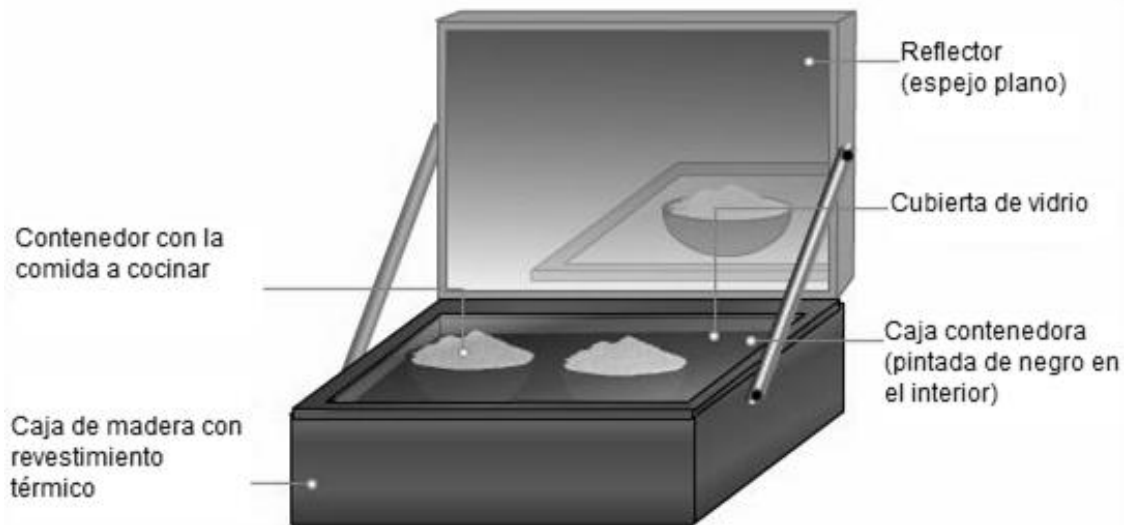
- **De concentración:** concentran la radiación solar en un punto a través de un reflector parabólico, en éste se coloca la olla que cocinará los alimentos. Generan altas temperaturas y permiten freír alimentos o hervir agua. Un esquema de una cocina de concentración solar se muestra en la figura 3.10.



Fuente: Ciencia al día, 2009

Figura 3.10: Cocina solar de concentración

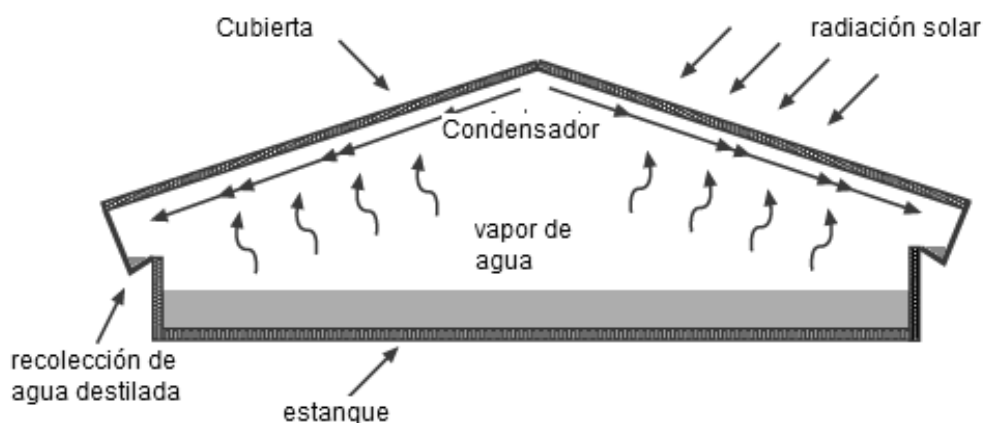
- **De Horno o caja:** Es una caja térmicamente aislada, diseñada para capturar la energía solar y mantener caliente su interior, los alimentos no se queman ni se cuecen en exceso. Este tipo de cocina solar es de fácil construcción a nivel doméstico y cada día es más popular en México y en el mundo. La figura 3.11 muestra un esquema de éstas:



Fuente: <http://image.tutorvista.com/content/sources-energy/construction-of-solar-cooker.jpeg>

Figura 3.11: Cocina solar de caja

d) Desalación de agua salobre: Se puede realizar a distintas escalas y es muy útil para las regiones en las que se encuentra mucha agua salobre o contaminada en el subsuelo para removerle las sales y adecuarla para el consumo humano. Este proceso consiste en concentrar la radiación solar y aprovechar su energía térmica para elevar la temperatura del agua, provocando su evaporación para recuperarla con un condensador, habiéndose separado de las sales, metales pesados y otros contaminantes físicos, que además podrán aprovecharse más adelante pues quedan asentadas en el fondo del recipiente (Agri-Nova, 2009). Un ejemplo de la configuración de un desalador solar se muestra en la figura 3.12:



Fuente: <http://news.soliclima.com/?seccio=noticiesprof&accio=veure&id=131>
Figura 3.12: Sistema de desalación solar de agua salobre.

3.2.3 Afectación ambiental

La energía solar térmica causa un impacto bajo sobre el ambiente, similar aunque aún menor al ocasionado por la energía solar fotovoltaica (ver subtema 3.1.2), pues los materiales con los que están fabricados los colectores y concentradores solares son menos agresivos para el medio porque no contienen silicio que genere residuos peligrosos.

De igual forma que los procesos de fabricación de los paneles solares, los de los colectores requieren energía y transporte que generan emisiones y residuos contaminantes. Asimismo su utilización a gran escala genera problemas en los ecosistemas, ya que puede ocasionar alteraciones en la vegetación y fauna de la zona y producir contaminación visual al modificar el paisaje.

En su utilización a pequeña escala se considera que no genera una afectación negativa, porque generalmente se utiliza para suplir alguna otra tecnología que ocasiona un daño igual o mayor al ambiente, como la

combustión de gas. La tabla 3.2 muestra un comparativo entre la energía solar y otras tecnologías, en ésta se señala que los mayores problemas de daño ambiental de la energía fototérmica son el terreno ocupado, la intrusión visual y el almacenamiento de residuos; tiene una calificación muy baja dentro de la escala por lo que se puede concluir que su impacto sobre el ambiente es mínimo y es la opción menos dañina.

3.2.4 Diseño y costos

El diseño de los colectores solares varía según su aplicación y requerimientos. A continuación se presentan las alternativas de utilización recomendadas para los asentamientos irregulares.

Calentador solar de agua

Hay distintos modelos y tecnologías para los calentadores solares de agua, estas tecnologías marcan la diferencia en su eficiencia, tiempos de vida y precio.

Existen dos tipos de calentadores solares; los de gravedad utilizan esta fuerza junto con la transferencia de calor por convección para mover el agua y calentarla, y los de presión que cuentan además con una bomba que provoca un movimiento más rápido del agua dentro del calentador; éstos últimos son más eficientes y confiables pero más caros.

Según la Comisión Nacional para Uso Eficiente de la Energía (CONUEE, 2009) la vida útil de los calentadores solares de agua varía entre 15 y 20 años. Para escogerlos se debe tomar en cuenta la cantidad de habitantes de la vivienda en donde quiera instalarse y la cantidad de agua promedio que utiliza la misma, pues esto indicará el tamaño ideal del equipo.

Para determinar las características del calentador solar que se requiere, podrá utilizarse la ecuación 3.11.

$$\text{Capacidad calentador} = (\text{Habitantes}) * (\text{litros/hab} - \text{día}) \quad (\text{ec.3.11})$$

Una vez habiendo determinado la capacidad del calentador se deben buscar las distintas alternativas que existen en el mercado para determinar su costo. Para ello, debe hacerse una cotización, comparar opciones y seleccionar la más adecuada, como se presenta en el capítulo 4.

Del mismo modo que en la cotización para los paneles solares, el costo del sistema puede ser elevado, por lo que sería recomendable que el pago no se hiciera en una exhibición sino en mensualidades o pagos anuales.

a) Costo anual. Una vez habiendo evaluado las opciones puede obtenerse el costo anual considerando la ecuación 3.12.

$$\text{Costo anual por el calentador} = \frac{\text{costo del calentador}}{\text{a os de vida til}} \quad (\text{ec. 3.12})$$

Los calentadores solares reducen el consumo de gas en un 75%; las familias marginadas pagan entre \$360 y \$450 mensuales de gas LP (Rosas, 2007); si se considera la reducción de este consumo por utilizar los calentadores solares, se lograría que únicamente costearan el 25%; es decir, se pagan actualmente \$405 en promedio, con el calentador abonaría únicamente una cantidad de \$101.25 al mes.

En total, el costo mensual por el calentador solar y el gas que se requerirá, sería de:

$$\text{Costo mensual total} = \text{costo mensual del calentador} + 101.25 \quad (\text{ec. 3.13})$$

b) Obtención del punto de equilibrio. Una vez habiendo determinado el costo del calentador solar y sabiendo el consumo normal de gas LP pueden modelarse dos ecuaciones que, al igualarlas, darán como resultado el número de meses en los que la inversión queda recuperada (Punto de equilibrio).

Siendo X el número de meses, Y el costo total y empleando los costos mencionados anteriormente, las ecuaciones que deberán modelarse son:

Para el calentador solar:

$$Y = \text{Costo del calentador} + 101.25X \quad (\text{ec. 3.14})$$

Para el consumo de gas LP normal:

$$Y = 405X \quad (\text{ec. 3.15})$$

Igualando las ecuaciones 3.14 y 3.15 se tiene:

$$\text{Costo del calentador} + 101.25X = 405X \quad (\text{ec. 3.16})$$

Despejando la ecuación 3.16:

$$\text{Costo del calentador} = (405 - 101.25)X$$

$$X = \frac{\text{Costo del calentador}}{303.75}$$

siendo:

X = meses en que se recupera la inversión

Cocina solar

Como se mencionó anteriormente, hay dos tipos de cocinas solares: caja y concentración; para el caso de los asentamientos irregulares las más adecuadas son las de caja, pues son más baratas y pueden ser construidas por los usuarios.

Los costos de las cocinas solares varían significativamente de una a otra dependiendo de los materiales que se utilicen, del mismo modo varía su tiempo de vida.

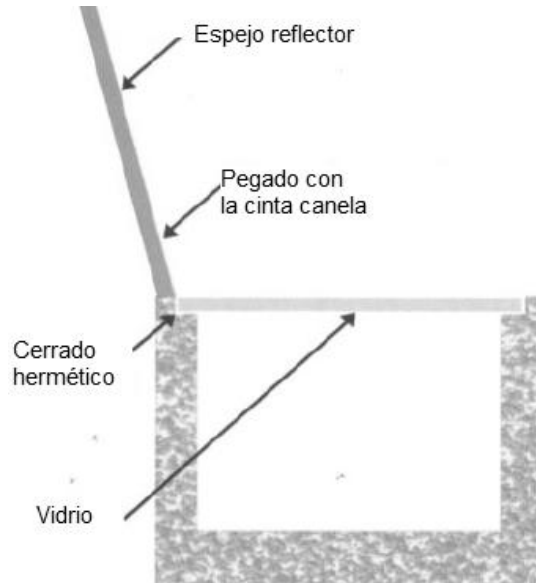
Para el caso de los asentamientos irregulares se recomienda seguir el procedimiento propuesto por el Gobierno del Estado de Aguascalientes, cuya página de Internet se menciona en la mesografía de este documento, que resulta en una cocina solar fabricada con insumos de fácil adquisición y bajo costo. Los materiales requeridos son:

- Caja de cartón de 50x50x50 cm
- Caja de cartón de 40x40x40 cm
- Vidrio de 40x40 cm de 3mm de espesor
- Espejo de 50x50 cm de 3mm de espesor
- 3 paquetes de papel aluminio
- Silicón
- Cinta canela
- 20 tiras de cartón de 50x5 cm
- Pintura
- Periódico o uncel como aislante

a) Procedimiento

1. Se forra con el material aislante la caja pequeña y se mete dentro de la grande. El forrado de la caja pequeña debe ser tan grueso como los espacios entre las dos cajas; de modo que no queden huecos entre ambas.
2. Utilizar las tiras de cartón para sellar el espacio entre ambas cajas, de modo que quede una sola caja de pared gruesa.
3. Forrar la parte interior de la caja con el aluminio; es importante sellar las orillas con silicón para evitar humedad y derramamiento de líquidos.
4. Pegar el vidrio en la superficie de la caja y el espejo en la tapa de la misma; se puede utilizar cinta canela.

- Utilizar cintas de cartón para hacer un marco al espejo y vidrio para evitar que se quiebren fácilmente y favorecer el sellado hermético. El siguiente esquema (figura 3.13) muestra más claramente la estructura de la cocina:



Fuente: Gobierno de Aguascalientes, 2009
 Figura 3.13 Horno Solar de Caja

El procedimiento es muy sencillo y los materiales son fáciles de adquirir. La FES Aragón de la UNAM estima un costo de \$150.00 por un horno o cocina solar de caja (Planeta Azul, 2009); este costo varía según el lugar de adquisición de los materiales y la calidad de éstos.

b) Obtención del punto de equilibrio

Como se mencionó anteriormente; sólo $\frac{1}{4}$ del gas LP es utilizado en la cocina, lo cual representa un costo \$101.25 mensuales. Considerando este costo puede determinarse el tiempo en el cual la inversión por la cocina solar es recuperada, por medio de las siguientes ecuaciones:

Costo por el consumo de gas LP:

$$Y = 101.25X \quad (\text{ec. 3.17})$$

Costo de la cocina solar:

$$Y = \$150 \quad (\text{ec. 3.18})$$

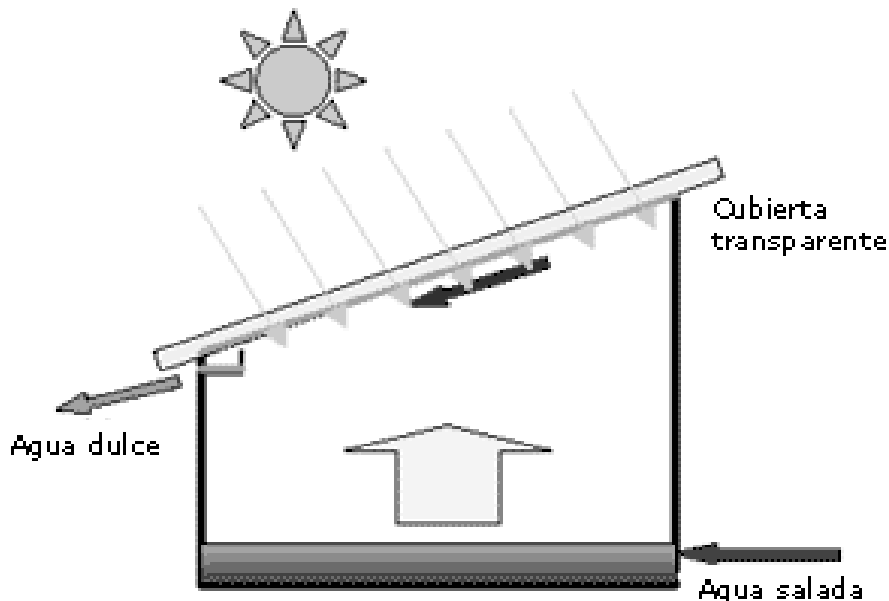
Igualando las ecuaciones 3.17 y 3.18 se tiene:

$$\$101.25X = \$150 \quad (\text{ec. 3.19})$$

Desalación de agua

Existen sistemas muy avanzados y con la última tecnología para realizar desalación de agua, inclusive pueden utilizarse celdas fotovoltaicas con la misma finalidad; sin embargo, para hacerlo a pequeña escala, existen sistemas sencillos y económicos convenientes para los asentamientos irregulares

El proceso de desalación propuesto para este documento consiste en calentar una cámara de aire recibiendo los rayos solares a través de un cristal transparente; éste se encuentra en un recipiente en el fondo del cual se encuentra el agua salada, al absorber la energía solar el agua se evapora y se condensa en la cara interior del cristal por la acción del viento; por medio de un canal y de la inclinación del cristal, se colecta el agua condensada en otro recipiente y las sales quedan depositadas en el fondo del primer recipiente. La figura 3.14 muestra el arreglo:



Fuente: <http://circe.cps.unizar.es/spanish/isgwes/spain/desala.pdf>

Figura 3.14: Sistema de desalación de agua salobre

Los materiales que se requieren son:

- Un recipiente amplio de vidrio grueso donde pueda ponerse el agua salada.
- Una cubierta de cristal transparente inclinada hacia el sol con un canal por el que pueda deslizarse el agua
- Un segundo recipiente que permita la recolección del agua recuperada

Este sistema es muy sencillo y puede fabricarse por los usuarios; es de bajo costo aunque éste varía según los materiales que se utilicen.

Secador solar de granos

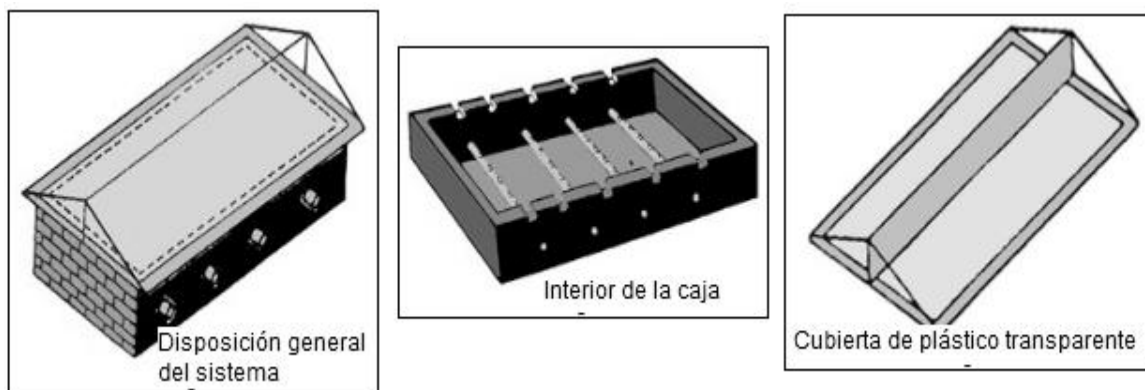
El Centro de Investigación en Energía (Bergues et al, 2009) estima el costo de los secadores solares de granos más baratos en 20 USD/m², el requerimiento del secador variará de un asentamiento a otro y de una vivienda a otra; esta tecnología sólo es aplicable a aquéllos que se dediquen a la agricultura.

En caso de requerirse este sistema, se deberá determinar la cantidad de granos que se secan al día y encontrar el tamaño óptimo del secador solar de granos que convenga, pues son prefabricados industrialmente.

Otra opción es la que propone el Instituto de Transferencias de Tecnologías Apropriadas para Sectores Marginales (ITACAB), que consiste en:

- a) Disponer de una caja negra con alta inercia térmica para evitar pérdidas de calor. Dentro de ella irán los granos
- b) La caja recibe los rayos solares directamente sobre los granos y a través de los espacios en su interior negro
- c) A través de la caja deberán acomodarse bambúes o tubos perforados que permitan el paso del aire al interior de la cámara caliente
- d) El aire pasa a través del grano y escapa por una serie de aberturas laterales
- e) La caja deberá tener una cubierta transparente de plástico enmarcado en madera con doble capa
- f) Es recomendable poner sobre los bambúes dos bandejas de malla de alambre para poner y sacar los granos con facilidad.

La siguiente figura (3.15) muestra el sistema más a detalle:



Fuente: ITACAB, 2009

Figura 3.15: Sistema de secado de granos con energía solar

Este sistema está cotizado para su uso individual en un costo de 15 USD, como se puede observar es un importe muy bajo y ya que la energía solar es gratuita sólo se debe invertir una vez; otro beneficio a considerar es que disminuye la humedad del grano de 12% a 25% en un día (ITACAB, 2009).

En el siguiente capítulo se evaluarán las propuestas recomendadas específicamente para el asentamiento irregular Ocotla para conocer la conveniencia de su empleo, haciendo un análisis de los costos y beneficios que cada una generaría.

Capítulo 4

Caso práctico: Ocotla

Con base en los estudios previamente mencionados (PMIC, 2002 y PEMA, 2007), entre agosto y diciembre de 2009 se realizó un proyecto que lleva por nombre “Programa de Reducción de Impacto Ambiental (PRIA)”, en el que participaron doce estudiantes de los últimos semestres de Ingeniería Industrial. El objetivo del PRIA fue analizar ambientalmente un asentamiento irregular (Ocotla) y proponer alternativas para reducir el impacto generado en el entorno.

Se eligió Ocotla como objeto de estudio por estar en la Delegación de Tlalpan, cercana a Ciudad Universitaria, tener datos previos para esta asentamiento irregular (PMIC, 2002), además de contar con uno de sus habitantes (Vladimir Fernández) como miembro del proyecto PRIA.

Para este estudio se realizaron dos visitas al asentamiento y una encuesta, por medio de las cuales se determinaron los principales problemas ambientales en los aspectos de: agua potable, agua residual, aire, residuos sólidos urbanos (basura), residuos peligrosos y riesgo ambiental.

A continuación se describe el asentamiento y su diagnóstico ambiental, para luego profundizar sobre las propuestas para el aprovechamiento de energía solar resultado de este estudio.

4.1 Características de Ocotla

Ocotla es un asentamiento irregular ubicado al suroeste de la Ciudad de México, en la delegación Tlalpan; esta delegación abarca 33,061Ha (7,635Ha de zona urbana y 25,426Ha de suelo de conservación), se considera un pulmón verde, consta de una gran diversidad de especies animales y vegetales y en ella se recargan los mantos acuíferos.

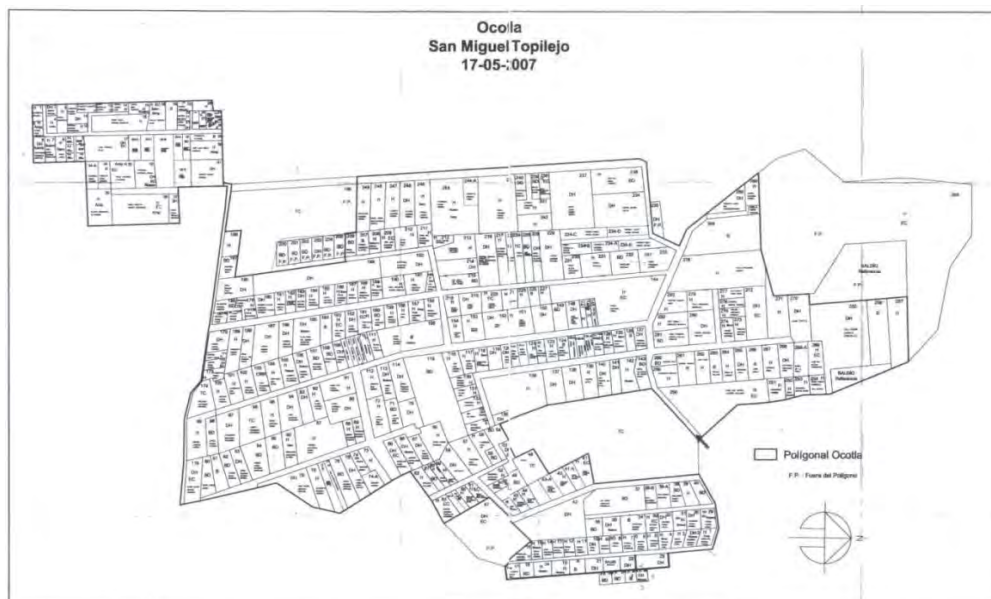
Ocotla se encuentra localizado dentro del pueblo San Miguel de Topilejo, a la altura del kilómetro 29 de la carretera Federal a Cuernavaca y tiene una superficie de 148,263m². Colinda al norte con un predio particular, al sur con San Miguel Tehuisco, al este con Ayometitla y al oeste con Ocotla Chico, siendo estos tres últimos asentamientos irregulares también. La figura 4.1 muestra una vista satelital del asentamiento.



Fuente: PRIA 2009, Google Earth

Figura 4.1 Vista satelital del asentamiento irregular Ocotla

Según la información proporcionada por la mesa directiva del asentamiento, Ocotla cuenta actualmente con 317 lotes (165 habitados, 88 deshabitados y 64 baldíos), 122 familias y 450 habitantes; con un promedio de cinco habitantes por vivienda (PRIA, 2009). La distribución de los lotes en el asentamiento se muestra en el plano de Ocotla (figura 4.2).



Fuente: PRIA 2009

Figura 4.2 Distribución de lotes en el asentamiento

Durante las visitas al asentamiento se observó que la población de Ocotla es social y económicamente heterogénea, por lo que las propuestas planteadas no pueden aplicarse homogéneamente a todas las viviendas.

4.2 Diagnóstico ambiental

Entre los problemas que se detectaron en el asentamiento están las calles no pavimentadas que se erosionan y generan contaminación por partículas, perros callejeros que defecan al aire libre, descarga de aguas residuales en la vía pública, animales de granja en calles y terrenos baldíos, abandono de materiales de construcción, basura en las calles y cilindros de gas en mal estado. La figura 4.3 muestra ejemplos de las situaciones descritas.



Figura 4.3 Diagnóstico Ocotla

Contaminación atmosférica. A pesar de que la contaminación atmosférica no es de gravedad dentro del asentamiento, el aire de esta zona se ha visto afectado por el entorpecimiento de su reoxigenación, la falta de

pavimentación de las calles, la quema de basura, las fugas de gas LP y la defecación de perros callejeros.

Las propuestas generales del PRIA para la mejora de Ocotla, en materia de contaminación atmosférica se encuentran la tabla 4.1 siguiente, a excepción de las relacionadas con el aprovechamiento de energía solar que se desglosan posteriormente.

Problema	Propuesta	Ventajas	Desventajas
Erosión	<i>Reforestación</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce la erosión • Restaura la zona boscosa • Permite la reoxigenación 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere colaboración vecinal • Requiere mantenimiento
	<i>Empedrado</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Evita la erosión de los suelos • Da valor estético a las calles • Permite la recarga del manto acuífero 	<ul style="list-style-type: none"> • Toma más tiempo empedrar que pavimentar.
Defecación al aire libre	<i>Esterilización canina</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuye la población de animales • Disminuye la cantidad de heces 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere colaboración vecinal
	<i>Dormición canina</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuye la cantidad de heces • Se evitan infecciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere colaboración vecinal
	<i>Control de quema de basura</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce los gases tóxicos • Reduce riesgos 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere colaboración vecinal
	<i>Instalaciones de gas adecuadas</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo • Fácil instalación • Ahorro de gas • Se disminuyen las fugas 	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguna
Contaminación por combustibles fósiles	<i>Fijar horarios a la combi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Mas vecinos utilizarían el servicio • Se reducirían emisiones 	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguna
	<i>Utilización de energía solar</i>	<ul style="list-style-type: none"> • No se utilizan combustibles (ahorro económico) • Se reducen emisiones contaminantes • Se evitan fugas de gas 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado costo inicial
General	<i>Campaña informativa</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Promueve la colaboración • Es la forma más rápida de informar y capacitar 	<ul style="list-style-type: none"> • No funciona si existe apatía vecinal

Fuente: PRIA, 2009

Tabla 4.1: Propuesta de solución a los problemas de contaminación atmosférica

Al momento de la elaboración del PRIA no se profundizó en la alternativa de energía solar; sin embargo, para propósitos de esta tesina, es la propuesta que se desarrollará a continuación.

4.3 Propuestas

Como se menciona en el capítulo 3, la energía solar puede ser aprovechada como energía eléctrica o térmica; de estas alternativas, se proponen para Ocotla los paneles fotovoltaicos, el calentador solar de agua y la cocina solar, debido a su forma de vida y actividades cotidianas.

4.3.1 Panel fotovoltaico

Ocotla cuenta con instalaciones eléctricas; sin embargo, debido a la alta insolación que existe en esta zona, los paneles solares resultan una buena opción para reducir el consumo eléctrico convencional. Con base en el análisis presentado en el capítulo 3, los paneles solares que se proponen para Ocotla deberán ser diseñados según lo siguiente:

a) Ubicación geográfica. Ocotla se encuentra ubicado a la misma latitud que Tlalpan, es decir $19^{\circ}18''$, por lo tanto la inclinación de los paneles deberá ser de 19° orientados hacia el sur.

b) Demanda de energía: Se considerará una demanda de 1000 W; según se explicó en el capítulo 3.

1. Número de módulos fotovoltaicos. A partir de la ecuación 3.3 y asumiendo que cada panel tiene una capacidad de 200 W:

$$\text{Núm. de paneles en paralelo} = \frac{1000W}{200W} = 5 \text{ paneles}$$

2. Cálculo de la capacidad de las baterías. Como se propone una conexión bidireccional con la red eléctrica de CFE, las baterías no son requeridas. No fue posible determinar el procedimiento a seguir para lograr la conexión a la red de CFE.

3. Cálculo de la sección del conductor. Para el caso de una vivienda conectada a la red de distribución de CFE y tomando en cuenta el tamaño de las viviendas de Ocotla, se requiere un cableado de cobre de aproximadamente 10 metros, con resistividad de $0.01786 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$, caída de tensión de 0.5 volts e intensidad de corriente de 50 [A] (Gimeno, 2002). Considerando la ecuación 3.5:

$$S = \frac{2 \cdot 10 \cdot 50}{56 \cdot 0.5} = 35.71 \text{ mm}^2$$

El diámetro de cable de 35.7 mm² equivale aproximadamente a un alambre de cobre calibre 2 AWG (Electricidad básica, 2009); el precio por metro es de \$116.91 y como se requieren aproximadamente 10 metros por vivienda, el costo total es de \$1,169.10.

4. Convertidor de corriente. El convertidor de corriente directa a corriente alterna tiene un costo de \$479.00 (Mercado Libre, 2009a).

5. Costo de los paneles. Para determinar el costo de los paneles solares de 1000W, se consideraron las 5 cotizaciones que se presentan en la tabla 4.2, disponibles en México.

Opción	Potencia [W]	Número de paneles	Costo [M.N. 2009]	Fuente
1	120	9	unitario: 10,948.5* total: 98,536.5	Proenergy, 2009
2	125	8	unitario: 8,585 total: 68,680	Vivastreet, 2009a
3	130	8	unitario: 10,395* total: 83,170	Energía-solar 2009a
4	200	5	unitario: 9,380 total: 46,900	Energía-Solar 2009a
5	205	5	unitario: 14,525 total: 72,625	Vivastreet, 2009b

*Precios en dólares. Conversión al momento de la investigación: 1USD= \$13.50

Tabla 4.2 Cotización de paneles solares en México

Con base en la cotización se identifica como mejor alternativa para Ocotla la que se muestra sombreada en la tabla 4.2, resultando un costo de \$46,900.

6. Costo total del sistema de captación solar. El sistema deberá incluir el cableado, el convertidor y los paneles (ecuación 3.6):

$$\text{Costo total del sistema} = \$46,900 + \$1,169.1 + \$479 = \$48,548.10$$

Los paneles solares tienen un tiempo medio de vida útil de 25 años; pero empleando un escenario fatalista de 20 años, con la ecuación 3.7, se calcula un costo anual de:

$$\text{Costo anual del sistema} = \frac{\$46,900}{20[\text{años}]} = 2,427.405 \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

y:

$$\text{Costo mensual del sistema} = \frac{24,27.05 \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]}{12 \left[\frac{\text{meses}}{\text{año}} \right]} = 202.28 \left[\frac{\$}{\text{mes}} \right]$$

El monto a pagar mensualmente es bajo, el mantenimiento de los paneles consiste únicamente en su limpieza y se ahorraría el gasto de la electricidad, pues se asume que los 1000 W serán suficientes para cubrir el requerimiento de energía de la vivienda. De no ser así, la energía extra que se consuma desde la red de distribución de CFE se cobrará con la tarifa 1A, que es la que se aplica a bajo consumo doméstico; esta tarifa consiste en \$ 0.603 por cada kilowatt hora (CFE, 2009b). Con esta tarifa, el pago mensual con un consumo promedio de 675 kWh es de \$407.25 (cuyo cálculo se muestra a continuación)

c) Obtención del punto de equilibrio. Según el procedimiento mencionado en el capítulo 3, es posible determinar el tiempo en el cual se recupera la inversión. El costo del panel fotovoltaico es (ec 3.8):

$$Y = \$48548.10$$

El costo de consumo energético convencional (ecuación 3.9) será:

$$Y = (675kWh) \left(0.603 \frac{\$}{kWh} \right) X = \$407.025X$$

igualando ecuaciones y despejando la X :

$$\$48548.10 = (\$407.025)X$$

$$X = \frac{\$48548.10}{\$407.25} = 119.27 \text{ meses}$$

La figura 4.4 muestra la intersección de las ecuaciones; punto que representa el equilibrio entre ambas y la recuperación de la inversión.

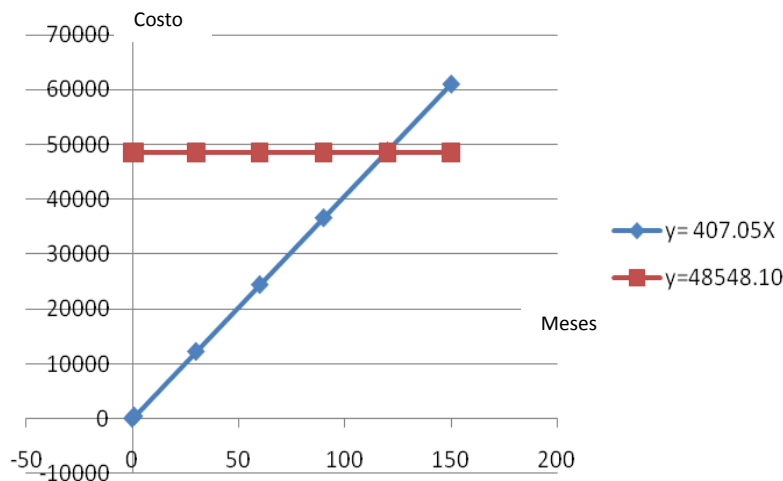


Figura 4.4 Punto de equilibrio del panel fotovoltaico

En 119 meses, aproximadamente 10 años, el usuario recupera su inversión y comienza a obtener un beneficio económico. Por lo tanto, es conveniente

optar esta propuesta cuando el consumo energético actual es mayor o aproximadamente 202.28 \$/mes.

4.3.2 Calentador solar de agua

Según las encuestas realizadas, para calentar el agua para bañarse la gente en Ocotla utiliza principalmente gas LP, lo que trae como consecuencia la emisión de contaminantes al ambiente y fugas ocasionadas por las instalaciones precarias. Como se mencionó en el capítulo 3, el promedio de consumo de gas LP es de 405\$.

Una alternativa conveniente para obtener agua caliente sin generar emisiones y para ahorrar dinero es la utilización de calentadores solares de agua, cuyo precio es accesible y tiene la capacidad para cubrir las necesidades de una familia promedio de Ocotla. Para este cálculo se consideró que el agua caliente se utilizará únicamente para el baño; lo cual representa un gasto de 40 litros al día por habitante (Eroski, 2002). Con estos datos y la ecuación 3.11, la capacidad del calentador debe ser:

$$\text{Capacidad del calentador} = 5 * 40 = 200 \text{ litros}$$

El costo de los calentadores disponibles en el mercado nacional se muestra en la tabla 4.3.

Opción	Capacidad[Its] (tecnología)	Costo [M.N. 2009]	Fuente
1	200 (Gravedad)	14,300	Mercado libre, 2009b
2	150 litros (Gravedad)	6,195	Energía-Solar, 2009b
3	150 litros (Gravedad)	8 150	Vivastreet, 2009b
4	200 litros (Gravedad)	13,731	Funcosa, 2009
5	200 litros (A presión)	23,503	Funcosa, 2009
6	250 litros (Gravedad)	11,124	Solarex, 2009

Tabla 4.3 Cotización calentadores solares de agua

La opción más adecuada es la que ofrece la empresa Solarex con un costo de \$11,124, ya que a pesar de sobrepasar la capacidad requerida (lo que permitiría contar con más agua caliente utilizable), su costo es inferior.

a) Costo mensual. La vida útil de los calentadores solares varía de 15 a 20 años; considerando 15 años y aplicando la ecuación 3.12 el costo total se traduce en un costo anual de:

$$\text{Costo anual del calentador} = \frac{11,124[\$]}{15[\text{años}]} = 741.6\left[\frac{\$}{\text{año}}\right]$$

o, mensualmente:

$$\text{Costo mensual del calentador} = \frac{741.6\left[\frac{\$}{\text{año}}\right]}{12\left[\frac{\text{meses}}{\text{año}}\right]} = \$61.80\left[\frac{\$}{\text{mes}}\right]$$

Como se mencionó en el capítulo 3, la utilización de estos calentadores reduciría el gasto de gas LP a un 25%, que se utiliza para cocinar. Entonces, el costo mensual aproximado sería el del calentador más el 25% del costo actual de gas LP; además de que el gasto de gas LP y las emisiones contaminantes se ven reducidas por el uso de un calentador solar.

b) Obtención del punto de equilibrio. Si el costo del calentador solar es de \$11,124.00 y al mes se pagará \$101.25 (25% del costo actual) de consumo de gas para cocinar; considerando que el consumo mensual actual es de \$405 al mes, se puede determinar el número de meses en los que se recupera la inversión de la siguiente forma (X representa el número de meses y Y el costo):

Para el calentador solar se toma la ecuación 3.14:

$$Y = 11,124 + 101.25X$$

Para el consumo de gas LP actual, la ecuación 3.15:

$$Y = 405X$$

igualando y despejando X de las ecuaciones anteriores:

$$11124 + 101.25X = 405X$$

$$X = \frac{11124}{303.75} = 36.62 \text{ meses}$$

La figura 4.5 muestra el punto de equilibrio en donde se recuperará la inversión (36.6 meses). Es decir, en aproximadamente 3 años, el usuario se verá beneficiado económicamente.

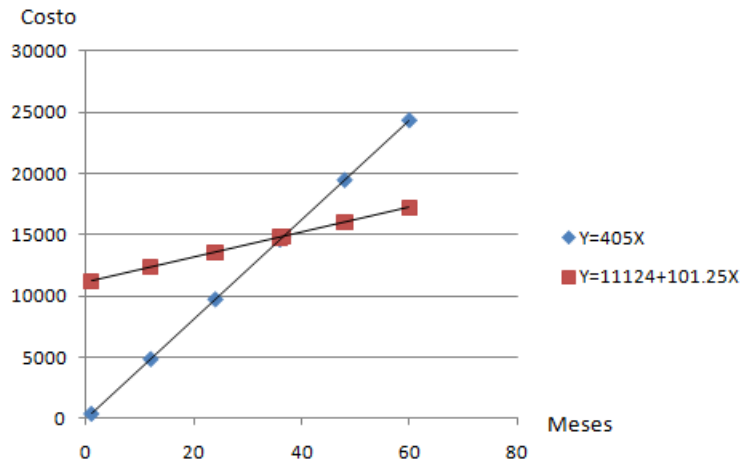


Figura 4.5 Punto de equilibrio del calentador solar

4.3.3 Cocina solar

a) Procedimiento: Se recomienda para Ocotla la construcción casera de un horno solar de caja, cuyo procedimiento fue mencionado en el capítulo 3. Los costos de estas cocinas solares varían, pero se estima de \$150 si se consiguen materiales económicos y podrían durar hasta 5 años (dato supuesto, variable según los materiales).

b) Obtención del punto de equilibrio. Para conocer el tiempo en el que se recupera la inversión de la cocina solar se parte de la ecuación 3.19 que representa el costo mensual de gas LP para cocinar:

$$Y = 101.25X$$

Posteriormente se considera el costo de la cocina solar (ec. 3.20):

$$Y = \$150$$

Igualando y despejando las ecuaciones anteriores:

$$\begin{aligned} \$101.25X &= \$150 \\ X &= \frac{\$150}{\$101.25} = 1.48 \text{ meses} \end{aligned}$$

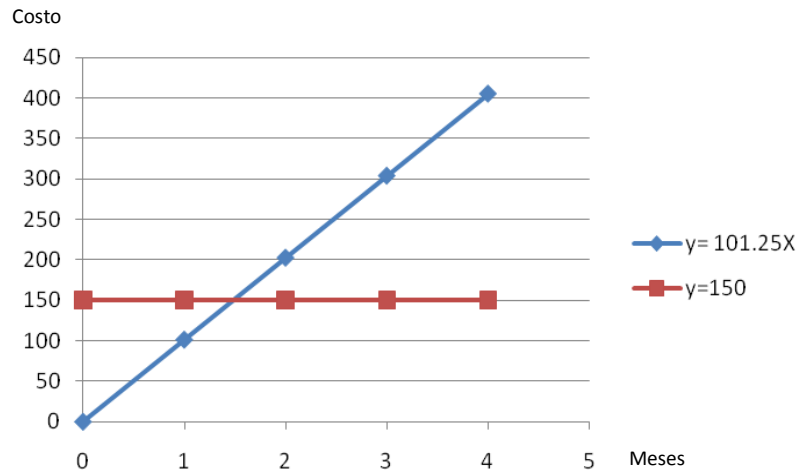


Figura 4.7 Punto de equilibrio de la cocina solar

Como se puede observar en la figura 4.7, el punto de equilibrio es de aproximadamente un mes y medio; es decir, el beneficio económico es casi inmediato.

Propuestas. En las tres opciones mencionadas en el presente capítulo la inversión se recupera en un tiempo menor que la vida útil de los sistemas propuestos (como se muestra en la tabla 4.4). Para el presente documento no se consideraron gastos de instalación.

Sistema	Tiempo de vida útil [años]	Costo inicial [\$]	Tiempo de Recuperación de la inversión [años]
Panel solar	25	48,548	10
Calentador de agua	15	11,124	3
Cocina solar	5	150	0.125

Tabla 4.4 Resumen de las propuestas

Los habitantes de Ocotla podrían verse beneficiados económicamente por la utilización de estas alternativas pues su inversión se recupera en el tiempo.

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

La energía solar es una fuente energética limpia y renovable que ocasiona beneficios ambientales y económicos a largo plazo, su utilización sustituye la combustión de materiales que emiten gases y partículas contaminantes que dañan a los ecosistemas y a la salud del ser humano.

La energía solar puede ser transformada en energía térmica o eléctrica según sea necesario su aprovechamiento, como calor o electricidad, respectivamente; en los asentamientos irregulares puede utilizarse de ambas formas y en distintos sistemas; puede emplearse, entre otras cosas en calentadores de agua, cocinas, celdas fotovoltaicas, secadores de granos y desalinizadores de agua.

En Ocotla se puede usar para cocinar, calentar agua y generar energía eléctrica, los costos de estos sistemas varían del más económico (cocina solar) al más caro (celdas fotovoltaicas), sin embargo la inversión se recupera con el tiempo y, si pudieran conseguirse facilidades de pago, se vuelve una alternativa accesible para muchos de sus habitantes.

1. Factibilidad técnica

Los sistemas de colección solar aún no alcanzan una alta eficiencia y necesitan grandes espacios para transformar energía suficiente para cubrir los requerimientos energéticos. Para elevar su eficiencia es recomendable que los rayos solares lleguen libres y directos a las superficies de captación, por lo que se deben ubicar en lugares alejados de las sombras de árboles o edificios altos que interfieran con la radiación solar.

La Ciudad de México tiene una insolación promedio de 5.3 KWh/m², es una de las zonas del país con más alto índice de insolación y de contarse con los sistemas adecuados podría satisfacerse gran parte de la necesidad energética de sus habitantes; sin embargo la mayor parte de la Ciudad no cuenta con las características idóneas para una captación eficiente de energía solar.

Si bien Ocotla se encuentra dentro del territorio de la Ciudad de México, en esta zona la libre recepción de la radiación solar sí es posible, ya que no cuenta con edificaciones muy altas que pudieran reflejar la radiación hacia afuera de la atmósfera. Habiendo analizado las características del lugar se puede deducir que la utilización de energía solar sí es técnicamente factible como alternativa de generación energética utilizando los siguientes sistemas de captación:

- Cocinas solares que pueden fabricarse por los mismos usuarios, tienen un costo aproximado de \$150.00
- Calentadores solares de agua con un costo de \$11,124.00, que cubren la necesidad de agua caliente para baño en una vivienda de 5 personas
- Páneles solares con un costo de \$48,548.00, suficientes para cubrir la necesidad de energía eléctrica por 1000 W

Los sistemas solares que se utilicen en Ocotla deberán inclinarse a 19° con respecto al suelo, apuntar hacia el sur y tendrán que colocarse en la intemperie.

2. Factibilidad ambiental

Ocotla presenta problemas de contaminación atmosférica que no pueden ser mitigados con la utilización de energía solar, como la defecación al aire libre de animales callejeros y la erosión de los suelos; sin embargo los contaminantes emitidos al generar calor por medio de combustión de gas LP, leña y basura, que desprenden partículas y gases dañinos a la salud y al medio, podrían disminuirse o evitarse con esta forma energética.

El impacto ambiental generado por los sistemas de captación solar no es nulo, se utilizan materiales que pudieran generar residuos peligrosos (como el silicio), y se gasta energía y transporte en su fabricación; sin embargo el daño es menor que el ocasionado por otras fuentes, para este fin no se utilizan combustibles fósiles por lo que puede considerarse una energía limpia; por otro lado, la utilización de la energía solar para producir calor no despiden ninguna emisión, por lo que se considera que su utilización es ambientalmente recomendable.

3. Factibilidad económica

La propuesta de cocina solar tiene un costo de \$150.00, cantidad que se recupera en aproximadamente un mes y medio, por lo que se considera una inversión accesible para casi todos los habitantes de los asentamientos, asimismo su construcción puede abarataarse si se utilizan materiales reciclados. El calentador de agua cuesta \$11,124.00, la inversión inicial de éste se recupera en aproximadamente tres años y se dejaría de gastar en gas LP. Estos dos sistemas de captación de energía solar son económicamente recomendables, pues generan un ahorro a mediano plazo. De utilizarse ambas podría eliminarse por completo el uso de gas LP lo que generaría un ahorro.

Los paneles solares implican una inversión inicial de \$48,548.00; no resultan accesibles a todos los habitantes del asentamiento por tratarse de una cantidad elevada para hacerse en una sola exhibición; sin embargo su empleo reduciría el gasto de energía eléctrica y a largo plazo (10 años aproximadamente) generaría un beneficio económico. Esta alternativa es económicamente factible para los habitantes con mayor poder adquisitivo.

Actualmente el gobierno está interesado en reducir las emisiones contaminantes del país, en parte por ser cede y participante en la COP 16 (Cooperación de las partes) que es una cumbre internacional del cambio climático. Si éste invirtiera en colocar paneles solares en los asentamientos irregulares, que pudieran conectarse a la red de distribución eléctrica, esta propuesta sería factible económicamente para más habitantes. Sin embargo, aún no ha sido posible determinar el mecanismo a seguir para realizar esta propuesta.

Conclusiones generales

En general puede concluirse que:

- La utilización de energía solar en Ocotla sí es factible técnica, ambiental y económicamente.
- Ocotla tiene las características adecuadas para captar energía solar por sus amplios espacios y construcciones bajas.
- Se encuentra localizado en un lugar de alta insolación, los sistemas solares deberán orientarse al sur y a una inclinación de 19° para su mayor aprovechamiento.
- El uso de la energía solar generaría beneficios ambientales por sustituir la combustión de gas LP, leña y basura, evitando la contaminación por partículas.
- Al usar los sistemas descritos se obtiene un ahorro económico a largo plazo, pues no se utilizan combustibles y la inversión inicial es recuperada con el tiempo.
- De llevar a cabo las propuestas mencionadas en este documento, es necesario considerar el aspecto social; las costumbres y hábitos de las comunidades pueden impedir la introducción de este tipo de tecnologías por desconocimiento.

Recomendaciones:

- Para fines de este proyecto, se utilizaron datos promedio y se generalizó el diseño de los sistemas para todo el asentamiento; conviene hacer un estudio específico de la vivienda que vaya a adquirir uno de estos sistemas.
- En caso de realizarse otro estudio de este tipo se recomienda incluir en la encuesta preguntas sobre consumo energético; en este caso no se tenían dichos datos por lo que se utilizó un estimado de 1000 W como demanda energética.
- Es recomendable que al realizar próximos estudios como el PRIA, se hagan más visitas al asentamiento y se realice una observación más detallada, para conocer en qué medida las construcciones permiten o no la adaptación de estos sistemas.

Es necesario que se siga investigando y desarrollando la tecnología para el aprovechamiento de la energía solar, reducir sus costos, aumentar su eficiencia y generar más beneficios; sin embargo ya es una alternativa aprovechable que tendrá un impacto positivo sobre el ambiente, la salud y la economía.

Fuentes de información

Acomee, *Cable de cobre desnudo*, México, [consultado 30 de octubre de 2009], disponible en internet: <http://www.acomee.com.mx/producto.fwx?idprodu=194&categoria=0&usuario=&idc=arrit>

Agri-Nova, *Desalinización de aguas de riego con energía solar*, Infoagro systems, [consultado 18 de noviembre de 2009], disponible en internet: http://www.infoagro.com/riegos/energia_solar.htm

Almanza Salgado Rafael, MUÑOS Gutiérrez Felipe, *Ingeniería de la energía solar*, El Colegio Nacional, México, 1994.

ANES, *Energías Renovables*, Asociación Nacional de Energía Solar. México, [consultado 3 de octubre de 2009], disponible en internet: http://www.anes.org/anes/index.php?option=com_wrapper&Itemid=11

Armstrong Fanny, *The Age of Stupid*, Spanner Films, Inglaterra, 25 de Septiembre de 2009, Compañía distribuidora: Cinemex.

ATSDR, *Aire: Los tipos principales de contaminación atmosférica*, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, [consultado 15 de septiembre de 2009], disponible en internet: http://www.atsdr.cdc.gov/es/general/aire/tipos_contaminacion.html

Bergues Ciro, Griñán Pedro, Fonseca Susana, Abdala Jorge, Hernández Geovannis, *Construcción y evaluación del secador solar de granos a escala industrial de 3 m² en condiciones de explotación*, Centro de Investigaciones de Energía Solar, Chile, [consultado 23 de noviembre de 2009], disponible en internet: <http://www.uo.edu.cu/ojs/index.php/tq/article/viewFile/684/527>

Bodisol, *El calentamiento Global*, México, [consultado 8 de septiembre de 2009], disponible en internet: <http://www.bodisol.com/medio-ambiente/el-calentamiento-global-que-es-el-calentamiento-global-efecto-invernadero-cambio-climatico-medio-ambiente-gases-contaminantes/>

Blog de energía solar fotovoltaica concentrada, [consultado 1 de noviembre de 2009], disponible en internet: <http://www.energiafotovoltaicaconcentrada.info/info/>

BOUBEL Richard, FOX Donald, TURNER Bruce and STERN Arthur, *Fundamentals of air pollution*, 3rd edition, USA, 1994

BP, *BP Statistical Review of World Energy June 2009*, Estados Unidos, 2009, disponible en internet: http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_a

[nd_publications/statistical energy review 2008/STAGING/local assets/2009_downloads/statistical review of world energy full report 2009.pdf](http://nd_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/2009_downloads/statistical_review_of_world_energy_full_report_2009.pdf)

CECU, *Energía solar fotovoltaica*, Proyecto RES & RUE Dissemination de la Confederación de Consumidores y Usuarios, España, [consultado 1 de noviembre de 2009], disponible en internet: <http://www.ceu.es/campanas/medio%20ambiente/res&rue/htm/dossier/2%20fotovoltaica.htm#9.%20Impacto%20ambiental%20de%20la%20energ%C3%ADa%20solar%20fotovoltaica>

CEPIS, *Hacia una historia de la contaminación del aire*, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), [consultado 13 de septiembre de 2009], disponible en internet: <http://www.cepis.org.pe/bvsci/e/fulltext/toxicol/leccion1.pdf>

CFE, *Estadísticas*, Comisión Federal de Electricidad, México, 2009a, disponible en internet: <http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/queescfe/Estad%C3%ADsticas/>

CFE, *Conoce tarifa*, Comisión Federal de Electricidad, México, 2009b, disponible en internet: <http://www.cfe.gob.mx/aplicaciones/ccfe/tarifas/tarifas/Tarifas.asp?Temporada=Verano&tarifa=DACTAR1A&Anio=2009&Periodo=-1&mes2=&imprime=>

Ciencia al día, *Nace la primera empresa que fabrica cocinas solares*, blog de World Press, [consultado 18 de noviembre de 2009], disponible en internet: <http://cienciaaldia.wordpress.com/2009/03/16/nace-la-primer-empresa-espanola-que-fabrica-cocinas-solares/>

CONAE, *La energía solar fotovoltaica*, Proyecto RES & RUE Dissemination de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, México, [consultado 4 de octubre de 2009a], disponible en internet: <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4506/2/fotovoltaica.pdf>

CONAE, *Sistemas térmicos solares*, Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, México, [consultado 30 de octubre de 2009b], disponible en internet: <http://www.energia.inf.cu/iee-mep/WWW/www.conae.gob.mx/renovables/fototermica.html>

CONUEE, *Programa de venta: Calentadores Solares*, Comisión Nacional de Uso Eficiente de Energía, México, [consultado 20 de noviembre de 2009], disponible en internet: http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_1472_que_son_los_calenta

COPO, *Día Mundial del Hábitat*, Consejo de Población del Distrito Federal, México, 2004, disponible en internet: http://www.copo.df.gob.mx/calendario/calendario_2004/octubre/habitat.html

CORETT, *Comisión para la Regularización de la Tenencia de la Tierra*, México, [consultado 11 de septiembre de 2009], disponible en internet: <http://www.corett.gob.mx/>

Davis Mackenzie Leo, *Introduction to environmental engineering*, Mc Graw Hill Higher Education, Boston 1998

Ecologistas en acción, *Impacto medioambiental de la producción de ESFV*, España, [actualizado junio de 2007], disponible en internet: <http://www.ecologistasenaccion.org/spip.php?article10057&artsuite=1>

Electricidad básica, *Fundamentos básicos sobre electricidad: Tabla de calibre de los conductores*, [consultado 30 de octubre de 2009], disponible en internet: <http://www.electricidadbasica.net/calibrealambres.htm>

Energía-Solar, *Catálogo: panel solar*, México, [consultado 30 de octubre de 2009a], disponible en internet: <http://energia-solar.com.mx/tienda/index.php?cPath=22&sort=2a&page=1>

Energía-Solar, *Catálogo: calentadores solares*, México, [consultado 20 de noviembre de 2009b], disponible en internet: <http://energia-solar.com.mx/tienda/index.php?cPath=28>

EPSEA, *Capítulo 1: La radiación solar*, El Paso Solar Energy Association, Texas, [consultado 1 de noviembre de 2009], disponible en internet: <http://www.epsea.org/esp/pdf2/Capit01a.pdf>

Eroski, *Reducir el gasto de agua*, Fundación Eroski, España, 2002, disponible en internet: http://www.consumer.es/web/es/economia_domestica/servicios-y-hogar/2002/02/06/37709.php

FAO, *Sistemas de secado*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, [consultado 18 de noviembre de 2009], disponible en internet: <http://www.fao.org/docrep/X5028S/X5028S08.htm>

Funcosa, *Calentadores solares: lista de precios*, Funcosa S.A. de C.V., México, [consultado 20 de noviembre de 2009], disponible en internet: <http://www.funcosa.com.mx/descargas/pdf/cat/calentadores.pdf>

Galarza Claudia , *Sistemas Térmicos solares*, CONAE, 24 de septiembre de 2008, disponible en internet: http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_630_termosolar

Gimeno Francisco, Seguí Salvador y Orts Salvador, *Convertidores electrónicos: Energía solar fotovoltaica, aplicaciones y diseño*, Universidad Politécnica de Valencia, España, 2002.

Gobierno de Aguascalientes, *Horno solar de caja: Manual de elaboración*, Serie Comunidad Sustentable, México, [consultado 23 de noviembre de 2009],

disponible en internet:
<http://www.municipiopabellonags.gob.mx/documentos/transparencia/TECNOLOGIAS%20EN%20TU%20VIVIENDA/HORNO%20SOLAR%20DE%20CAJA0001.pdf>

Guía virtual de la ciudad de México, *Perfil de la ciudad*, México, [consultado 30 de octubre de 2009], disponible en internet: <http://www.mexicocity.com.mx/perfil.html>

IIE, *Sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica*, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Gobierno del estado de Baja California, México, [consultado 31 de octubre de 2009], disponible en internet: <http://genc.iie.org.mx/genc/fotovoltaico/pdfs/Vecindario%20Fotovoltaico.pdf>

INEGI, *Localidades con mayor población a 50000 habitantes*, INEGI, México, [consultado 12 de octubre de 2010], disponible en internet: <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/censal/09.pdf?c=1207&e=09&CFID=1100597&CFTOKEN=87654296>

ITACAB, *Ficha tecnológica: Secador solar de granos*, Centro de Recursos para la Transferencia Tecnológica, Estados Unidos, [consultado 23 de noviembre de 2009], disponible en internet: http://www.itacab.org/adminpub/web/index.php?mod=ficha&ficha_id=166

Jancovici Jean-Marc, *Could we totally substitute oil by biofuels?*, Manicore, Francia, 2003, disponible en internet: http://www.manicore.com/anglais/documentation_a/carb_agri_a.html

Kaplan George, *Understanding solar concentrators*, VITA, Estados Unidos, [consultado 23 de noviembre de 2009], disponible en internet: http://www.cd3wd.com/cd3wd_40/vita/solrconc/ES/SOLRCONC.HTM

LGEEPA, *Ley general de equilibrio ecológico y protección al ambiente*, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), DOF, México, 28 de enero de 1998, disponible en internet: http://www.conanp.gob.mx/pdf/leygra_ equilibrio.pdf

Manrique José, *Energía Solar: Fundamentos y aplicaciones fototérmicas*, Harla, México 1984

Martínez Hernández Domilio, *Control digital para convertidor multinivel alimentado con energía solar, Capítulo 2: Funcionamiento de las celdas solares*, Universidad de las Américas Puebla, México, 11 de mayo de 2006, disponible en internet: http://caterina.udlap.mx/udla/tales/documentos/meie/martinez_h_d/capitulo2.pdf

Medina Elizalde Martín, *Aspectos confusos sobre el calentamiento global*, La Jornada Ciencias, México, [consultado 8 de septiembre de 2009], disponible en internet: <http://ciencias.jornada.com.mx/ciencias/investigacion/ciencias-de-la-tierra/investigacion/aspectos-confusos-sobre-calentamiento-global>

Mercado Libre , *Inversor de corriente 200Watt Rally*, México, [consultado 30 de octubre de 2009a], disponible en internet: <http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-33980567-inversor-de-corriente-200watt-rally- JM>

Mercado Libre, *Calentador solar de agua por gravedad*, México, [consultado 20 de noviembre de 2009b], disponible en internet: <http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-34268261-calentador-solar-de-agua-por-gravedad-200-litros- JM>

Mollá Ruiz Gómez Manuel, *El crecimiento de los asentamientos irregulares en áreas protegidas. La delegación Tlalpan*, Instituto de Geografía, UNAM. México 2006, disponible en internet: <http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/boletin/bol60/b60art5.pdf>

NMSU, *Insolación global en México Tabla A-1*, International Renewable Energy at the New Mexico State University, Estados Unidos de América, [consultado 31 de octubre de 2009], disponible en internet: http://solar.nmsu.edu/wp_guide/Apen_A.htm

NRDC, *Contaminación de partícula*, Natural Resources Defense Council, USA, [consultado 2 de octubre de 2009], disponible en internet: <http://www.nrdc.org/greengate/espanol/air/particlev.asp>

Pedroza Serrano José Luis, *Infraestructura para la medición de la calidad del aire en la Ciudad de México*, CEPIS, México, [consultado 16 de octubre de 2010], disponible en internet: <http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/caliaire/mexicon/R-0037.pdf>

PEMA, *Programa Estratégico de Manejo Ambiental*, Reporte del proyecto elaborado para la Delegación Tlalpan del Gobierno del Distrito Federal por la Coordinación de Estudios de Prograco de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, México, 2007.....

Planeta Azul, *Con 150 pesos se puede armar un eficiente horno solar casero*, Planeta Azul: Periodismo ambiental, México, 2009, disponible en internet: <http://www.planetaazul.com.mx/www/2009/07/06/con-150-pesos-se-puede-armar-un-eficiente-horno-solar-casero/>

PMIC, *Programa de Manejo Integral de Contaminantes*, Reporte del proyecto elaborado para la Delegación de Tlalpan del Gobierno del Distrito Federal por la Coordinación de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, México 2002.

Pontificia Universidad Católica de Chile, *Contaminación Atmosférica*, Chile, [consultado 1 de septiembre de 2009], disponible en internet: http://www.uc.cl/sw_educ/contam/fratmosf.htm

PRIA, *Programa de Reducción de Impacto Ambiental*, Coordinación de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, 2009.

Proenergy, *Catálogo: celdas fotovoltaicas*, México, [consultado 30 de octubre de 2009], disponible en internet: <http://www.proenergy.com.mx/productos.php>

PVEM, *Contaminación atmosférica*, Partido Verde Ecologista de México, México, [consultado 27 de septiembre de 2009], disponible en internet: http://www.pvem.org.mx/web/index.php?option=com_content&task=view&id=239

Ramos Berumen Carlos, *Prospectiva de las Tecnologías Termosolares a Concentración para la Generación de Potencia Eléctrica*, SENER: Secretaría de Energía, México, marzo de 2005, disponible en internet: http://www.sener.gob.mx/webSener/res/168/A4_Termsol.pdf

Rau Hans, *Energía Solar: Aplicaciones prácticas*, Boixareu Editores, España, 1984.

RENA, *Radiación Solar en el Planeta Tierra*, Red Escolar Nacional del Gobierno Bolivariano de Venezuela, 2008, disponible en internet: <http://www.rena.edu.ve/cuartaEtapa/cienciasTierra/Tema6.html>

Rosas Aispuro Torres José, *Con punto de acuerdo, relativo a los subsidios al gas natural*, PRI, México, 2007, disponible en internet: http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2007/03/asun_2320361_2007_0313_1173914993.pdf

Sánchez Barrientos Edgar, *La expansión urbana en suelo de conservación: Asentamientos humanos irregulares*, [consultado 1 de septiembre de 2009], disponible en internet: http://www.metropoli.org.mx/htm/areas/0/sanchez_barrientos.pdf

Schlumberger, *Historia del cambio de Temperatura*, [consultado 8 de septiembre de 2009], disponible en internet: http://199.6.131.12/es/scictr/watch/climate_change/change.htm

SENER, *Acerca del gas L.P.*, Secretaría de Energía, México, [consultado 27 de septiembre de 2009], disponible en internet: <http://www.sener.gob.mx/webSener/portal/index.jsp?id=446>

SMA, *Informe de la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México. (1900-2007)*, Secretaría del Medio Ambiente, México, [consultado 1 de septiembre de 2009], disponible en internet: http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/informe_anual_calidad_aire_2007.pdf

Solarex, *Agua caliente en su hogar*, Casa Solarex, México, [consultado 23 de noviembre de 2009], disponible en internet:

http://www.casasolarex.com.mx/index.php?option=com_salamandracotizador&view=sugerencia&id=529&Itemid=84

The Green Gate, *Contaminación de partículas*, [consultado 2 de octubre de 2009], disponible en internet: <http://www.nrdc.org/greengate/espanol/air/particlev.asp>

Todo Arquitectura, *Cuaderno 5: Asentamientos urbanos irregulares*, Revista digital, [consultado 11 de septiembre de 2009], disponible en internet: http://www.todoarquitectura.com/revista/38/sp03_Cuaderno5.asp

Tutorvista, *Solar Cooker*, [consultado 18 de noviembre de 2009], disponible en internet: <http://www.tutorvista.com/content/science/science-ii/sources-energy/solar-cooker.php>

Valero Antonio, Uche Javier, Serra Luis, *La destilación como alternativa al PHN*, España, [consultado 20 de noviembre de 2009], disponible en internet: <http://circe.cps.unizar.es/spanish/isgwes/spain/desala.pdf>


Vivastreet, *Panel solar, energía solar, panel fotovoltaico*, Vivastreet Clasificados, México, [consultado 30 de octubre de 2009a], disponible en internet: <http://anuncios-venta.vivastreet.com.mx/avisos-venta+los-monchis/panel-solar--energia-solar--panel-fotovoltaico/18574168>

Vivastreet, *Vendo paneles solares, inversores, controladores y más*, Maquinaria agrícola en vivastreet, México, [consultado 3 de noviembre de 2009b], disponible en internet: <http://maquinas-agricolas.vivastreet.com.mx/equipo-agricola+miguel-hidalgo/vendo-paneles-solares-inversores-controladores/17995034>

Vivastreet, *Calentador solar para agua, Accesorios de casa* en Vivastreet, México, [consultado 20 de noviembre de 2009c], disponible en internet: <http://accesorios-casa.vivastreet.com.mx/accesorios-jardin+azcapotzalco/calentador-solar-para-agua/638066>

ANEXO

Encuesta aplicada a los habitantes de Ocotla.

 Universidad Nacional Autónoma de México PRIA Ocotla Alta-Tlalpan	
No. Identificación el lote: _____	
Datos personales	
Nombre del ecuestado: _____	Nombre del encuestador: _____
Preguntas	
1. ¿Hace cuanto tiempo vive aquí?	
2. ¿Cuántas personas habitan en la casa?	
3. ¿Cuánto tiempo pasa en la casa?	
4. ¿De donde obtiene el agua?	
Pipas particulares	
Pipas delegación	
Captación lluvia	
Otro	
¿Cuánto cuesta?	
5. ¿Qué apariencia tiene el agua que usted recibe?	
Sucia	
Limpia	
Con olor	
Cloro	
Otro	
6. ¿Utiliza el agua que le abastecen para beber?	
La hierve	
Directamente	
Otro	
7. ¿Cuánta agua consume?	
8. ¿Con qué calienta el agua para bañarse?	
Gas estacionario	
Tanques de gas ¿cómo lo adquiere?	
Carbón	
Leña	
Electricidad	
Quema basura	
Otros	
9. ¿Qué tipo de baño utiliza?	
WC dentro de la casa	
Comparto con los vecinos	
Fosa séptica	
Hoyo negro / letrina	
Baño secos	
10. ¿De qué manera almacena el agua y con qué frecuencia limpia los depósitos ?	
Cisterna	
Tinacos	
Otro	
11. ¿Reusa de alguna manera el agua? ¿Cuál?	
WC	
Plantas	
Pisos	
Otros	
12. ¿Hacia donde va el agua que utiliza?	
Red de drenaje	
Fosa séptica / hoyo negro / letrina	
Otros	
13. ¿En qué cocina sus alimentos?	
Estufa eléctrica	
Horno de microondas	
Estufa de gas (estacionario o cilindros)	
Estufa de leña / anafre	
Otros	
14. ¿Utiliza calefacción en época de frío?	
Calentador eléctrico	
Calentador de gas	
Calentador de leña o carbón	
Otro	
15. ¿Cuánta basura produce? ¿Cuanto de desperdicio?	
16. ¿Qué tipo de recipiente utiliza para almacenar su basura dentro de su casa?	
Bote con tapa	
Bote sin tapa	
Caja de madera	
Caja de cartón	
Bolsa de plástico	
Otro	

17. ¿Qué tipo de animales domésticos tiene? (indicar el número en cada tipo de animal)		23. ¿Separa su basura? ¿Aprovecha los desperdicios? ¿Qué hace con los plásticos, vidrios, etc.?	
Perros			
Caballos			
Vacas			
Gallinas o guajolotes			
Otros			
18. ¿Qué enfermedades ha padecido y con qué frecuencia?		24. ¿Cómo se deshace de su basura?	
Enfermedades en la piel		Pasa el camión de basura	
Enfermedades en el estómago?		¿Cada cuantos días?	
Enfermedades respiratorias		Lleva la basura a un contenedor fijo ó algún	
Otras		La tiro en la calle / Algún vecino lo hace	
19. ¿ Tiene automóvil?		La quemo ¿Algún vecino lo hace?	
		La entierro ¿Algún vecino lo hace?	
20. ¿Qué hace con los medicamentos, pilas, solventes, aceites, productos de limpieza que se vencieron o no utiliza?		Pago para que la recojan ¿Cuánto?	
Los tiro a la basura		Otro	
Los quemo		25. ¿Dónde adquiere su despensa?	
Los entierro		Supermercado	
Otro		Tianguis / mercado	
21. ¿Ha sabido de inundaciones cerca de su casa, ¿cuál ha sido el motivo? Y ¿cada cuánto?		Otro	
Lluvias		26. ¿Qué se quema en la zona, cada cuántos días?	
Drenaje		Llantas	
Tuberías rotas		Basura	
Otro		Terrenos baldíos o	
22. ¿Ha sabido de accidentes ?		Animales muertos	
Por descargas eléctrica		Otro	
Por fuegos		¿Aceptaría asesoría para diseñar sus sistemas de abastecimiento de agua potable?	
Por derumbes		¿Sabe lo que es un baño seco?	
COMENTARIOS		¿Estaría dispuesto a separar la basura?	
¿Estaría dispuesto a pagar por el servicio de limpia?		¿Ha percido mal olor en el aire ó tolvareras?	