



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA



**FACTIBILIDAD FINANCIERA Y POTENCIAL DE
AHORRO DE ENERGIA DE LA IMPLANTACION DE
CALENTADORES HIBRIDOS (SOLAR - GLP Y
SOLAR - ELECTRICO) EN EL AREA
METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA INDUSTRIAL)**

**P R E S E N T A :
DANIEL GARCIA VALLADARES**

DIRECTORA: DRA. CLAUDIA SHEINBAUM PARDO



MEXICO, D. F.,

JUNIO DE 1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.

**A Miriam por su incansable labor educativa.
A Octavio por tantos años de trabajo solar.**

**A mis dos Padres por su esfuerzo porque
las cosas se sucedan mejor en este país.**

A mi hermano Octavio.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

A la Facultad de Ingeniería.

Al Instituto de Ingeniería.

A la Dra. Claudia Sheimbaum Pardo por su invaluable apoyo.

Al Dr. Luis Rodríguez Viqueira.

A todos aquellos que de alguna manera tuvieron que ver en la realización de este trabajo.

RESUMEN.

En este trabajo se elaboró una evaluación financiera de la instalación de calentadores híbridos (solar - gas licuado de petróleo y solar - electricidad) para el sector residencial del Área Metropolitana de la Ciudad de México desde el punto de vista del usuario de la energía.

Para dicho fin se analizaron primero los calentadores de gas, solar-GLP y solar-eléctrico como proyectos individuales bajo la metodología del Valor Presente Neto. Posteriormente se realizó un análisis de los calentadores híbridos en comparación con el calentador de gas, tomando en cuenta como beneficio económico el ahorro de energía debido a la sustitución de una tecnología por otra.

Para el caso del calentador solar-GLP se analizaron dos casos: aquellos usuarios que no cuentan con ningún tipo de calentador (por lo que la alternativa es adquirir un calentador de GLP o uno híbrido) y aquellos que ya cuentan con calentador de GLP.

Las metodologías de análisis financiero que se utilizaron para evaluar la rentabilidad de los calentadores híbridos son seis: Valor Anual Equivalente, Tasa Interna de Retorno, Valor Presente Neto, Costo de Energía Ahorrada, Periodo de Recuperación de la Inversión y Análisis incremental.

Finalmente se realizó una estimación de la reducción de emisiones de gases invernadero a la atmósfera debida al uso de calentadores híbridos, como un beneficio social que provendría de la disminución del consumo de GLP para calentamiento de agua de las viviendas del AMCM.

INDICE

RESUMEN.

CAPITULO I. INTRODUCCION	1
CAPITULO II. ENERGIA SOLAR	4
2.1. Radiación solar	4
2.2. Superficies selectivas y superficies reflectivas	6
2.3. Aplicaciones tecnológicas	8
CAPITULO III. COLECTORES SOLARES PLANOS	13
3.1. Calentador solar de agua a circulación natural	14
3.2. Sistemas de calentamiento a circulación forzada	19
CAPITULO IV. CARACTERISTICAS DE CONSTRUCCION DE UN COLECTOR SOLAR PLANO	21
4.1. Construcción de los calentadores solares	21
4.2. Características del colector en estudio	27
4.3. Sistemas híbridos	28
CAPITULO V. CONSUMO DE ENERGIA EN EL SECTOR RESIDENCIAL MEXICANO	30
5.1. Nivel nacional	30
5.2. Consumo de energía para calentamiento de agua en AMCM ..	31
5.3. Tipo de viviendas en el AMCM	34
CAPITULO VI. METODOLOGIAS DE ANALISIS FINANCIERO	37
6.1. Método del Valor Anual Equivalente	38
6.2. Método del Valor Presente	39
6.3. Tasa Interna de Rendimiento	40
6.4. Costo de Energía Ahorrada	40
6.5. Periodo de Recuperación de la Inversión	41
6.6. Análisis Incremental	42
6.7. Análisis de Sensibilidad	43
CAPITULO VII. RESULTADOS DEL ANALISIS FINANCIERO	44
7.1. Consideraciones para el proyecto solar - GLP	44
7.2. Resultados	46
7.2.1. Análisis individual de los proyectos	46
7.3. Análisis tomando como beneficio el ahorro de energía	49
7.3.1. Caso en el que no se cuenta con calentador de gas	49
7.3.2. Caso en el que ya se cuenta con calentador de gas	52
CAPITULO VIII. ANALISIS DE SENSIBILIDAD	55
8.1. Análisis de sensibilidad para cada variable	56
8.2. Análisis de sensibilidad cruzado	59

CAPITULO IX. ANALISIS DEL CALENTADOR HIBRIDO SOLAR-ELECTRICO ...	62
9.1. Consideraciones	62
9.2. Resultados	64
9.2.1. Análisis de sensibilidad calentador solar-eléctrico	68
9.2.2. Análisis de sensibilidad cruzado	69
9.3. Análisis financiero incremental de los calentadores híbridos solar - GLP y solar - eléctrico	71
CAPITULO X. AHORRO DE ENERGIA Y MITIGACION DE GASES INVERNADERO	75
10.1. Calentador híbrido del tipo solar - GLP	75
10.2. Calentador híbrido del tipo solar-eléctrico	78
CAPITULO XI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS	82
ANEXOS	
ANEXO 1. Fabricantes de colectores solares en México	
ANEXO 2. Análisis individual de los proyectos. Flujos de efectivo, evaluación a precios corrientes	
ANEXO 2.1. Análisis tomando como beneficio el ahorro de energía. Flujos de efectivo, precios corrientes.	
ANEXO 3. Normales climatológicas del AMCM.	

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

La crisis del petróleo, de principios de los años setenta, hizo que la energía solar saltara prematuramente a competir en los ruedos de la rentabilidad con las energías fósiles. Tras un periodo de euforia, de fuertes inversiones, que se concretaron en la construcción de varias centrales solares experimentales para producir electricidad y calor -en Estados Unidos, Francia, Italia y España-, se demostró la viabilidad técnica de estos sistemas para obtener energía del sol, pero también su momentánea incapacidad para competir, en precio y rendimiento, con los llamados sistemas convencionales.

Hacer de la tecnología solar una alternativa energética sería cuestión de tiempo. Hoy, se está a las puertas de traspasar ese umbral. Un relevo que si en muchos casos no se ha comenzado a producir, sobretodo en el de instalaciones aisladas, alejadas de las grandes redes de distribución de energía, no es por falta de competitividad, sino por la inercia y falta de información, tanto de los usuarios como de los tomadores de decisiones.

En la historia de la energía, la madera cedió al carbón y el carbón al petróleo. Hoy se dispone a afrontar un siguiente paso: substituir poco a poco las fuentes de energía no renovables y altamente contaminantes por otras alternativas como la solar - en la que también hay que incluir, por su origen, la eólica, hidráulica y maremotriz -. Sus ventajas son evidentes: la energía solar es limpia, abundante e inagotable. Sin embargo, la transición no es fácil, pues exigirá una completa reformulación de las estructuras energéticas actuales.

El problema reside en que nuestro estilo de vida urbano e industrializado se sustenta sobre un modelo energético centralizado, basado en fuentes concentradas. En cambio, la radiación solar es muy difusa, por lo que resulta necesario concentrarla para obtener trabajo.

Una de las aplicaciones más sencillas de la energía solar es su captación con un colector o captador plano para calentamiento de agua. El calentador de agua ha tenido gran desarrollo en países como Estados Unidos para calentamiento de agua en unidades habitacionales; en nuestro país hay varias compañías que se dedican al diseño, construcción e instalación de sistemas modulares con diversas capacidades para viviendas y del ensamble de módulos para surtir a edificios, condominios y albercas.

Por su viabilidad técnica y sus posibilidades de ahorro de energía convencional y de impacto en el medio ambiente, es de suma importancia conocer el potencial económico que tiene esta tecnología en el Área Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM). Sin embargo, es importante reconocer que para esta región, debido a su característica climática, la viabilidad técnica de los calentadores solares requiere de una energía de respaldo que permita contar con el servicio de agua caliente durante todos los días del año, por lo que se requieren sistemas híbridos.

Esta tesis presenta una primera estimación de la viabilidad financiera de los calentadores híbridos en el AMCM.

Los objetivos de la tesis son:

1. Conocer la rentabilidad económica de los calentadores híbridos (solar - GLP) y (solar - eléctrico) en el AMCM.
2. Estimar el ahorro de gas licuado de petróleo (GLP) y la mitigación de emisiones de gases tipo invernadero debido a la implantación de esta tecnología.

Para cumplir estos objetivos se desarrollaron las siguientes actividades:

- Obtención de datos relacionados con los costos de inversión de los calentadores de GLP (diversas capacidades), solares e híbridos (GLP y eléctrico).
- Identificación de las características técnicas de las opciones de calentamiento de agua (vida, efectividad, etc.).
- Estimación del consumo promedio de GLP en un año, para una vivienda promedio.
- Conocimiento del costo de GLP y el aumento previsto del mismo.
- Estimación del Costo de Energía Ahorrada, Valor Anual Equivalente, Tasa Interna de Retorno, Valor Presente Neto y Periodo de Recuperación de la Inversión para las opciones de calentador solar o sistema híbrido.
- Cálculo de factibilidad de la inversión para distintos estratos económicos.
- Estimación del ahorro de GLP y la mitigación de gases tipo invernadero.
- Propuesta de estímulos para favorecer la inversión de los usuarios en los calentadores solares.

Cabe señalar que en este trabajo sólo se analiza el potencial de ahorro de energía considerando que los sistemas híbridos serán implantados en casas solas. Esto se debe a que la instalación de esta tecnología en edificios requiere de una evaluación estructural de los mismos (debido al peso de los calentadores), por lo que este nivel de desagregación en el análisis queda fuera de este trabajo.

La tesis se compone de 11 capítulos, de los cuales esta Introducción constituye el primero. El segundo capítulo presenta un resumen de conocimientos generales sobre energía solar, así como sus aplicaciones. Una revisión general sobre los colectores solares planos aparece en el tercer capítulo. En el cuarto se describen las características de un colector para la Ciudad de México. El panorama general de la demanda de energía residencial a nivel nacional y a nivel del AMCM se presentan en el quinto. En el sexto capítulo aparece la metodología de análisis de costos. Los resultados del análisis financiero, así como un análisis de sensibilidad para el calentador híbrido solar-GLP se tratan en los capítulos 7 y 8 respectivamente. En el capítulo 9 se presentan los resultados del análisis financiero y un análisis de sensibilidad para el caso del calentador solar-eléctrico, así como un análisis para comparar el calentador solar-GLP y el solar-eléctrico. Un análisis de ahorro de energía y de mitigación de gases invernadero se presenta en el capítulo 10. Finalmente en el capítulo 11 se enuncian las conclusiones y recomendaciones más relevantes del estudio.

CAPÍTULO II. ENERGÍA SOLAR.

2.1. RADIACIÓN SOLAR.

El desempeño de cualquier sistema térmico solar depende de la radiación solar disponible. La radiación solar se caracteriza por su variabilidad. Aún cuando es abundante, varía durante el día, alcanzando su máximo cuando la longitud de la trayectoria que atraviesa la atmósfera es la menor.

Se considera que la radiación solar no sufre alteraciones durante su trayecto por el espacio exterior fuera de la atmósfera terrestre. Dentro de la atmósfera la radiación solar es reflejada, dispersada y absorbida por el oxígeno (O_2), el bióxido de carbono (CO_2), ozono (O_3), nitrógeno (N_2), vapor de agua (H_2O) y partículas de polvo. La radiación solar que sufre mayores efectos en la travesía por la atmósfera es la que tiene una longitud de onda entre 0.29 y 2.5 μm , ya que casi toda la radiación fuera de este intervalo es dispersada y absorbida de inmediato. La radiación de onda corta (ultravioleta) se absorbe principalmente por el ozono (O_3) de la estratósfera, mientras que la radiación de onda larga se absorbe por vapor de agua. La radiación solar reflejada y dispersada se convierte en radiación difusa y la que continúa su camino se denomina directa.

La insolación, es decir, la cantidad de radiación solar que llega a un área unitaria de la superficie terrestre, es función de muchas variables. El factor más importante es la variación del ángulo de incidencia. Se ilustra en la figura 2.1a el aumento en el área superficial que recibe la misma cantidad de insolación en el invierno comparada con la de verano. En la figura 2.1b se ilustra un cambio similar para diferentes situaciones geográficas.

El espesor de la atmósfera y por tanto la cantidad de energía solar absorbida es una función de la hora del día, como se ilustra en la figura 2.2 los rayos del Sol son tangentes a la superficie terrestre en la mañana y en la tarde, y aproximadamente perpendiculares al mediodía.

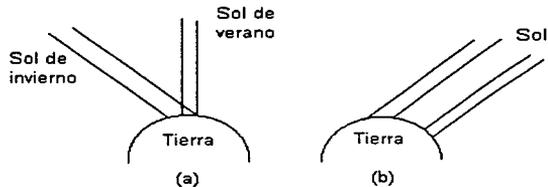


Figura 2.1 a) Variación de la insolación con las diferentes estaciones. b) Variación de la insolación con la situación geográfica.

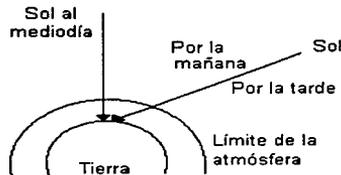


Figura 2.2 Variación con el ángulo de incidencia del espesor de la atmósfera atravesado por la radiación solar.

Se puede ver, de lo expuesto, que la cantidad real de energía solar recibida por un área unitaria de superficie es una función muy compleja de la posición, la estación, la hora del día y de la composición de la atmósfera sobre la superficie.

Una forma de conocer las características de la radiación solar, es midiéndola. Básicamente hay cuatro aparatos electrónicos para medir la radiación: el fotorresistor, los fotodiodos, la celda solar, y las termopilas.

La radiación solar también puede estimarse teóricamente mediante el empleo de varias ecuaciones que se basan en la longitud del día y en el tiempo de luz del sol.

Existen otros tipos de mediciones meteorológicas que se relacionan con la energía solar, que utilizan los datos de radiación como fuente de información; sin embargo, en ausencia de éstos, es factible emplear relaciones empíricas para estimar la radiación global

a partir de las horas de insolación, porcentaje de posible insolación o nubosidad. Otra alternativa es la estimación para un lugar particular mediante datos existentes de otras localidades con latitud, topografía y climas semejantes al deseado. Al emplear datos de insolación empíricos, mediante varios métodos se estima en general una aproximación con un error dentro de un ± 10 por ciento. (*Almanza y Muñoz, 1994*).

2.2. SUPERFICIES SELECTIVAS Y SUPERFICIES REFLECTIVAS

Existen dos aplicaciones básicas de la radiación solar. Una es para la producción de electricidad, la otra para la producción y aprovechamiento de calor.

Existen varios métodos para convertir la energía solar en electricidad, uno de ellos es por conversión directa, en la cual se genera un voltaje o corriente eléctrica por medio de la absorción de fotones en un semiconductor de silicio o sulfuro de cadmio. Otro es por conversión térmica, en la que el calor se convierte en energía eléctrica mediante dispositivos termoeléctricos, termoiónicos o magnetohidrodinámicos, o bien por turbinas ordinarias de vapor. Un tercer método puede ser a través de procesos biológicos, ya sea por medio del crecimiento de plantas utilizables o quemándolas en sistemas térmicos.

Hay varias aplicaciones de la energía solar en las que el uso de superficies selectivas y superficies reflectivas es importante, ya que aumentan la eficiencia de los dispositivos de captación, así como los colectores de enfoque, en los que el absorbedor puede disminuir sus pérdidas por radiación y por tanto aumentar las temperaturas de los fluidos con los que trabaja, con lo que se obtiene mayor eficiencia.

2.2.1 SUPERFICIES SELECTIVAS

Si un cuerpo absorbe energía solar y emite energía radiante característica de su temperatura, la temperatura en equilibrio final del cuerpo es directamente proporcional a la relación a/e , donde a es la absorptancia y e la emitancia. Para ello se necesita una superficie con alta absorción en la banda de emisión solar y baja emitancia en el intervalo de emisión de un cuerpo negro (o sea una relación a/e alta), esta superficie se llama selectiva.

Existen varios mecanismos para producir materiales con estas propiedades, dependiendo de la temperatura a la que se trabaje; un mecanismo consiste en depositar una película delgada de alta

absortancia para radiación solar por medio de reacciones químicas y usar un sustrato que tenga una emisión pobre de radiación de onda larga (infrarroja): este sustrato de baja emitancia en el infrarrojo se puede obtener con una superficie metálica pulida.

Las superficies selectivas más comunes son películas de óxidos metálicos sobre sustratos metálicos, por ejemplo las de CuO , Cu_2O , Fe_3O_4 , etcétera. Con este tipo de superficies selectivas se pueden obtener selectividades (α/ϵ) entre 4 y 9; las eficiencias mejoran al evitarse pérdidas por radiación a temperaturas de trabajo menores a 200 °C. A fin de aumentar la selectividad y además alcanzar temperaturas de trabajo mayores, es necesario utilizar otras superficies selectivas tales como películas de cromo negro o níquel negro. Su importancia radica en que se juzga que son las adecuadas para usarse en nuestro país. (*Almanza y Muñoz, 1994*).

2.2.2 SUPERFICIES REFLEJANTES

Existen dos tipos diferentes de superficies reflejantes. Uno se usa para reflejar la radiación solar directa incidente sobre un absorbedor deseado, el otro tipo se puede usar como superficie selectiva de muy baja emisividad sobre absorbedores fototérmicos. Generalmente las superficies selectivas de baja emisividad son a base de pinturas blancas, las cuales son útiles cuando se requiere una reflectancia total en forma difusa.

Algo importante es la obtención de superficies que reflejen la radiación directa o sea la obtención de espejos de buena calidad. Existen dos configuraciones típicas de espejos dependiendo de la superficie en que el material reflejante se deposite. Si el metal reflejante se deposita en la parte trasera de un material estable e impermeable entonces se dice que es un espejo de segunda superficie; los espejos de primera superficie son aquellos en que el metal se deposita sobre la superficie de la base reflectora o sea en la cara frontal del material reflector.

Los metales constituyen una gran variedad de sustratos para generar espejos. El metal puede ser intrínsecamente un material reflectivo, como por ejemplo, una superficie de aluminio de alta pureza a base de electropulido.

Otro tipo de espejos es el que usa sustratos plásticos, sobre los que deposita la superficie reflectora por métodos químicos o al vacío. las películas plásticas (teflón, nylon, acrílico, etcétera) ofrecen la opción de poder hacer espejos ligeros y delgados.

2.3. APLICACIONES TECNOLÓGICAS.

2.3.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar adquirió notoriedad gracias a la carrera espacial, que ya desde sus comienzos decidió aprovechar el fenómeno de conversión fotovoltaica para alimentar los satélites en órbita.

Desde 1839 se sabía por Bequerel, el físico francés, que la radiación luminosa es capaz de introducir una tensión eléctrica sobre un electrodo inmerso en una solución electrolítica débilmente conductora. Cuatro décadas más tarde, Adams y Day observaron el mismo efecto sobre un sistema constituido exclusivamente por materiales sólidos, concretamente selenio y platino. esto dio lugar a la fabricación de las primeras células solares, con rendimientos menores al uno por ciento.

Mediado el siglo XX, el desarrollo emergente de la tecnología del silicio permitía fabricar células cuyo rendimiento rondaba ya el cuatro por ciento. Para entonces la mecánica cuántica ya había establecido las bases teóricas para el entendimiento del fenómeno fotovoltaico, y Czochralski había desarrollado un método para crecer cristales de silicio con pureza electrónica, única forma de mejorar su rendimiento. los laboratorios de la Bell Telephone, en Estados Unidos en 1955 construyeron un equipo fotovoltaico para alimentar un equipo repetidor en Georgia. Funcionó con éxito durante un año, pero los costos se mostraron prohibitivos incluso para la economía de esta gran empresa.

Sin embargo, esta tecnología competía económicamente en el programa espacial de los Estados Unidos. Así, el satélite Vanguard I, lanzado en 1958, fue el primero en incorporar un sistema fotovoltaico. Su transmisor de radio estuvo operando durante ocho años, alimentado por células de silicio cuyo rendimiento en el espacio -fuera del filtro atmosférico - ascendía al 14 por ciento. El precio del metro cuadrado de panel rondaba por entonces los 12,000 dólares. Hoy cuesta veinte veces menos (600 dólares), y con rendimientos en torno al veinte por ciento.

Estos logros se deben, casi exclusivamente, a los esfuerzos realizados en el desarrollo de nuevos materiales, entre los que el silicio ha merecido y merece un lugar destacado, aunque no es el único. En estos momentos, los programas de investigación se centran en tres líneas principales: silicio mono y policristalino; silicio amorfo y otros materiales semiconductores.

Durante la década pasada, los avances tecnológicos, así como la espectacular caída de los precios, han hecho crecer el mercado

fotovoltaico a un ritmo próximo al 25 por ciento anual. Y es probable que en la presente, el crecimiento se acelere todavía más. Hay que tener en cuenta que una instalación fotovoltaica de 40 metros cuadrados y un 12 por ciento de rendimiento, orientada al sur en una región con una insolación similar a la de zonas medias, resulta suficiente para cubrir el consumo eléctrico de un hogar medio en un país desarrollado. (Vidal, Juan R., 1993)

La crisis petrolera de la década de los setentas obligó a los países industrializados a definir sus objetivos, planes y programas en relación al aprovechamiento de la energía solar. Así surgió en los Estados Unidos el "Proyecto Independencia", en Japón el proyecto "Sunshine" y en Europa el proyecto "Phoebus". Todos con estrategias para el desarrollo en industrialización de la tecnología solar no sólo con fines de uso propio sino, de manera importante, con propósitos de exportación tecnológica hacia los países en desarrollo. Los resultados de estos programas son evidentes. Por ejemplo, Japón y Estados Unidos actualmente se disputan el mercado mundial de las celdas fotovoltaicas que asciende ya a los 30,000 kilowatts por año. Las exposiciones de tecnologías y servicios en energía solar se suceden varias veces al año en distintas partes del mundo, mientras que las misiones comerciales a otros países se dan cada vez con mayor intensidad. México es blanco constante de estas misiones y sólo con una estrategia nacionalista para el desarrollo de la tecnología solar podrá contenerse la competencia con las empresas extranjeras.

La energía solar fotovoltaica abre una posibilidad interesante para el desarrollo regional, abasteciendo energía en zonas a donde tradicionalmente ha sido difícil llegar con energéticos convencionales.

La competitividad de la energía solar fotovoltaica en zonas alejadas de las redes de distribución eléctrica está fuera de toda duda. Y ya hasta puede resultar rentable frente a los motores de diesel de menos de 20 kW. A modo de ejemplo, sólo en la India funcionan entre cuatro y cinco millones de bombas de agua a gasóleo de 3.5 kW. Sustituir los motores por paneles fotovoltaicos generaría unas ventas anuales de hasta 1,000 MW de potencia; es decir, se multiplicarían por 25 las ventas mundiales actuales.

Las buenas perspectivas han hecho que el sector energético retomara la posibilidad de producir cantidades masivas de electricidad fotovoltaica. En Puerto lobos se tiene instalada la central solar más grande de México. Mientras que en otros países europeos, como Italia, han dado luz verde a la construcción de una central de 3,000 kW. En la ciudad estadounidense de Austin han montado dos instalaciones de 300 kW sobre los tejados de sendos estacionamientos públicos. En Alemania, incluso, ya se está pensando en sustituir los cristales de grandes edificios por paneles

fotovoltaicos traslúcidos. Otra interesante aplicación, consensuada en diciembre de 1990 en Taormina (Sicilia), durante una conferencia que reunió a investigadores, políticos y presidentes de compañías eléctricas de varios países, se refiere al uso de la energía fotovoltaica para compensar las caídas de tensión y la baja calidad de los finales de línea en las redes de distribución eléctrica.

2.3.2 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

La tecnología térmica solar convierte la luz del sol en diversas formas de energía aprovechable. Esta energía puede usarse directamente, por ejemplo, en edificios de diseño solar pasivo y calentadores solares de agua para aplicaciones residenciales, comerciales e industriales. Otros sistemas térmicos solares utilizan el calor capturado para impulsar generadores eléctricos, produciendo electricidad en una escala útil; éstos son conocidos como sistemas solares termoelectrónicos.

La tecnología térmica solar es muy diversa. Pequeños sistemas pueden ser instalados en las azoteas de casas para calentar agua de uso doméstico. Sistemas de un tamaño un poco mayor pueden proporcionar agua caliente, vapor, y aire caliente a escuelas, hospitales, negocios e industrias. Grandes sistemas solares termoelectrónicos pueden generar electricidad en cantidades comparables con plantas de generación de tamaño medio (esto es, 100 a 200 megawatts (MW) de electricidad). La tecnología puede además ser usada para disminuir la contaminación del ambiente en aire, agua y suelo.

Históricamente, el primer uso mecánico de la energía solar térmica, fue presentado en la feria mundial de París en 1878. Dicho uso fue el de un concentrador parabólico de 20 metros cuadrados, ideado para proporcionar vapor para el manejo de una prensa de impresión.

En 1901, el ingeniero Aubrey Eneas asombró a propios y extraños con un reflector solar de 10 metros de diámetro y más de 3,500 kilos de peso, compuesto por 1,800 pequeños espejos. Aquel ingenio fue capaz de concentrar la suficiente radiación para calentar 400 litros de agua hasta producir el vapor suficiente para accionar un motor de 15 caballos de potencia.

El sistema utilizado por aquel ingeniero no difiere mucho del aplicado en las centrales térmicas solares que se construyeron entre finales de los setenta y principios de los ochenta. Entre las más representativas deben mencionarse la planta piloto Solar One en Dagget (California), con 10 MW instalados y primera en construirse, y

la Plataforma Solar de las Tabernas, en Almería, España, de 5 MW. Estas dos centrales experimentales demostraron la viabilidad de producir energía eléctrica a partir de la concentración de la radiación solar por dos vías: mediante heliostatos - espejos que siguen la trayectoria del sol - que focalizan los rayos solares sobre un receptor situado en lo alto de una torre; y con campos de colectores - concentradores conectados en serie.

El sistema está basado en una red de espejos cilíndrico-parabólicos que focalizan la luz solar sobre unas tuberías que transportan aceite. Este fluido se va calentando a medida que va pasando por los colectores conectados en serie, hasta que llega a 400 °C, a la sala de máquinas. Aquí cede el calor acumulado - por medio de un intercambiador de calor - a un circuito secundario lleno de agua, que es transformado en vapor antes de pasar a las turbinas.

De la competitividad de esta última técnica da fe la iniciativa de la empresa estadounidense Luz Internacional. Fundada en 1984, a lo largo de los cuatro años siguientes instaló 275 MW de potencia, repartidos entre varias plantas en el desierto de Mojave, California. Los propietarios de Luz Internacional venden la electricidad que generan a la compañía local, con creciente beneficio por su parte: gracias a las mejoras introducidas a partir de la experiencia acumulada durante los últimos años, así como por la mayor economía que supone la fabricación de los elementos concentradores, han conseguido rebajar los costos del kW/h de 25 centavos de dólar en la primera instalación, a 10 centavos en las actuales.

El otro sistema ensayado en las plantas de demostración, como Solar One y Almería, es el de las llamadas centrales de torre. En ellas, guiados por computadora, centenares de espejos con leves curvaturas siguen la trayectoria del sol con precisión casi milimétrica, concentrando sus rayos sobre un receptor central, situado generalmente en medio del campo de heliostatos, en lo alto de una torre. Las altas temperaturas que allí se generan - del orden de los 1,000 °C para un blando refrigerado, y hasta 2,500 °C para uno no refrigerado - producen vapor de agua, que se emplea igualmente para mover una turbina conectada a un generador.

Solar One continúa produciendo electricidad para el sur de California, mientras que la plataforma solar de Almería, España, ha diversificado sus actividades.

En los Estados Unidos han sido instalados más de 350 MW de sistemas solares termoeléctricos, energía suficiente para cubrir las necesidades residenciales de la ciudad de Seattle; lo que equivale al 90% de la capacidad instalada en todo el mundo. Estos sistemas instalados cubren las necesidades de 350,000 personas y desplazan el equivalente a 2.3 millones de barriles de petróleo al año. Más de medio millón de sistemas de calefacción solares de agua han sido

instalados en los Estados Unidos, la mayoría utilizados para calentamiento de albercas.

En México, específicamente en algunas poblaciones de Baja California Sur, en islas de pacífico y en las costas de Sonora la energía solar sustituye a la eléctrica, y además se han colocado destiladores de agua de mar para poder contar con agua potable para uso humano y de riego agrícola.

En nuestro país las oportunidades para el aprovechamiento de la energía solar aumentan día con día, por ejemplo, como energético a corto plazo, en el secado de productos agropecuarios, la producción de calor de proceso mediante sistemas de mediana concentración y en la sustitución directa de gas LP, Diesel o combustóleo con calentadores solares de agua para uso doméstico o industrial. A plazo un poco más largo en la generación de energía eléctrica a través de sistemas distribuidos de mediano tamaño y eventualmente en la generación centralizada en forma comercial. Los sistemas autónomos para alumbrado son ya una realidad en diversas comunidades rurales. Los beneficios ambientales de la energía solar son evidentes: ausencia de gases de combustión y de otros riesgos de contaminación. Es también una energía abundante e inagotable. Su uso permite además eliminar riesgos inherentes al uso de combustibles, tales como el peligro de explosión o de grandes pérdidas debidas a fugas.

CAPÍTULO III.

COLECTORES SOLARES PLANOS.

Entre los captadores solares planos destacan por su importancia dos de ellos: el calentador de agua (colector plano) y el estanque. El estanque solar es muy importante por la variedad de aplicaciones que puede tener, algunas de ellas operando y otras desde el punto de vista teórico. El calentador de agua ha tenido gran desarrollo y se usa en gran cantidad de casas y centros habitacionales; en nuestro país hay varias compañías que se dedican al diseño, construcción e instalación de sistemas modulares para casas y del ensamble de varios módulos para surtir a edificios, condominios y albercas.

Los colectores planos son aquellos dispositivos sobre los cuales se intercepta y absorbe la energía solar usando una superficie plana revestida por una película ennegrecida u otra altamente absorbente de la radiación solar (superficie selectiva).

El proceso de captación se logra mediante la transformación de la radiación solar incidente en energía calorífica absorbida por el fluido circulante.

Los tipos más comunes son: tubos soldados a una placa; tubos paralelos soldados en sus extremos a dos cabezales y láminas metálicas unidas, una de ellas acanalada.

La placa colectora se aísla térmicamente en el fondo y en los lados para disminuir las pérdidas por conducción calorífica. La parte superior de la placa se cubre a cierta distancia, de una o varias cubiertas transparentes (de vidrio o de plástico), cuya finalidad es la de producir el efecto de invernadero y a su vez eliminar pérdidas por convección con el aire ambiente y por radiación, al atrapar la radiación infrarroja, emitida por la placa colectora.

Esta placa se construye con cobre, aluminio o fierro, materiales que poseen buenas conductividades térmicas y muy variadas dimensiones. Su revestimiento ennegrecido favorece la absorción de radiación solar incidente. Si es selectivo disminuye la emisión de radiación infrarroja.

Como los colectores planos están comúnmente fijos, estos aprovechan la radiación solar global, es decir, la proveniente directamente del sol (radiación directa) y la que ha sido reflejada y dispersada por la atmósfera y nubes (radiación difusa).

Su inclinación y orientación se fijan en base a los factores astronómicos de posición (latitud geográfica, declinación solar) y climatológicos regionales (nubosidad).

La aplicación de estas unidades está esencialmente dirigida a sistemas de calentamiento de agua, aire acondicionado, refrigeración y secado de productos agropecuarios.

3.1 CALENTADOR SOLAR DE AGUA A CIRCULACIÓN NATURAL

Este tipo de calentador es el más común para uso doméstico. Consiste en uno o más colectores solares y de un tanque de almacenamiento aislado térmicamente (termotanque), el cual se instala en una posición más elevada que el colector, para lograr el efecto de termosifón o de circulación natural. Este último sirve para aprovechar la diferencia de temperaturas existente entre el colector y el termotanque.

El agua fría contenida en el termotanque desciende por gravedad al colector, que transforma la energía radiante en calorífica y la cede al fluido circulante. Por su parte, el agua caliente del colector es menos densa y tiende a subir hacia la parte alta del termotanque, con lo cual se establece una circulación natural durante las horas de insolación.

En días despejados y al mediodía solar, el flujo en un calentador solar es del orden de $1 \text{ lt} / \text{min m}^2$ de superficie de colector.

El calentador solar funciona con radiación global, es decir, tanto directa como difusa. Cabe señalar que aún cuando el calentador solar de agua por termosifón es un sistema pasivo, debido a que en él no se emplea equipo electromecánico para su funcionamiento, se describe porque su difusión e importancia son significativas.

3.1.1 INHIBIDORES DE PÉRDIDAS TÉRMICAS

De la descripción de los captadores solares planos se deduce que mientras menores sean las pérdidas térmicas, mayor será la cantidad de energía utilizable. El advenimiento de los materiales transparentes, que inhiben las pérdidas de calor, permitió con la energía solar alcanzar por primera vez temperaturas substancialmente mayores que las del ambiente, o sea que el vidrio y otros materiales transparentes son los primeros inhibidores de pérdidas térmicas de que se tiene noticia.

Como se verá, aunque el vidrio y los plásticos más comunes, de apariencia transparente (conocidos por su modelo comercial, como el acrílico, el policarbonato, el cloruro de polivinilo, el mylar y el tedlar) son altamente transparentes a longitudes de onda menores a $1\text{-}2 \mu\text{m}$, resultan prácticamente opacos a radiación de onda más larga. Sin embargo, el sol envía radiación que, en su casi totalidad, corresponde a longitudes de onda menores que ese límite. Por el contrario, un

cuerpo cualquiera, a una temperatura próxima a los 100°C emite radiación, de la cual el 99 por ciento o más de su densidad se localiza en longitudes de onda mayores a 2 μm . Si dicho cuerpo está encerrado en una caja aislada y los rayos del sol entran por una ventana transparente, los rayos llegarán en su casi totalidad al cuerpo, pero la emisión radiante se contendrá por la ventana. Este es el llamado efecto de invernadero, pues al encerrar el cuerpo, de esa manera también se inhiben las pérdidas por convección que resultan al permitir que las corrientes del aire ambiente entren en contacto con el cuerpo. El efecto de invernadero es el método más conocido y económico para inhibir pérdidas de calor; no obstante, no siempre es deseable, como en el caso de captadores que trabajan a temperaturas muy próximas a las del ambiente, por ejemplo, los calentadores solares para piscina.

En estos casos, en los que el ambiente y el captador están a temperaturas similares, las pérdidas térmicas con o sin vidrio son muy similares. Sin embargo, al colocar un vidrio sobre el captador una fracción de la energía solar, aunque pequeña, se refleja o se absorbe en el vidrio, de modo que la presencia de este resulta en desventaja en esta aplicación. Por el contrario, cuando la temperatura de operación del captador es mucho mayor que la del ambiente, conviene colocar más de una cubierta transparente, lo que ha dado lugar a captadores planos que alcanzan temperaturas de 150 a 200°C.

Para inhibir las pérdidas térmicas, sobre todo a temperaturas superiores a los 70 °C, donde las pérdidas de radiación son las más importantes, se utilizan superficies selectivas.

Estas superficies selectivas ya se consiguen en México y su fabricación se hace por electrodeposición o por ataque químico de la superficie base o sustrato. La absorción a la radiación solar es de aproximadamente 0.95 y la emitancia en el infrarrojo varía aproximadamente de 0.05 a 0.15.

Otra forma de lograr una superficie selectiva es construir, ya sea por ataque químico o por procesos físicos, una textura altamente porosa o dendrítica que ofrece la apariencia de alta y aguda rugosidad. Estas estructuras (micro o macroscópicas) reciben el nombre de estructuras de Francia en honor al profesor genovés del mismo nombre y al igual que las superficies electrodepositadas, suelen reducir a un 10 - 20 por ciento la emisión de la radiación; sin embargo, tiene una vida relativamente corta, pues se ensucian fácilmente y son de difícil limpieza. Su desarrollo ha sido lento por su alto costo pero representan una ventaja adicional a las superficies electrodepositadas, y es que también inhiben las pérdidas de convección.

Las pérdidas de convección pueden disminuirse en captadores tubulares, los que se encierran en tubos concéntricos de vidrio, provocando el vacío a niveles mayores de 10^{-3} atm. La geometría plana de los captadores en estudio no permite, por las altas presiones que se ejercen sobre el vidrio, hacer el vidrio como sería deseable. Aparentemente, la mejor forma de limitar las pérdidas convectivas es mediante una estructura reticular entre el absorbedor y el vidrio, la que frecuentemente recibe el nombre de panel de abejas, que puede hacerse de cualquier metal rígido o de hojas delgadas (foil) de aluminio tensadas por la propia caja del captador. Estos inhibidores son aún poco comunes; los más conocidos, o sea las cubiertas transparentes y las superficies selectivas, pueden combinarse a fin de obtener la eficiencia del captador deseada para cada uso.

3.1.2 TANQUES DE ALMACENAMIENTO TÉRMICO.

Un tanque térmico (o termotanque) es, de hecho, un tanque cualquiera (como un tinaco) aislado térmicamente, provisto de las conexiones adecuadas para operar en circuito cerrado con uno o varios captadores solares. Estos tanques pueden ser de temperatura homogénea, como ocurre cuando la circulación es por bombeo de alta velocidad, o pueden ser estratificados (la temperatura del agua es mínima en el fondo del tanque y aumenta a lo largo de la vertical, hacia la tapa) como ocurre casi siempre con los calentadores de circulación natural.

En todos los casos es conveniente favorecer la estratificación, como aconseja la práctica de diseño de otros calentadores (gas, Diesel, etc.).

Las conexiones de un tanque térmico son normalmente cuatro: la admisión general de agua fría de repuesto, la salida principal de agua caliente a los servicios, y las dos que interconectan el tanque con el o los captadores. Frecuentemente se fabrican los tanques en lámina de hierro, los que resultan satisfactorios en su duración si se operan con ausencia de aire, lo que se logra procurando que el tanque opere a mayor presión que la atmosférica, y alimentándolo con agua fría desde un tinaco a mayor altura, o directamente de la presión del agua municipal, y ubicando en el centro de la tapa superior la salida del agua caliente; gracias a esta salida se desaloja el aire que puede venir disuelto en el agua y que se libera con el calentamiento. De este modo el tanque tendrá dos conexiones en la tapa inferior y otras dos en el extremo superior. Nótese que la conexión a la red de agua fría sirve también para expulsar el volumen de agua que resulta de la dilatación al calentarse. Si por alguna razón una válvula de retención impide este alivio, el tanque debe contar con

un dispositivo de purga automático o un tanque de expansión. Cuando se usan tanques que no permiten presiones altas, como los de asbesto, puede regularse el agua fría de admisión mediante una válvula de flotador, como en cualquier tinaco, y expulsarse el volumen excesivo resultante de la dilatación a través de un rebosadero, igual que en los tanques domésticos para tazas de baño, aunque cuidando expulsar el agua más baja (más fría) del tanque.

Frecuentemente, cuando la posición del cabezal superior del captador es inferior en más de 30 cm al fondo del termotanque, y la conexión entre el tanque y el captador es de mínima longitud y con quiebres muy escasos, puede suprimirse la bomba y circularse el agua por convección natural o por termosifón. En este caso, la eficiencia global del sistema es un poco menor que con bombeo, pero el atractivo de eliminar la bomba y su sistema de control, ha hecho de estos calentadores los más populares en muchos países, como puede ser el caso de México. En dichos calentadores se puede favorecer la estratificación y los tanques suelen ser cilíndricos de eje vertical u horizontal.

3.1.3 INSTALACIÓN DEL SISTEMA

Altura entre el tanque y el colector solar.

Se recomienda una distancia mínima de 30 cm entre el extremo superior del colector y el nivel del tubo de salida de agua fría del tanque de almacenamiento.

Longitud de los tubos de conexión.

La longitud de los tubos de conexión entre el colector y el tanque de almacenamiento debe ser mínima; además, se debe tener cuidado de evitar cambios bruscos de dirección, y prescindir de válvulas de retención (check) con el fin de disminuir la caída de presión en el sistema.

Aislamiento.

Para cualquier sistema de calentamiento solar de agua es de vital importancia reducir la pérdida de calor. Esto se puede lograr mediante un buen aislamiento térmico en las partes lateral y posterior del colector, en los tubos de entrada y salida de agua, y particularmente en el tanque de almacenamiento.

Diámetro de la tubería.

Los diámetros más recomendables para las tuberías que conectan el colector con el tanque de almacenamiento son de 3/4" (19 mm) o de 1" (25 mm), para volúmenes del termostanque de 250 y 500 litros, respectivamente. Es importante instalar el mínimo número de codos de 90°, así como evitar reducciones o aumentos en el diámetro de la tubería. Esto para disminuir la caída de presión en el sistema. Por la misma razón, si se requiere usar válvulas, se recomienda que sean de compuerta o de esfera.

Inclinación y orientación del colector solar.

La cantidad de radiación solar incidente sobre el colector depende de su orientación y de su inclinación respecto a la trayectoria del sol.

Morse y Czarnecki recomiendan un ángulo de inclinación de 0.9 veces la latitud del lugar, así como un ángulo acimutal de 0°, o sea, orientado hacia el sur (en el hemisferio norte), para obtener la máxima radiación directa natural.

Estas recomendaciones son válidas desde el punto de vista geométrico de la componente directa de la radiación solar y no incluyen la componente difusa de ésta. Por tanto, en esta componente se debe tener en cuenta la distribución local de la nubosidad.

Área del calentador solar.

En la práctica, el área de los colectores se puede calcular para satisfacer del 50 al 90% de las necesidades totales de agua caliente de la vivienda. Un metro cuadrado de calentador solar proporciona entre 50 a 100 litros de agua caliente (de 40 a 60°C), según la disponibilidad de energía solar de la localidad.

Previsiones contra el congelamiento del equipo.

En lugares donde se registran temperaturas menores a -5 °C, se deben tomar provisiones para evitar que las tuberías del colector se revienten por congelamiento del agua.

Para proteger al calentador solar del hielo existen tres opciones:

- a) Vaciar el calentador solar en el invierno (de forma manual).
- b) Agregar un anticongelante al circuito, para lo cual es necesario adaptar un intercambiador de calor.

- c) Colocar una válvula anticongelante que vacíe el colector cuando la temperatura esté cercana a la de congelamiento del agua.

La primera opción es económica y simple, aunque un tanto molesta, debido a que el usuario tiene que vaciar el colector todas las tardes durante el invierno.

La segunda opción requiere colocar un intercambiador de calor en el termotanque y utilizar una mezcla de agua con anticongelante (por ejemplo, etilenglicol). De esta manera, existen dos circuitos hidráulicos: el primario, que conecta al colector con el intercambiador de calor, a través del cual circula la mezcla anticongelante, y el secundario, por el cual circula el agua caliente del termotanque a servicios o al calentador auxiliar. El rendimiento del calentador con intercambiador de calor es menor que el diseño común, por lo cual se requiere un área de captación solar un poco mayor.

La tercera opción consiste en colocar una válvula anticongelante que, de forma automática, drene el colector cuando la temperatura esté cercana a la del congelamiento del agua.

3.2 SISTEMAS DE CALENTAMIENTO A CIRCULACIÓN FORZADA.

3.2.1 APLICACIONES DOMÉSTICAS E INDUSTRIALES.

Cuando se requiere calentar grandes volúmenes de agua, o debido a la imposibilidad de instalar un sistema operado por termosifón, se emplea una bomba para la circulación del fluido (circulación forzada). Esto sucede generalmente en edificios, hoteles, industrias, hospitales, baños y piscinas, así como en equipos de aire acondicionado o refrigeración. En estos casos, se deben considerar los siguientes factores para el buen diseño de un sistema a circulación forzada.

- a) Orientación e inclinación de los colectores.
- b) Arreglo óptimo en el banco de colectores.
- c) Potencia de la bomba.
- d) Diámetro óptimo de tuberías.
- e) Controles.

Es muy importante señalar que cuando se instalan múltiples paneles solares se debe buscar una distribución homogénea del fluido y una mínima caída de presión en el arreglo. Experimentalmente, se ha determinado que cuando se instalan los

colectores solares en paralelo, el flujo de agua tiende a ser mayor en los extremos que en el centro. En este último sitio se alcanzan temperaturas superiores, de modo que se generan mayores pérdidas de calor y, en consecuencia, se reduce la eficiencia global del arreglo.

En arreglos en serie, la temperatura del agua se incrementa conforme circula por cada colector, con lo cual se logran diferencias de temperaturas del agua cada vez menores, debido a que la eficiencia térmica de un colector solar disminuye con la temperatura de operación.

En conclusión, para lograr una distribución uniforme del fluido circulante, los bancos de colectores solares se deben instalar en arreglos serie - paralelo. Por otra parte, la bomba del circuito debe funcionar cuando el agua contenida en el colector esté más caliente que la del termotanque (por ejemplo, 10 °C). En este caso, el control proviene de la comparación hecha a cada instante entre las dos temperaturas mediante un termostato diferencial.

La forma tradicional de calentamiento de piscinas se lleva a cabo mediante el uso de una caldera, que para su operación consume gas licuado de petróleo (GLP) o natural, Diesel o combustóleo. El uso de una caldera permite calentar el agua de la piscina en periodos relativamente cortos (de 12 a 48 horas), lo cual depende de la temperatura inicial y de las condiciones climatológicas; sin embargo, los costos de operación (consumo de combustible, salario del operario, etc.) y los de mantenimiento resultan cada vez más significativos, además del efecto contaminante provocado por los gases de combustión.

Desde luego, el uso de la energía solar para calentamiento de piscinas resulta muy atractivo, debido a las bajas temperaturas de operación y, en consecuencia, mayor eficiencia térmica del equipo solar (de 60 a 80%).

El área de calentadores solares está en función de los parámetros siguientes: volumen de la alberca, insolación y condiciones climatológicas de la localidad (temperatura ambiente, velocidad del viento, humedad relativa, la piscina, etc.), además de otros factores, como la proyección de sombras y si está cubierta o a la intemperie.

El tipo de calentador que generalmente se emplea consiste en una placa absorbente ennegrecida (metálica o plástica) sin cubierta transparente (vidrio). Esto se debe a que los captadores trabajan a temperaturas muy próximas al ambiente, por lo que las pérdidas térmicas con o sin vidrio son muy similares. El sistema solar se conecta en serie al equipo de filtrado y, en caso necesario, se puede integrar un calentador auxiliar o adaptarse al existente.

CAPÍTULO IV. CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUCCIÓN DE UN COLECTOR SOLAR PLANO.

4.1 CONSTRUCCIÓN DE LOS CALENTADORES SOLARES

Existen actualmente diversos tipos y modelos de colectores solares planos. Probablemente el más sencillo, usando el efecto de invernadero, sea el que se muestra en la figura 4.1.

El dispositivo es un recipiente donde se coloca el agua a calentar; está pintado por dentro con pintura negra, de modo que los rayos incidentes calienten esa superficie, la que a su vez calienta el agua. La temperatura del agua será mayor si el recipiente se aísla térmicamente.

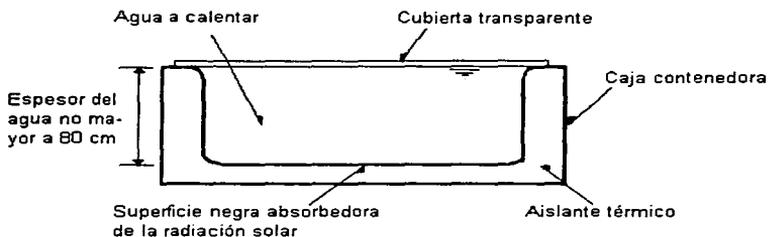


Fig 4.1. Calentador solar compacto.

El inconveniente principal de este calentador es que, llenándolo con agua fría cuando el sol aparece en el oriente, alcanza entre 40 y 45 °C hacia las 15 h en un día despejado, pero como el agua se enfría gradualmente después de esta hora, no es el indicado para baños matutinos.

Se han construido pequeños calentadores de este tipo en fibra de vidrio, que producen aproximadamente 40 l de agua caliente cada día en unidades de área de captación de 65 por 80 cm. mientras menor sea el espesor de la lámina de agua más rápidamente se alcanza la temperatura deseada.

Los destiladores solares directos son una variación de dicho diseño, pues se emplea a lo sumo 1 cm de agua y el vidrio queda inclinado, no horizontal; así, el agua al evaporarse se condensa sobre el vidrio y escurre hacia el borde inferior, del que se recoge en un recipiente adecuado. Estos aparatos pueden producir hasta 5 litros de agua destilada por día y por metro cuadrado.

Los destiladores solares son un ejemplo de captadores en los que el vidrio, al mismo tiempo de favorecer el aprovechamiento del sol en un efecto de invernadero, permite confinar el volumen donde se lleva a cabo un proceso, en este caso destilación. Aunque el aparato es, a la vez, captador, contenedor, evaporador y condensador, cuando tiene vidrio se convierte simultáneamente en captador y contenedor, en el que se almacena el calor acumulado en el agua.

Sin embargo, como se mencionó, el inconveniente de conjuntar en el mismo aparato el captador solar y el almacén de agua caliente reside en que, así como el captador es un ágil absorbedor de energía solar, también es un rápido emisor de calor, por lo que aún con mejoras importantes es difícil que el agua que caliente durante el día la conserve con esa temperatura estando a la intemperie, y más todavía por periodos nocturnos largos. En la mayor parte de las aplicaciones de la energía solar se requiere que el almacén térmico conserve el calor el calor con pérdidas mínimas a lo largo de un lapso de 24 horas. Debido a que los captadores son costosos, se suele especificar que el calor que producen, que se manifiesta en temperaturas del agua de hasta 70 °C, se conserve efectivamente en el almacén térmico con pérdidas de temperatura de unos 2 a 4 °C como máximo. Como se verá, este requerimiento no puede satisfacerse en el captador, sino en tanques térmicos o termos cuyo aislamiento es de cuando menos 5 cm de espesor de material de alta resistencia al flujo de calor, como la lana de vidrio o la espuma de poliuretano. Los termos más eficaces tienen 10 cm de aislante o más a todo el derredor.

Un captador solar convencional, que opera en circuito cerrado con un termotanque, es un poco más elaborado que una caja negra cubierta por un vidrio. La caja puede fabricarse en lámina de metal (fierro o aluminio) y recubrirse interiormente con un espesor de 2.5 cm de lana mineral o vidrio. Dado que el captador alcanza frecuentemente temperaturas del orden de 100 °C no se recomienda usar aislantes plásticos como el poliestireno, que aun cuando tienen las propiedades térmicas deseadas, fallan mecánicamente entre los 70 y 80 °C. Es deseable que el aislante cubra cinco de las seis caras internas de la caja, dejando libre únicamente la superior. En la figura 4.2, la parte diseñada para absorber la radiación solar, o absorbedor, la constituyen dos láminas unidas de tal manera que dejen entre las

uniones un espacio que permita el flujo del agua. Este diseño es eficiente y económico y se popularizó, por ejemplo, en la ciudad de Guadalajara, Jal, donde algunos fabricantes lo ofrecen desde hace cerca de 40 años. Se construye básicamente con dos láminas planas, ocasionalmente avellanadas en los puntos de unión para permitir el flujo del agua a través de los espaciamientos entre láminas, los tornillos o remaches sirven para impedir que las láminas se abomben por efecto de la presión hidrostática. Quizá sea este el mayor inconveniente de un modelo de este tipo, ya que resisten poca presión y tienen que trabajar prácticamente a presión atmosférica.

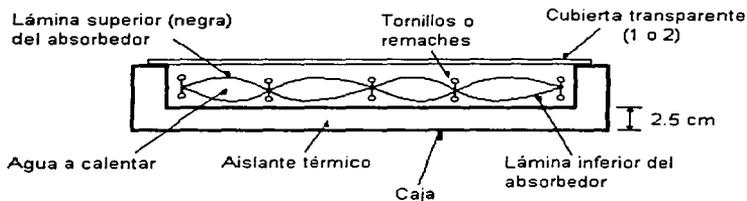


Fig 4.2 Captador plano remachado.

En otras partes del país es más popular el diseño de tubo aletado, ya que su manufactura artesanal es sencilla. Este mismo diseño ha servido de base para construir una serie de captadores a nivel mundial, siendo el más conocido en México el de la aleta moldeada en forma de omega (Ω) a fin de alojar al tubo en su interior. En estos casos, la aleta y el tubo son generalmente de cobre electrolítico, mientras que el absorbedor de láminas paralelas suele ser de fiero negro o galvanizado. La selección del material depende del costo y de la duración esperada. Sin embargo, para prevenir la corrosión acelerada proveniente de la formación de pares galvánicos, no se recomienda soldar metales distintos como fiero y cobre con el mismo absorbedor. En la figura 4.3. se presenta un absorbedor con captadores planos con tubos aletados; aunque son muy parecidos, el que corresponde a la ilustración de arriba es más fácil de fabricarse, pero el de abajo es más eficiente, pues la unión entre la aleta y el tubo es más íntima.

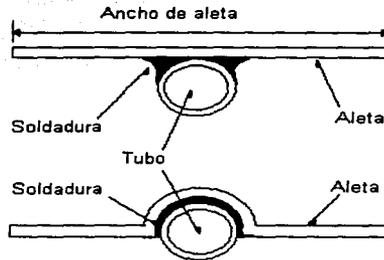


Fig 4.3 Dos tipos de absorbedor para captador plano con tubos aletados

Las conexiones de entrada y salida del agua en el captador pueden ser diametralmente opuestas (fig 4.4), de modo que todos los ductos sean llenados por la misma cantidad de agua. Debido a que la mayoría de los captadores se instalan no horizontales, sino inclinados hacia la dirección sur para aumentar la cantidad de radiación solar interceptada, se prefiere que el captador tenga la entrada por el borde inferior y la salida por el superior.

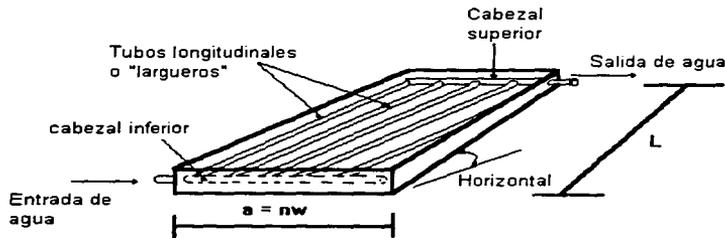


Fig 4.4 Esquema de un captador solar plano.

Cuando el absorbedor es de tubos aletados, al tubo de colección distribuidor inferior se le llama cabezal inferior, al de arriba cabezal superior y a los tubos longitudinales largueros. Cuando cada larguero tiene una aleta simétrica, de ancho w , este mismo ancho será la separación entre largueros, si se instalan n largueros de longitud L , el área de absorción de radiación solar será $n w L$, a la que se le designa área de captación. Por condiciones de economía en la construcción y en la instalación, la mayor parte de los captadores se fabrican en forma modular con un ancho de aproximadamente 1 m y largo de unos 2 m. Así, las necesidades de área de captación se redondean a múltiplos de 2 m^2 .

La razón de alimentar los captadores por el borde inferior obedece a condiciones de circulación y de eliminación de burbujas de aire del captador, ya sea que la circulación resulte por bombeo o de la convección natural. Los captadores se inclinan y se alimentan por abajo, lo cual permite auxiliar la circulación por efecto de flotación o de chimenea del propio captador.

En la figura 4.5 se muestra un captador típico, con absorbedor de tubos aletados. Por su parte, un captador convencional, ya concluido, se presenta en la figura 4.6.

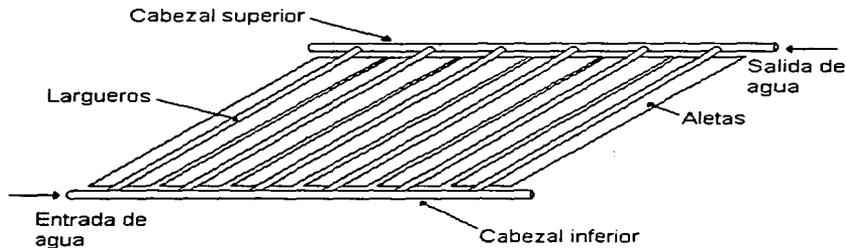
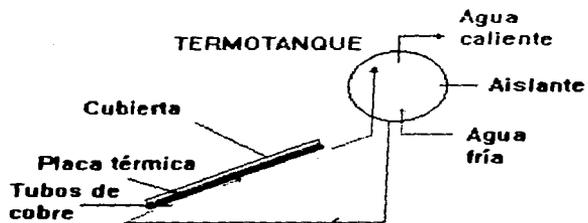


Fig 4.5 Captador solar desnudo



(a)



(b)

Figura 4.6. (a) Diagrama del colector y su termotanque. (b) Colector solar con tanque horizontal.

4.1.1 TERMOTANQUE

El tanque de almacenamiento de agua caliente tiene capacidades diversas, que van desde los 150 hasta los 500 litros. Se construye generalmente de lámina de fierro. Existen de tipo horizontal y de tipo vertical.

Las conexiones de un termotanque son normalmente cuatro: la admisión general de agua fría de repuesto, la salida principal de agua caliente a los servicios, y las dos que conectan el tanque con el o los captadores.

Para mantener el agua caliente del tanque durante la noche se forra comúnmente con aislantes térmicos tales como lana de vidrio, perlita, lana mineral y espuma de poliuretano, con espesores de hasta 10 cm.

A su vez dicho aislante debe ser protegido de la intemperie con un forro de algún material, como puede ser lámina galvanizada, en forma cilíndrica.

4.2 CARACTERÍSTICAS DEL COLECTOR EN ESTUDIO

Por recomendación de los fabricantes consultados (anexo 1) y debido a las características climáticas del AMCM, el tipo de calentador solar (comercial) que se recomienda para ser utilizado en la Ciudad de México tiene las siguientes características:

CAPTADOR

Absorbedor con tubos aletados. Se conforma por seis distribuidores de tubo de cobre de 10 mm, soldados a aleta de cobre en omega con superficie selectiva o con superficie esmaltada negra de alta eficiencia para captar el sol. Cabezales de distribución de cobre con diámetro de 25 mm soldados monolíticamente a los tubos.

Gabinete (caja) con marco de lámina galvanizada o tipo Pintro (galvanizada, bonderizada, pintada, horneada y con poliéster en silicon). Respaldo también metálico.

Aislamiento de la caja con 25 mm de poliuretano expandido sobre el gabinete, reflejante de foil de aluminio.

Una *cubierta* de cristal flotado de 4 mm, sello de silicon entre el cristal y la caja.

La *cubierta* puede ser también de policarbonato doble de 6 mm de espesor.

TERMOTANQUE

Del tipo horizontal, construido de lámina de hierro con una capacidad promedio de 200 litros. Aislado con espuma de poliuretano y recubierto con un forro de lámina galvanizada.

Para aumentar su duración, se operan en ausencia de aire. Esto se logra procurando que el tanque opere a mayor presión que la atmosférica, y alimentándolo con agua fría desde un tinaco a mayor altura.

4.3 SISTEMAS HIBRIDOS

Un inconveniente del calentador solar, es el hecho de que en días nublados consecutivos, llega el momento en que el usuario no tiene agua caliente. Para eliminar este problema, comunmente se instala el calentador solar en serie con un calentador de gas convencional, en un arreglo como el siguiente:

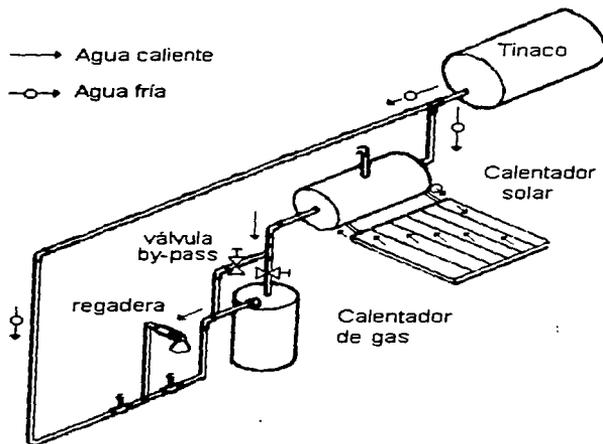


Fig. 4.7 Sistema híbrido (solar - gas) de calentamiento de agua.

También existen sistemas comerciales híbridos del tipo solar - eléctrico. Su construcción es igual a la de un calentador solar convencional, solamente que en el termostanque se introduce una resistencia eléctrica (comúnmente de 1 kW). La resistencia cuenta con un control automático que hace que se encienda cuando la temperatura del agua en el interior del tanque disminuye. Esto permite tener un sistema autosuficiente, ya que aún en días nublados, el usuario tendrá agua caliente.

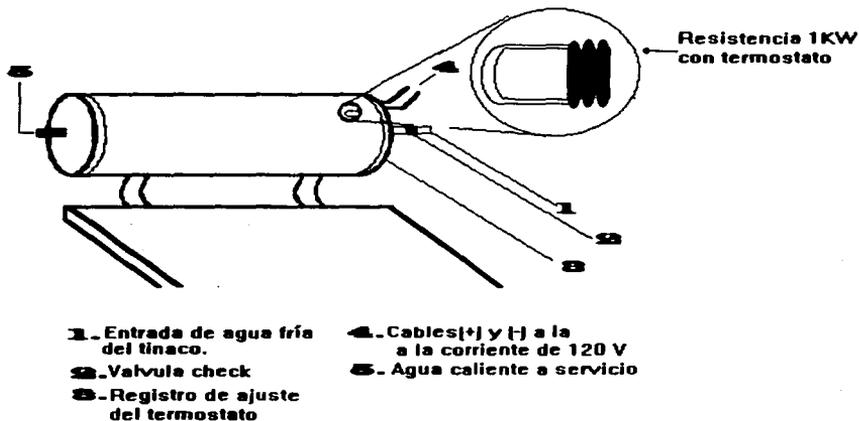


Fig 4.7 Calentador solar híbrido del tipo solar - eléctrico.

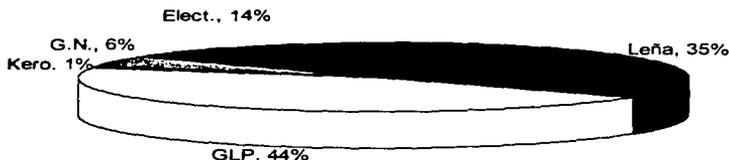
CAPÍTULO V.

CONSUMO DE ENERGÍA EN SECTOR RESIDENCIAL MEXICANO.

5.1 NIVEL NACIONAL

En 1994 el sector residencial mexicano registró un consumo de energía final de 708 PJ, lo cual representó cerca del 20% del consumo final de energía a nivel nacional. La Figura 5.1 muestra la diversidad de fuentes de energía para este sector. Como se observa, el gas licuado de petróleo y el gas natural representan el 50% del consumo final del sector residencial.

Figura 5.1. Consumo final de energía del sector residencial mexicano (1994)



En México, los energéticos que se utilizan para calentamiento de agua y cocción de alimentos son esencialmente el GLP y el gas natural (G.N.).

Reconociendo que el consumo total de un energético es el producto del consumo específico promedio de energía de un equipo doméstico por la saturación del equipo (porcentaje de viviendas equipadas) por el número total de viviendas, puede conocerse el consumo de GLP y G.N. para cocción de alimentos y calentamiento de agua a nivel nacional. De esta forma,

$$E_c = V \cdot S_c \cdot e_c \quad (1)$$

$$E_{ca} = V \cdot S_{ca} \cdot e_{ca} \quad (2)$$

Donde :

E_c = Consumo de energía para cocción de alimentos
 E_{ca} = Consumo de energía para calentamiento de agua
 V = Número total de viviendas
 S_c = Saturación de estufas de gas
 S_{ca} = Saturación de calentadores de gas
 e_c = Consumo promedio de energía de una estufa de gas
 e_{ca} = Consumo promedio de energía de un calentador de gas

De acuerdo con la Encuesta Ingreso Gasto del INEGI para 1992 (ENIGH-92, INEGI(a), 1992), la saturación de estufas y calentadores de gas fue de 86.0% y 29.2% respectivamente para un número total de viviendas de 17, 550, 829 en el país. Utilizando un consumo específico de calentadores de gas (explicado en la sección 7 de este trabajo) de 15.81 GJ/vivienda/año y de 13.7 GJ/vivienda/año (Maser et al. 1991) para estufa de gas, se obtiene que el consumo de energía de estos usos finales fue de 287.8 PJ, que representó cerca del 80% del consumo total de GLP y G.N. utilizado por el sector residencial en 1992.

5.2 CONSUMO DE ENERGÍA PARA CALENTAMIENTO DE AGUA EN EL AMCM

En 1992, la demanda final de combustibles se dividió de la siguiente manera : cerca del 54% se destinó para cubrir la demanda del sector transporte, 35% para industria y servicios y 11% para el sector residencial, del cual, el GLP representa más del 95% (PICCA 1992).

De acuerdo con la Encuesta Ingreso Gasto para el Area Metropolitana de la Ciudad de México (EIGH-AMCM-92, INEGI(b), 1992), el AMCM registró un total de 3 millones 445 mil viviendas, de las cuales, el 99% contaba con estufa de gas y solamente el 54% con calentador de gas para agua. La Tabla 1, muestra como se incrementó la saturación de este equipo doméstico entre 1989 y 1992 y cuál fue su reflejo en el consumo de energía para el AMCM. Estos resultados indican que para 1992, el consumo de GLP para cocción de alimentos y calentamiento de agua en esta zona del país, fue de 76.14 PJ, lo cual significó el 25% del consumo nacional de GLP en el sector residencial.

Tabla 5.1. Incremento en la saturación de equipo doméstico de gas

Equipo	Saturación 1989	Saturación 1992	Consumo unitario (GJ/viv/año)	Consumo total (1989) (PJ)	Consumo total (1992) (PJ)
Estufas	97%	99%	13.7	40.65	46.72
Calentadores de agua	51%	54%	15.81	24.67	29.41
Número de viviendas (miles)	3,059	3,445		65.32	76.14

Fuente : Saturación: EIGH-AMCM (INEGI 1989, INEGI(b)1992)

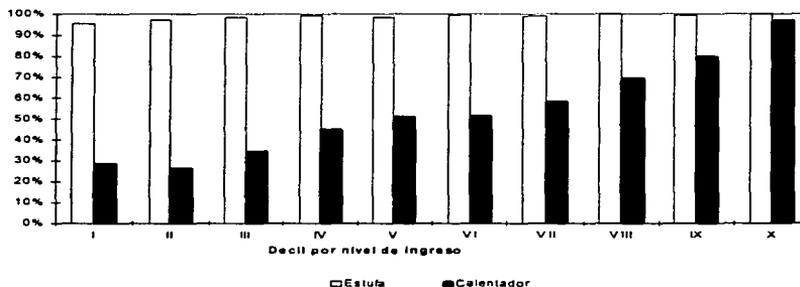
Consumo unitario estufa: (Masera et al., 1991)

Consumo unitario calentador: estimación propia (ver sección de consideraciones).

Sin embargo, la saturación de equipo doméstico, particularmente de calentadores de agua, depende del nivel de ingreso familiar. De la misma EIGH-AMCM-92, puede reconocerse que para el decil de menor ingreso, la saturación de calentadores de gas alcanzó el 29%, mientras que para el de mayor ingreso, esta alcanzó el 97% (Figura 5.2).

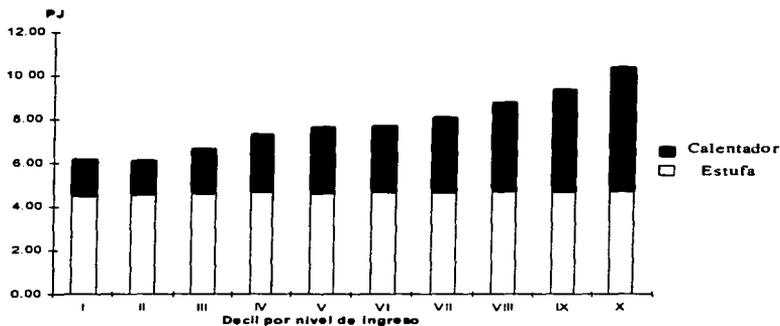
Estimando el consumo de GLP para calentamiento de agua por decil de ingreso, mediante la misma metodología descrita en las ecuaciones (1) y (2), es claro que éste tiene una dependencia prácticamente monótona con el ingreso de las viviendas. Como lo muestra la Figura 5.3, los últimos tres deciles consumen prácticamente el mismo GLP que los primeros cinco. Esto se puede observar más claramente en la Tabla 5.2.

Figura 5.2. Saturación de equipo doméstico por decil de ingreso en el AMCM



Fuente : EIGH-AMCM-92 (INEGI(b), 1992)

Figura 5.3. Estimación del consumo de GLP por equipo por decil de ingreso en el AMCM



Fuente : Estimación propia a partir de datos de EIGH-AMCM-92 (INEGI(b), 1992) y Masera et al. 1991

Tabla 5.2. Consumo de GLP para calentamiento de agua por decil de ingreso en el AMCM

Decil de ingreso	Saturación de calentador de gas	Consumo de energía por decil* PJ
Total	54%	29.41
I	29%	1.58
II	27%	1.47
III	34%	1.85
IV	45%	2.45
V	51%	2.77
VI	51%	2.77
VII	58%	3.16
VIII	69%	3.76
IX	80%	4.36
X	97%	5.28

*consumo unitario :15.81 GJ por vivienda al año

Fuente : Elaboración propia a partir de datos de INEGI. (INEGI, 1992)

5.3 TIPO DE VIVIENDAS EN EL AMCM

Debido a que en este estudio se analiza el potencial de ahorro de energía debido a la implantación de calentadores solares híbridos en el AMCM, es necesario conocer el tipo de viviendas de esta zona. La característica de la vivienda que más interesa para este trabajo, es si son casas solas o en departamento, por nivel de ingreso.

Esta diferenciación se debe a las características de los sistemas híbridos. Como se menciona en secciones anteriores, los calentadores solares requieren de un termotanque que almacene el agua que se calienta a través del colector. El termotanque tiene una capacidad que oscila entre 150 y 200 lt. Los edificios tienen estructuras que pueden o no, sostener un peso de varios termotanques. Sin embargo, para justificar la implantación de calentadores solares en edificios, es necesario hacer una evaluación estructural de los mismos. Este nivel de desagregación en el análisis está fuera de este trabajo. Por esta razón solamente se analizará el potencial de ahorro de energía, considerando que los calentadores híbridos serán implantados en casas solas.

Por otro lado, el nivel de ingreso determina la posibilidad de adquisición de un calentador de gas, así como características de la vivienda indispensables para la implantación de esta tecnología, como son disponibilidad de agua corriente, material de techos, etc.

En cuanto a las restricciones existentes para las características de la vivienda, se tienen las siguientes:

1. Casas solas en el AMCM.

Debido a la restricción mencionada en los párrafos anteriores, este estudio solo se realizó para el caso de la implantación de calentadores solares en casas solas. De acuerdo con la EIGH-AMCM-92, el número de casas solas asciende a 2,217,163, lo cual significó el 64.14% del total de viviendas para el AMCM para el año de 1992.

2. Disponibilidad de agua entubada dentro de la vivienda.

De acuerdo con el XI censo general de población y vivienda, 1990. Del total de casas solas, las que cuentan con agua entubada ya sea dentro o fuera de la vivienda, pero siempre dentro del terreno, suman un total de 2,106,305, lo cual significó el 95% del total de casas solas del AMCM para el año de 1990.

3. Disponibilidad de techo que soporte el peso del calentador.

De acuerdo con la EIGH-AMCM-92, el número de casas solas que cuentan con techos de materiales ligeros (incluye lámina de cartón, palma, tejamanil y otros materiales) es de 161,853, lo cual significó el 7.3% del total de casas solas para el AMCM. Por lo que el total de viviendas que cuentan con techo propicio para la instalación de un calentador solar, es de 2,055,310, lo cual representó el 92.7% del total de casas solas para el AMCM en 1992.

De acuerdo con estas tres restricciones (tabla 5.4), y debido a que no se cuenta con información cruzada de las características de la vivienda, (esto es, conocer del total de viviendas con agua entubada, cuántas tienen techo resistente) consideramos que el total de casas solas en las que no es factible la instalación de un calentador solar es igual al total que se obtiene de la restricción mayor, que en este caso es el de disponibilidad de techo que soporte el peso del calentador solar. Por lo que el total de casas solas en las que si es factible técnicamente la instalación de calentadores solares es de 2,055,310, lo cual significó el 92.7% del total de casa solas, y el 59.5% del total de viviendas para el AMCM en 1992.

También existe la restricción del ingreso que significa la posibilidad de adquisición de un calentador solar híbrido. El salario mínimo vigente en 1997, será de 26.8 pesos diarios. El calentador híbrido y el calentador solar representan una inversión de 5.4 y 3.3 salarios mínimos mensuales respectivamente. Es difícil suponer que las familias con ingresos menores a los 4 salarios mínimos estarían en condiciones de hacer una inversión tan alta, aún y cuando se dieran facilidades para su compra (crédito, por ejemplo). Por tanto, se considera que sólo las familias con un nivel de ingreso mayor a 3 salarios mínimos estarían en condición de adquirir un calentador solar híbrido. La tabla 5.3 muestra la distribución de las casas solas y de departamentos y vecindades por nivel de ingreso (múltiplos de salario mínimo). De acuerdo con esta información, el número de viviendas en casa sola que alcanza un nivel de ingreso mayor a los tres salarios mínimos es de 1,198,590, lo cual significó el 34.8% del total de viviendas del AMCM para el año de 1992.

Tabla 5.3. Viviendas, según tipo por múltiplos de salarios mínimos generales de acuerdo a su ingreso corriente total trimestral (Miles)

Tipo de vivienda	múltiplos de salarios mínimos generales											
	Total	0.0 a 0.5	0.51 a 1.00	0.01a 1.50	1.51 a 2.00	2.01 a 3.00	3.01 a 4.00	4.01 a 5.00	5.01 a 6.00	6.01 a 7.0	7.1 a 8.0	8.01 y más
Total nacional	3.445	1.7	9.4	38.44	99.6	451.5	446.8	449.1	355.1	256.5	204.5	1132.4
Casas solas	2.217	0	5.5	10.2	52.8	253.7	269.7	289.3	202.6	179.5	131.3	821.9
Depto en edificio o casa en vecindad	1.213	1.7	3.9	28.2	46.8	190.5	172.3	159.8	150.4	76.9	73.2	308.9
Cuartos de azotea	15.9	0	0	0	0	7.3	4.8	0	2.1	0	0	1.7

Fuente : EIGH-AMCM-92. Características de la vivienda por niveles de Ingreso. P. 15. (INEGI(b)-1992)

Tabla 5.4. Viviendas, según tipo y características de construcción en el AMCM.

Característica de la vivienda			
	Total	% del total de viviendas	% del total de casas solas
Total de viviendas	3,445,004	100%	-
Casas solas	2,217,163	64,17%	100%
Con agua entubada	2,106,305	61,14%	95%
Con techo que soporte el peso del calentador solar*	2,055,310	59,66%	92,7%
Con techo de materiales ligeros**	161,853	4,70%	7,30%

* Incluye lámina metálica, losa de concreto, tabique o ladrillo.

** Incluye lámina de cartón, palma, tejamanil o madera y otros materiales

Fuente: Elaboración propia a partir de la EIGH-AMCM-92

CAPÍTULO VI.

METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS FINANCIERO.

El objetivo de esta sección es presentar algunas metodologías de análisis financiero, que permiten evaluar la factibilidad desde el punto de vista del usuario, de la adquisición de un calentador híbrido para calentamiento de agua.

Estas metodologías son una herramienta que permite comparar los costos de inversión y mantenimiento, tomando en cuenta el valor del dinero en el tiempo, con el beneficio que en este caso otorga el ahorro de GLP. Los métodos que se presentan a continuación, son equivalentes, es decir, si el proyecto de inversión es analizado correctamente con cada uno de los métodos, la decisión recomendada será la misma.

Es importante señalar que cualquiera de las metodologías propuestas puede ser evaluada a precios corrientes o constantes. En el primer caso deberá tomarse en cuenta una inflación estimada anual, y la tasa de interés deberá considerar la inflación. En el segundo caso, la inflación está incluida al utilizar el valor constante de la moneda. La diferencia fundamental en la utilización de estos dos métodos es el precio del GLP. En el caso de precios corrientes se estima que el incremento en el precio del GLP para los siguientes 20 años será el estimado por la Secretaría de Hacienda en la actualidad (12.7% anual). En el caso de precios constantes se supone que el precio del GLP aumenta igual que la inflación. Aun y cuando se podría usar el mismo método, la utilización de ambos permite mostrar ambas metodologías.

Por otro lado, es importante considerar que la tasa de interés será considerada como una tasa de recuperación mínima atractiva (TREMA). Esta tasa se fija con relación al costo del capital, que usualmente es una tasa promedio dependiendo de la mezcla de financiamiento de deuda y capital propio. Para nuestro caso se toma una TREMA ligeramente mayor que el costo del capital, para así garantizar un retorno de la inversión libre de riesgo.

En todos los casos, con excepción del incremental, el análisis financiero se realiza primero como si fuese un proyecto individual, en donde se calcula el VPN para cada proyecto a precios corrientes, por lo que el proyecto que obtenga un valor absoluto menor será, por tanto, el más rentable. Posteriormente se realiza el análisis financiero tomando en

cuenta el ahorro de energía, en donde el costo inicial es igual al costo del calentador híbrido, los gastos de operación y mantenimiento son iguales a los costos de mantenimiento más el costo del energético empleado (GLP o electricidad), el ahorro o beneficio del proyecto es igual al ahorro de energía comparando la tecnología convencional con la híbrida.

6.1 MÉTODO DEL VALOR ANUAL EQUIVALENTE

Con este método, todos los ingresos y gastos que ocurren durante un periodo, son convertidos a una anualidad equivalente. Cuando dicha anualidad es positiva, entonces el proyecto es recomendable. De acuerdo con Coss (Coss, 1994) la expresión matemática de este método es la siguiente:

$$A = -p(A/p, i\%, n) + \left[\sum_{t=1}^n S_t / (1+i)^t \right] (A/p, i\%, n) + F(A/F, i\%, n) \quad (3)$$

Donde:

A = Anualidad equivalente

p = Inversión inicial

S_t = Flujo de efectivo neto al año t

F = Valor de rescate

n = Número de años de vida del proyecto

i = Tasa de recuperación mínima atractiva (TREMA)

$$(A/p, i\%, n) = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (4)$$

$$(A/F, i\%, n) = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (5)$$

La fórmula puede ser presentada de otra forma, si se hace uso de la identidad:

$$(A/p, i\%, n) = (A/F, i\%, n) + i\% \quad (6)$$

y si además se supone que los flujos netos de efectivo son iguales para todos los años, la ecuación (3) se transforma en:

$$A = S - [(p-F) (A/p, i\%, n) + F(i\%)] \quad (7)$$

Cuando este valor es positivo en la evaluación de un proyecto individual, se considera que el proyecto es rentable.

Por otro lado, cuando las alternativas a considerar tienen diferentes vidas útiles, como es el caso, (ya que el calentador solar tiene una vida útil de 20 años y el de GLP de 10 años), la metodología adquiere particular interés. Una opción es evaluar el proyecto a 20 años, considerando que en el año cero se realiza la inversión de un calentador solar y uno de gas y a los diez años de uso, se realiza una segunda inversión para adquirir un calentador de gas. En este caso, la inversión del segundo calentador de gas, realizada a los diez años de la primera inversión, deberá pasarse a valor presente (evaluado en el año cero). La otra opción es evaluar el proyecto a diez años y considerar un valor de rescate del calentador solar. Este valor de rescate se recomienda calcular como el valor presente (evaluado al final del horizonte de planeación) de los ingresos netos que el calentador solar tiene en los periodos subsiguientes al horizonte de planeación seleccionado (anexo 2).

6.2 MÉTODO DEL VALOR PRESENTE NETO

Este es uno de los criterios más ampliamente utilizados en la evaluación de proyectos de inversión. Consiste en determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. (Coss R., 1994). Cuando dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial, entonces es recomendable que el proyecto sea aceptado. La fórmula matemática utilizada para este valor es la siguiente:

$$VPN = S_0 + \sum_{t=1}^n S_t / (1+i)^t \quad (8)$$

Donde:

VPN = Valor presente neto

S_0 = Inversión inicial

S_t = Flujo de efectivo neto del periodo t

n = Número de periodos de vida del proyecto

i = Tasa de recuperación mínima atractiva

En la evaluación de un proyecto, cuando el VPN es mayor que cero, se considera que debe realizarse la inversión. Al igual que en el caso del valor anual equivalente, deben considerarse la diferencia en las vidas útiles del calentador solar y la del GLP.

6.3 TASA INTERNA DE RENDIMIENTO

La tasa interna de rendimiento está definida como la tasa de interés que reduce a cero el valor presente, el valor futuro o el valor anual equivalente de una serie de flujos de efectivo, es decir, es aquella tasa i^* que satisface cualquiera de las siguientes ecuaciones:

$$\sum_{t=0}^n \frac{S_t}{(1+i^*)^t} = 0 \quad (9)$$

$$\sum_{t=0}^n S_t (1+i^*)^{n-t} = 0 \quad (10)$$

$$\sum_{t=0}^n S_t (P/F, i^*, t)(A/P, i^*, n) = 0 \quad (11)$$

En términos económicos, la tasa interna de rendimiento representa el porcentaje o la tasa de interés que se gana sobre el saldo no recuperado de la inversión, de tal modo que el saldo al final de la vida de la propuesta es igual a cero (Coss 1994). Normalmente puede considerarse que si la tasa interna de rendimiento es mayor que la tasa de interés, el proyecto debe ser aceptado.

6.4 COSTO DE ENERGÍA AHORRADA

El costo de energía ahorrada es una metodología de análisis financiero de tipo costo beneficio, ya que muestra la relación entre el costo adicional de una tecnología eficiente (en este caso el calentador híbrido) y el ahorro de energía generado por dicha tecnología. Para su evaluación se utilizan los costos anuales de inversión, operación y

mantenimiento (al igual que en el método del Valor Anual Equivalente) y los ahorros anuales de energía. Su expresión matemática es la siguiente (Koomey et al. 1991):

$$CEA = (A/p, i\%, n) \frac{S_{o\text{ef}} - S_{o\text{c}}}{E_{\alpha} - E_{\text{ef}}} \quad (12)$$

Donde :

$S_{o\text{ef}}$ = Inversión inicial de la tecnología eficiente

$S_{o\text{c}}$ = Inversión inicial de la tecnología convencional

E_{α} = Consumo de energía para el año t de la tecnología convencional

E_{ef} = Consumo de energía en el año t de la tecnología eficiente

n = Vida de la tecnología

Al igual que en los casos anteriores, se requiere hacer un ajuste de la vida de la tecnología, en el caso de que estas no sean iguales. La forma de hacer este ajuste es equivalente al presentado en la de Valor Equivalente Anual. Por esta razón el resultado del CEA sólo se presenta cuando se hace la evaluación a diez años (vida del calentador de gas) y a precios constantes.

El resultado del método de Consumo de Energía Ahorrada (CEA) tiene las unidades de "energía/peso". El resultado entonces, puede compararse con el precio de la fuente de energía. Si el CEA del calentador híbrido resulta ser menor al precio unitario de GLP, entonces la recomendación es llevar a cabo la inversión. Si por el contrario el precio unitario del GLP es mayor al CEA del calentador híbrido, significará que la inversión no tiene sentido en términos económicos.

6.5 PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

El Periodo de Recuperación de la Inversión se mide como la diferencia en el costo inicial de las tecnologías entre el costo anual de energía ahorrada. El resultado es por supuesto en unidades temporales (años) e indica el número de años en los cuales será recuperada la inversión inicial. Este método, en términos formales, es poco indicativo, ya que no

toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo, sin embargo es muy utilizado en la evaluación de proyectos. Su expresión matemática es la siguiente :

$$P. Rec. = \frac{S_{o_{ef}} - S_{o_c}}{C_{e_{\alpha}} - C_{e_{\alpha t}}} \quad (13)$$

Donde :

$S_{o_{ef}}$ = Inversión inicial de la tecnología eficiente

S_{o_c} = Inversión inicial de la tecnología convencional

$C_{e_{\alpha}}$ = Consumo de energía para el año t de la tecnología convencional en unidades monetarias

$C_{e_{\alpha t}}$ = Consumo de energía en el año t de la tecnología eficiente, en unidades monetarias.

6.6 ANÁLISIS INCREMENTAL

Cuando se analizan alternativas mutuamente exclusivas, son las diferencias entre ellas lo que será más relevante para tomar una decisión. El valor presente del incremento en la inversión precisamente determina si se justifican esos incrementos de inversión que demandan las alternativas de mayor inversión.

Cuando se comparan dos alternativas mutuamente exclusivas mediante este enfoque, lo primero que debe hacerse es determinar los flujos de efectivo netos de la diferencia entre los flujos de efectivo de las dos alternativas analizadas. En seguida se determina si el incremento en la inversión se justifica. El incremento en la inversión se considera aceptable si su rendimiento excede la TREMA, es decir, si el valor presente del incremento en la inversión es mayor que cero, el incremento se considera deseable y la alternativa que requiere esta inversión adicional se considera como la más atractiva.

Cuando se aplica el criterio del valor presente del incremento en la inversión en la selección de alternativas mutuamente exclusivas, los pasos a seguir serán:

1. Poner las alternativas en orden ascendente de acuerdo a su inversión inicial.

2. Seleccionar como mejor alternativa aquella de menor costo. Cabe señalar que la alternativa de menor costo siempre será el hecho de "no invertir", es decir, esta alternativa será la base contra la cual se comparará la siguiente alternativa de menor costo. La alternativa de no invertir es conveniente considerarla, ya que se puede presentar el caso de que todas las alternativas disponibles tengan valores presentes negativos.

3. Comparar la mejor alternativa con la siguiente de acuerdo al ordenamiento del paso 1. La comparación entre estas dos alternativas se basa en determinar el valor presente del incremento en la inversión (flujos de efectivo diferenciales). Si este valor presente es mayor que cero, entonces la alternativa retadora se transforma en la mejor alternativa. Por el contrario, si el valor presente del incremento en la inversión es negativo, entonces la mejor alternativa sigue siendo la defensora y la retadora se elimina de posterior consideración.

4. Repetir el paso 3 hasta que todas las alternativas disponibles hayan sido analizadas. La alternativa que maximiza el valor presente y proporciona un rendimiento mayor que la TREMA, es la alternativa de mayor inversión cuyos incrementos de inversión se justificaron.

6.7 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En el análisis económico se utilizan estimaciones del futuro para ayudar a tomar decisiones. En vista de que las estimaciones pueden ser incorrectas en algún grado, los errores se presentan en los análisis económicos. El efecto de la variación en el estimado utilizado en los análisis económicos puede determinarse utilizando el análisis de sensibilidad; algunos de los factores comúnmente investigados son: TREMA, vida económica, todo tipo de costos y otros factores. Usualmente, un factor varía a la vez y es independiente de los otros factores asumidos. Esta suposición no es correcta en la mayoría de los casos de la vida real, pero es necesaria en vista de que no es matemáticamente posible estimar realmente con toda seguridad, por lo que es necesario comparar diferentes escenarios posibles.

Un análisis de sensibilidad es, por tanto, un estudio para ver de qué manera se alterará la decisión económica si varían ciertos factores. Por ejemplo, la variación de la tasa de retorno mínima atractiva (TREMA) puede no alterar una decisión cuando todas las propuestas comparadas obtendrían un retorno mucho mayor que la TREMA; de esta manera, la decisión es relativamente insensible a la TREMA. Sin embargo, si hay un cambio crítico en la vida útil económica, la decisión es sensible a las estimaciones de la vida útil.

CAPÍTULO VII.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS FINANCIERO.

7.1 CONSIDERACIONES PARA EL PROYECTO SOLAR - GLP

A continuación se presentan las hipótesis consideradas en la evaluación del proyecto.

- a) Un calentador de agua para uso doméstico de tipo híbrido solar-GLP consta de un calentador solar (que incluye colector y termotanque) y un calentador de GLP.
- b) Con base en un estudio de mercado se encontró que un calentador solar (tubos de cobre, pintura negra, un vidrio y termotanque con una capacidad promedio de 250 lt) tenía un costo promedio en septiembre de 1996, de 2707 pesos (Anexo 1). El costo de un calentador de GLP, con una capacidad promedio de 76 lt es de \$1069 pesos.
- c) De acuerdo con datos de fabricantes y un estudio de mercado (Anexo 1) se considera que el calentador solar tiene una vida útil de 20 años y el calentador de gas de 10 años.
- d) De acuerdo con datos de fabricantes se considera que el costo de mantenimiento anual de ambos calentadores (a precios actuales) es de 30 pesos.
- e) Se consideran 4.5 personas promedio por hogar (INEGI (b)), con un consumo diario de 40 lt de agua caliente por persona.
- f) En el caso del calentador de gas se suponen calentadores automáticos con una capacidad promedio de 76 lt, con una eficiencia del 60%. También se considera que el piloto consume 15% adicional al consumo de GLP del calentador (OakRidge 1987). Se supone adicionalmente, que el calentador de gas solamente se enciende una vez al día para cubrir el gasto de agua necesario.
- g) Se considera que el calentador solar será utilizado el 65% del año. Este valor se obtiene de datos del meteorológico nacional que indican que en el AMCM hay un promedio de 128 días nublados por año (lo que equivale al 35% del año), por lo que en estos días el calentador solar no se utilizará.
- h) Se considera una tasa de inflación del 20% anual, una tasa interna de rendimiento atractivo de 27% para precios corrientes y de 7% para pesos constantes.

- i) El precio de GLP se considera de 2.28 pesos por kilogramo, que será el precio promedio del año de 1997. Para el análisis a precios constantes, se estima que el incremento anual en el precio del GLP será igual a la inflación (20% anual). Para el caso de precios corrientes, el incremento anual se estima en 12. 7% como de hecho lo tiene proyectado la Secretaría de Hacienda.

Tabla 7.1. Consideraciones generales

DATOS GENERALES:

Tasa de inflación anual =	20 [%]
TREMA anual (precios corrientes) =	27 [%]
TREMA anual (Precios constantes) =	7 [%]
Precio del G.L.P. =	2.28 [\$/kg]
Poder Calorífico Inferior =	49888.105 [kJ/kg]
Densidad del G.L.P. =	0.5553404 [kg/lt]
Cp del agua =	4.186 [kJ/kg°K]
Gradiente de calentamiento =	30 [°C]
Consumo de agua por persona =	40 [lt/persona]
Número de personas en vivienda =	4.5 [personas]
Consumo anual de GLP en Kg =	316.98 Kg

CALENTADOR DOMESTICO CONVENCIONAL:

Precio calentador =	1069 [\$/]
Operación y Mantenimiento =	30 [\$/año]
Eficiencia del calentador =	60% [%]
Periodo de vida útil =	10 [años]

CALENTADOR SOLAR:

Precio calentador =	2707 [\$/]
Operación y Mantenimiento =	30 [\$/año]
Periodo de vida útil =	20 [años]
Factor de uso =	65 [%]

7.2 RESULTADOS

De acuerdo a las consideraciones mencionadas en la sección anterior, se realiza el análisis financiero considerando los proyectos calentador de GLP y calentador solar híbrido (solar-GLP) como dos *alternativas individuales* bajo la metodología del Valor Presente Neto, analizando el caso de precios corrientes y el de precios constantes. Posteriormente se realiza el análisis del proyecto calentador solar híbrido tomado en cuenta que el beneficio del proyecto es igual al ahorro de energía comparando la tecnología convencional con la híbrida. Se analiza el proyecto como una alternativa mutuamente exclusiva para dos casos: aquellos que no cuentan con ningún calentador (como en las nuevas unidades habitacionales) y el caso en que ya se cuenta con un calentador de GLP. Para esta segunda opción se hace la consideración adicional que el actual calentador de gas tendrá una vida adicional promedio de 5 años (se consideran otros valores en la siguiente sección del análisis de sensibilidad). En el flujo de efectivo se consideran como gastos anuales los gastos en mantenimiento y como beneficio el ahorro de GLP.

El costo del calentador híbrido es la suma del costo del calentador solar más el calentador de gas. Como el calentador de gas tiene una vida de 10 años y el solar de 20, se supone una segunda compra de calentador de gas en el año 10. Para ello, en el caso de la evaluación a precios constantes se supone el mismo precio del primero y el segundo calentador y se calcula el valor presente el desembolso en el año 10. En el caso de precios corrientes se estima una inflación del 20% anual, con base en la cual se calcula el valor futuro del calentador y posteriormente se calcula el valor presente del mismo con una TREMA del 27%.

7.2.1 ANÁLISIS INDIVIDUAL DE LOS PROYECTOS

Evaluación a precios corrientes.

De acuerdo con las ecuaciones (4) y (8), los resultados para la evaluación a 20 años del calentador de GLP y del híbrido solar-GLP se presentan en las tablas 7.2. y 7.3. respectivamente. Los flujos de efectivo de ambos proyectos se muestran en el anexo 2.

**Tabla 7.2. Resultados de la evaluación financiera:
Precios corrientes, evaluación a 20 años
Calentador de gas**

Inversión inicial	1675.39
Gasto en GLP (año 1)	814.51
Gasto en mantenimiento (año1)	30
A/P, I, 20	0.272
Resultado:	
VPN	- 6614.69

Notas: Precio del GLP: \$2.28/Kg en el año inicial con tasa de crecimiento del 12.7% anual.
Inflación: 20%, TREMA:27%
Precio del calentador de gas considerando la compra del segundo calentador en el año 10: 1675,39 pesos. Vida calentador de gas: 10 años

**Tabla 7.3. Resultados de la evaluación financiera:
Precios corrientes, evaluación a 20 años
Calentador híbrido solar-GLP**

Inversión inicial	4382.39
Gasto en GLP (año 1)	285.08
Gasto en mantenimiento (año1)	60
A/P, I, 20	0.272
Resultado:	
VPN	- 6686.67

Notas: Precio del GLP: \$2.28/Kg en el año inicial con tasa de crecimiento del 12.7% anual.
Inflación: 20%, TREMA:27%
Precio del calentador híbrido considerando la compra del segundo calentador en el año 10: 4382,39 pesos. Vida calentador de gas: 10 años
Vida del calentador solar: 20 años

De acuerdo con los resultados expuestos en las tablas 7.2. y 7.3., podemos observar que el valor absoluto del VPN para el proyecto calentador solar híbrido es mayor que el valor para el proyecto calentador de GLP. Esto nos indica que bajo una evaluación a 20 años, tomando precios corrientes a una inflación del 20%, una TREMA de 27%, y un aumento del GLP de 12.7% anual, el calentador de GLP es más rentable.

Cabe señalar que los resultados obtenidos bajo este análisis pueden considerarse como nuestro escenario base, esto es, el escenario que considera un aumento del GLP de 12.7% anual, que es de hecho el aumento mínimo esperado para este energético. Es importante observar que el VPN de ambos proyectos es muy cercano (con una diferencia de solo 1.09% en favor del calentador de GLP). Este valor se refleja si obtenemos la tasa de aumento del GLP a la cual los proyectos se igualan en cuanto a VPN, la cual debería ser de 13.2% anual

Evaluación a precios constantes.

De acuerdo con las ecuaciones (4) y (8), los resultados para la evaluación a precios constantes a 20 años del calentador de GLP y del híbrido solar-GLP se presentan en las tablas 7.4. y 7.5. respectivamente.

**Tabla 7.4. Resultados de la evaluación financiera:
Precios constantes, evaluación a 20 años
Calentador de gas**

Inversión inicial	1612.43
Gasto anual en GLP	722.72
Gasto anual en mantenimiento	30
A/P, 7%, 20	0.09
Resultado:	
VPN	- 9586.76

Notas: Precio del GLP: \$2.28/Kg constantes, TREMA: 7%
Precio del calentador de gas considerando la compra del segundo calentador en el año 10: 1612.43 pesos. Vida calentador de gas: 10 años

**Tabla 7.5. Resultados de la evaluación financiera:
Precios constantes, evaluación a 20 años
Calentador híbrido solar-GLP**

Inversión inicial	4319.43
Gasto anual en GLP	252.95
Gasto anual en mantenimiento	60
A/P, I, 20	0.09
Resultado:	
VPN	- 7634.84

Notas: Precio del GLP: \$2.28/Kg constantes, TREMA:27%
 Precio del calentador híbrido considerando la compra del segundo calentador de gas en el año 10: 4319.43 pesos.
 Vida calentador de gas: 10 años. Vida del calentador solar: 20 años

Los resultados expuestos en las tablas 7.4. y 7.5. indican que si el precio del GLP se mantuviera constante a 2.28 pesos/Kg para los siguientes 20 años y si la TREMA fuera del 7% anual (precios constantes), entonces el proyecto calentador híbrido es más rentable que el proyecto calentador GLP (ya que su VPN en valor absoluto es menor).

La metodología de precios constantes nos permite analizar un escenario diferente que el obtenido con la metodología de precios corrientes. El suponer que el precio del GLP se mantiene constante al igual que los demás gastos, equivale a suponer que aumenta igual que la inflación, ya que ésta se incluye al considerar el valor constante de la moneda.

7.3. ANÁLISIS TOMANDO COMO BENEFICIO EL AHORRO DE ENERGÍA.

7.3.1 CASO EN EL QUE NO SE CUENTA CON CALENTADOR DE GAS

a) Evaluación a precios corrientes

El flujo de efectivo de este proyecto se muestra en el Anexo 2. Para una evaluación a 20 años, los resultados son los siguientes, de acuerdo con las ecuaciones (3), (8) y (9).

**Tabla 7.6. Resultados de la evaluación financiera:
Precios corrientes, evaluación a 20 años
Caso en que no se cuenta con calentador de gas**

Factor de uso	VAE (pesos)	VPN (pesos)	TIR (%)
60%	-96.84	-365.17	24.83
65%	-92.74	-332.65	26.27
70%	46.78	171.8	27.67
75%	42.11	521.92	29.01

Notas: Precio del GLP: \$2.28/Kg en el año 1 con tasa de crecimiento anual del 12.7% anual.

Inflación: 20%, TREMA:27%

Precio del calentador híbrido considerando la compra del segundo calentador en el año 10: 4382.39 pesos. Vida calentador solar: 20 años.

Vida calentador de gas: 10 años

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 7.6., bajo una evaluación a 20 años, tomando precios corrientes a una inflación del 20%, una TREMA del 27% y un aumento del GLP de 12.7% anual, el calentador híbrido es rentable si el factor de uso del calentador solar es del 70% (VAE > 0 ; VPN > 0) . Para un factor de uso del 65% (valor base en este trabajo), el VAE y el VPN son negativos, lo que significa que el proyecto no es rentable, para que el proyecto sea rentable la TIR debería ser de 26.27%.

Si la evaluación se realiza a 10 años (vida del calentador de gas), se requiere considerar un valor de rescate del calentador solar que será igual a la suma financiera de los beneficios anuales (ahorros de gas) en los siguientes 10 años a la evaluación (Tabla 7.7).

**Tabla 7.7. Resultados de la evaluación financiera:
Precios corrientes, evaluación a 10 años
Caso en que no se cuenta con calentador de gas**

Factor de uso	VAE (pesos)	VPN (pesos)	TIR (%)
65%	-212.96	-716.46	24.00
70%	-113.97	-383.43	25.41
75%	-14.98	-50.39	26.72
80%	84.01	282.65	28.12

Notas: Precio del GLP: \$2.28/Kg en el año 1 y aumentando a una tasa de 12.9% anual.

Inflación: 20%, TREMA:27%

Precio del calentador híbrido considerando la compra del segundo calentador en el año 10: 3797 pesos.

Vida calentador solar: 20 años.

Vida calentador de gas: 10 años

A diferencia del caso de evaluación a 20 años, el proyecto se hace solamente rentable (tomando las consideraciones mencionadas con anterioridad) cuando el factor de uso del calentador solar es del 80%. Esto se debe a que el valor de rescate del calentador solar (calculado como la suma del flujo de efectivo del año 11 al año 20) es mayor que el de los primeros 10 años, porque el precio del GLP será mayor. Como se muestra en la Tabla 7.7., el resultado del VPN y el VAE para un factor de uso de 65% es negativo, por lo que el proyecto sería rentable para este factor de uso si la TIR fuese igual a 24%.

b) Evaluación a precios constantes

De acuerdo a las ecuaciones (5), (8), (9) y (13), los resultados para la evaluación a 20 y 10 años se presentan en las tablas 7.8. y 7.9., respectivamente.

**Tabla 7.8. Resultados de la evaluación financiera.
Precios constantes, evaluación a 20 años:
Caso en que no se cuenta con calentador de gas**

Flujo de efectivo				
Inversión inicial	4319.43			
Beneficios anuales (Ahorros)	469.77			
Gastos anuales (mantenimiento)	60			
A/P. I, 20	0.09			
Resultados:	55%	Factor	de	uso:
VAE	-70.23	60%	65%	70%
VPN	-743.99	-34.09	2.05	38.18
TIR	4.27	-361.16	21.66	404.49
		5.71	7.08	8.39

Notas: Precio del GLP: \$2.28/Kg constantes, TREMA: 7%
Vida calentador solar: 20 años. Vida calentador de gas: 10 años

Los resultados expuestos en la Tabla 7.8. indican que si el precio del GLP se mantuviera constante a 2.28 pesos/Kg para los siguientes 20 años y si la TREMA fuese del 7% anual (considerando precios constantes), entonces el proyecto es rentable a partir de un factor de uso del calentador solar de 65%, (VPN > 0 ; VAE > 0). Para un factor de uso del 55%, la TIR debería ser de 4.27%.

La Tabla 7.9. muestra los resultados para la evaluación a 10 años, a precios constantes. Como se observa, el factor de uso crítico del

calentador solar es nuevamente del 65%. En este caso, se calcula adicionalmente el CEA y el P.R. Como se observa, para un factor de uso del 65%, el CEA es de 2.27 pesos/Kg y el periodo simple de retorno de la inversión es de 5.76 años, como el VPN y el VAE son mayores que cero, entonces el proyecto es rentable. Al variar el factor de uso del calentador solar, el CEA nos indica el valor que debería tener el precio unitario de GLP para que el proyecto fuese rentable. Por ejemplo, para 55% es de 2.68 pesos/Kg.

**Tabla 7.9. Resultados de la evaluación financiera.
Precios constantes, evaluación a 10 años:
Caso en que no se cuenta con calentador de gas**

Flujo de efectivo				
Inversión inicial	4319.43			
Beneficios anuales (Ahorros)	469.77			
Gastos anuales (mantenimiento)	60			
A/P, 1, 20	0.09			
Valor de rescate				
		Factor	de	uso
Resultados:	55%	60%	65%	70%
VAE	-105.93	-51.42	3.08	57.59
VPN	-743.99	-361.16	21.66	404.49
TIR	4.25	5.74	7.08	8.39
P.Retorno	6.81	6.24	5.76	5.35
CEA	2.68	2.46	2.27	2.10

Notas: Precio del GLP: \$2.28/Kg constantes. TREMA: 7%
Vida calentador solar: 20 años. Vida calentador de gas: 10 años

7.3.2 CASO EN EL QUE YA SE CUENTA CON CALENTADOR DE GAS

Para este caso, se supone que el calentador que ya está instalado tiene una vida de 5 años. Por esta razón en el año 6 y en el año 15 deberán hacerse inversiones para adquirir calentadores de GLP. Como el último calentador que se adquiere tiene una vida adicional de 5 años (evaluando el proyecto a 20), se considera un factor de recuperación del calentador de GLP, igual a la mitad de su valor original al final del año 20. Evaluando a valor presente las distintas inversiones, así como el valor de rescate y utilizando las ecuaciones (4), (8), (9) y (13), se obtienen los siguientes resultados.

a) Evaluación a precios corrientes

En el cálculo a precios corrientes se presentan los resultados para una evaluación a 20 años (Tabla 7.10.). El flujo de efectivo de este proyecto se muestra en el Anexo 2. Al igual que en el caso anterior (cuando no se cuenta con calentador de gas), se supone un precio del GLP igual 2.28 pesos/Kg, una tasa de crecimiento anual del mismo de 12.7% anual, una inflación del 20% y una TREMA del 27%.

**Tabla 7.10. Resultados de la evaluación financiera.
Precios corrientes, evaluación a 20 años:
Caso en que se cuenta con calentador de gas**

Factor de uso	VAE (pesos)	VPN (pesos)	TIR (%)
60%	-79.78	-293.02	25.51
65%	15.55	57.10	27.28
70%	110.88	407.22	29.00

Notas: Precio del GLP: \$2.28/Kg en el año 1 con tasa de crecimiento anual del 12.9% anual.

Inflación: 20%, TREMA:27%

Precio del calentador híbrido considerando compras de calentadores de gas en el año 6 y en el año 15 y un valor de rescate del último calentador de gas igual a la mitad de su valor en el año 20.

Vida calentador solar: 20 años. Vida calentador de gas: 10 años

Para este caso, el factor de uso del calentador solar, al cual el proyecto es rentable (con las consideraciones mencionadas anteriormente) es de 65% (VPN y VAE mayores a cero). A diferencia del caso anterior, este proyecto resulta ser rentable a factores de uso menores como era de esperarse (ya que el precio del GLP se mantiene constante).

b) Evaluación a precios corrientes

Los resultados para una evaluación a 20 años se muestran en la Tabla 7.11. Se considera que el precio del GLP se mantiene constante y una TREMA del 7%. Para este caso, la rentabilidad del proyecto se encuentra cuando el factor de uso del calentador solar es del 60% (VPN y VAE > 0). Para un factor de uso de 55%, el proyecto será rentable si la TIR es del 2.24%.

La Tabla 7.12. muestra los resultados para una evaluación a 10 años. Nuevamente la inversión es rentable si el factor de uso del calentador solar es de 60% y seguiría siendo rentable (VPN > 0 ; VAE > 0) si el precio del GLP fuese de 2.16 pesos/kilogramo (CEA), con un periodo simple de recuperación de 6.81 años. Para un factor de uso del 55%, el

proyecto será rentable si la TIR es de 6.24% o en su defecto el precio del GLP de 2.38 pesos/kg.

**Tabla 7.11. Resultados de la evaluación financiera.
Precios constantes, evaluación a 20 años:
Caso en que se cuenta con calentador de gas**

Flujo de efectivo			
Inversión inicial	3796.85		
Beneficios anuales (Ahorros)	469.77		
Gastos anuales (mantenimiento)	60		
A/P, I, 20	0.09		
		Factor de uso:	
Resultados:	55%	60%	65%
VAE	-20.90	15.24	51.37
VPN	-221.41	161.41	544.24
TIR	6.24	7.54	8.79

Notas: Precio del GLP: \$2.28/Kg constantes, TREMA: 7%. Precio del calentador hibrido considerando compras de calentadores de gas en el año 6 y en el año 15 y un valor de rescate del último calentador de gas igual a la mitad de su valor en el año 20. Vida calentador solar: 20 años. Vida calentador de gas: 10 años

**Tabla 7.12. Resultados de la evaluación financiera.
Precios constantes, evaluación a 10 años:
Caso en que se cuenta con calentador de gas**

Flujo de efectivo			
Inversión inicial	4319.43		
Beneficios anuales (Ahorros)	469.77		
Gastos anuales (mantenimiento)	60		
A/P, I, 20	0.09		
Valor de rescate			
		Factor de uso:	
Resultados:	55%	60%	65%
VAE	-31.52	22.98	77.49
VPN	-221.41	161.41	544.24
TIR	6.24	7.54	8.79
P.Retorno	6.81	6.24.	5.76
CEA	2.38	2.18	2.02

Notas: Precio del GLP: \$2.28/Kg constantes, TREMA: 7%
Vida calentador solar: 20 años. Vida calentador de gas: 10 años

CAPÍTULO VIII.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.

En esta sección se presenta un análisis de sensibilidad para el proyecto solar-GLP. Se toma como base el Valor Anual Equivalente en la evaluación a precios constantes a 20 años y se analiza el caso en que no se cuenta con calentador de gas. Para el caso en que ya se cuenta con calentador de gas los resultados son similares.

Se analizan las variables: precio del GLP, precio del calentador solar, vida del calentador solar, TREMA y factor de uso del calentador solar.

El Valor Anual Equivalente es una función de las siguientes variables:

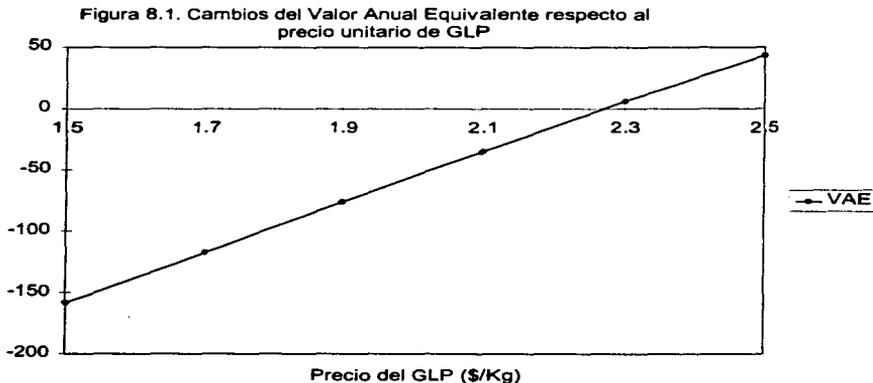
- S_t = Flujo de efectivo neto al año t
- i = Tasa de interés
- n = Número de años de vida del proyecto
- p = Inversión inicial

La inversión inicial p es el precio del calentador solar. La tasa de interés i es igual a la TREMA. El número de años de vida del proyecto es igual a la vida útil del calentador. El flujo de efectivo S_t es afectado por el precio del GLP, el mantenimiento y el factor de uso de calentador solar. Todas las variables del proyecto que se analizaron son independientes. Es decir, el cambio de cualquiera de las variables no influye en el valor de ninguna otra.

La primera parte del análisis de sensibilidad se realiza para cada una de las variables por separado, manteniendo constantes a las demás. Al final se presenta un análisis de sensibilidad cruzado, es decir cambiando el valor de las distintas variables, para así poder comparar distintos escenarios.

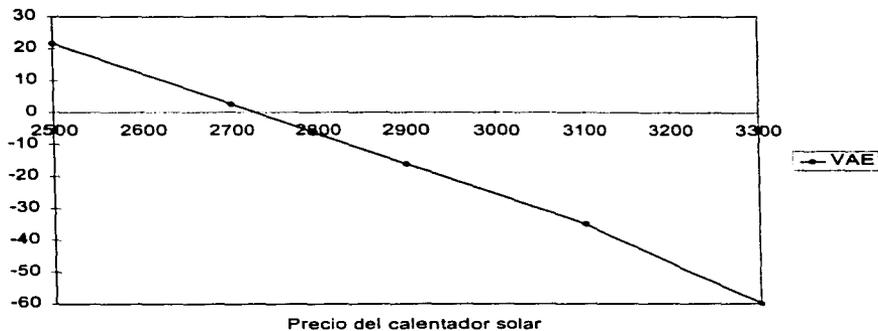
8.1. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA CADA VARIABLE.

Como lo muestra la Figura 8.1, el costo unitario crítico del GLP para que el proyecto sea rentable es de 2.27 pesos/Kg, siempre y cuando el factor de uso del calentador solar sea del 65% y las demás variables se mantengan constantes.



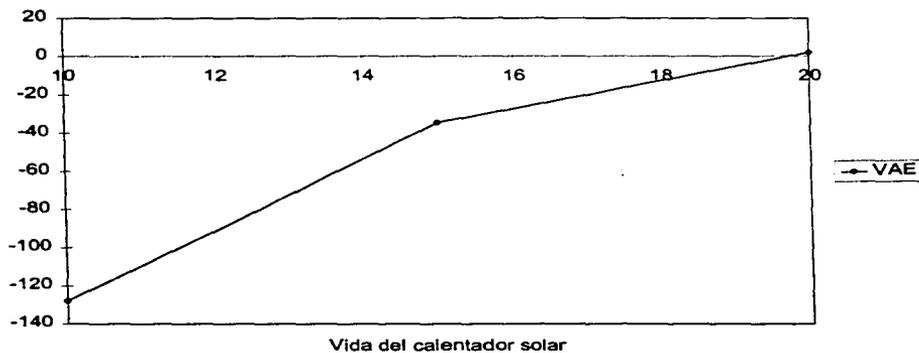
En la Figura 8.2. se muestra el valor del VAE respecto a cambios en el precio del calentador solar. El valor crítico de esta variable, considerando los demás valores constantes es de 2730 pesos.

Figura 8.2. Cambios del Valor Anual Equivalente respecto al precio del calentador solar



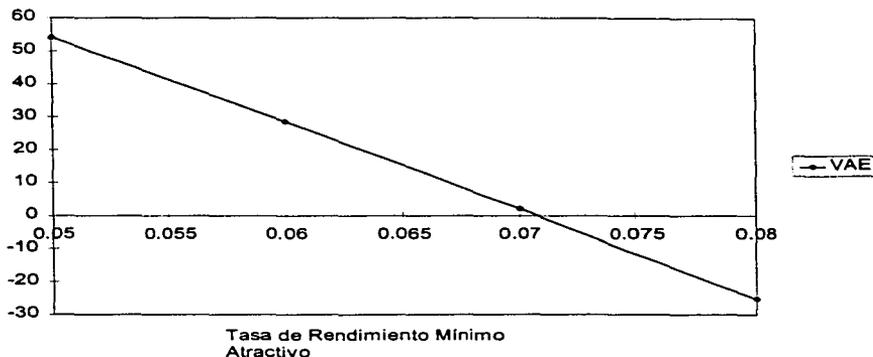
En la Figura 8.3. se muestra la variación del V.A.E. respecto a la vida útil del calentador solar. Como se observa, considerando constantes los demás valores, el valor crítico es de 19.8 años.

Figura 8.3. Cambios del Valor Anual Equivalente respecto a la vida del calentador solar



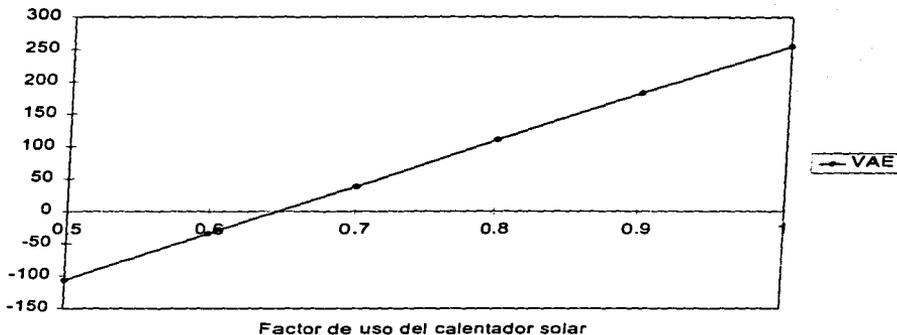
En la Figura 8.4. se muestra el cambio del VAE respecto a la TREMA. El valor crítico de esta variable, considerando los demás valores constantes es de 7.1%.

Figura 8.4. Cambios del Calor Anual Equivalente respecto a la TREMA



Finalmente en la Figura 8.5. se observan los cambios del VAE, considerando los demás valores constantes respecto al factor de uso del calentador solar. Como se presenta en los resultados de la sección anterior, el valor crítico es de 64%. Esto significa, que para que el proyecto sea rentable, el calentador solar debe ser utilizado el 64% del año, lo que comprendería un 36% de días nublados al año (130 días en que se usaría el GLP).

Figura 8.5. Cambios del Valor Anual Equivalente respecto al factor de uso del calentador solar



8.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD CRUZADO

A continuación se presenta un análisis de sensibilidad cruzado, es decir combinando el valor de distintas variables. Esto nos permite poder observar el comportamiento financiero del proyecto ante distintos escenarios.

Las variables que se sensibilizan son el precio del GLP, el precio del calentador híbrido solar - GLP y el factor de uso del calentador solar. Se considera que permanecen constantes en todos los escenarios los siguientes factores: vida útil del calentador de gas (10 años), vida útil del calentador solar (20 años), gastos por mantenimiento (60 \$/año) y Tasa de Retorno Mínima Atractiva (7% a precios constantes).

A continuación se presenta la tabla 8.2.1. en donde las variables analizadas toman los siguientes valores:

Precio del GLP (GLP): 2, 2.5 y 3 \$/kg.

Factor de uso del calentador solar (Uso): 55, 65 y 75 %.

Precio del calentador solar híbrido solar- GLP (Solar): 3500, 4500 y 5500 \$/calentador.

Tabla 8.2.1. Análisis cruzado de variables para el proyecto calentador híbrido solar-GLP

Variables sensibilizadas:

Precio del GLP (GLP)

Precio del calentador híbrido solar-GLP (SOLAR)

Factor de uso del calentador solar (Uso)

GLP [\$]	Solar [\$]	Uso [%]	VAE	GLP [\$]	Solar [\$]	Uso [%]	VAE	GLP [\$]	Solar [\$]	Uso [%]	VAE
2,0	5500	55	-0,12	2,0	4319	55	0,00	2,0	3500	55	-0,12
2,0	5500	65	0,00	2,0	4319	65	0,00	2,0	3500	65	0,00
2,0	5500	75	0,12	2,0	4319	75	0,24	2,0	3500	75	0,12
2,28	5500	55	-0,12	2,28	4319	55	0,00	2,28	3500	55	-0,12
2,28	5500	65	0,00	2,28	4319	65	0,00	2,28	3500	65	0,00
2,28	5500	75	0,12	2,28	4319	75	0,24	2,28	3500	75	0,12
3,0	5500	55	-0,12	3,0	4319	55	0,00	3,0	3500	55	-0,12
3,0	5500	65	0,00	3,0	4319	65	0,00	3,0	3500	65	0,00
3,0	5500	75	0,12	3,0	4319	75	0,24	3,0	3500	75	0,12

Notas: vida útil del C. solar: 20 años; vida útil del C. de GLP: 10 años

Gastos anuales de mantenimiento: 60 pesos

TREMA: 7% (Precios constantes)

En la tabla 8.2.1. podemos observar el comportamiento del proyecto para diferentes escenarios. El proyecto será rentable en un escenario siempre que nuestro VAE sea mayor a cero.

Se toma como punto de comparación el escenario base obtenido en el capítulo anterior, el cual corresponde a las casillas centrales, en donde el precio del calentador híbrido es igual a 4319 pesos, el precio del GLP es de 2.28 \$/kg, el factor de uso es de 65% y nuestro VAE es igual a 2. Como se puede notar, este escenario se aproxima bastante al valor crítico del proyecto (VAE ≈ 0).

En cuanto al precio del GLP, podemos notar que mientras mayor sea su precio, el proyecto será más rentable. Por ejemplo, si el GLP tomará un valor de 3 \$/kg, para casi todos los escenarios planteados el proyecto será rentable, la única excepción es el caso de un factor de uso de 55 % y un precio del calentador de 5500 pesos.

En lo referente al precio del calentador híbrido, nuestro proyecto será más rentable cuanto más disminuya su precio. Por ejemplo, si suponemos un valor de 3500 pesos para el calentador híbrido, para el único escenario en que nuestro proyecto no será rentable será el que supone un precio de 2 \$/kg de GLP y un factor de uso solar de 55%. Para todos los demás, nuestro proyecto será rentable desde el punto de vista del usuario.

Una variable importante es el factor de uso del calentador solar. Esto es debido a que este factor (además del precio del GLP) es el que determina los gastos en anuales para el proyecto. Mientras mayor sea el factor de uso, menores serán los gastos anuales, por lo que el proyecto será más rentable. Para un factor de uso del 75%, la mayoría de los escenarios propuestos en la tabla 8.2.1. son rentables.

CAPITULO IX.

ANÁLISIS DEL CALENTADOR HIBRIDO SOLAR - ELÉCTRICO.

9.1 CONSIDERACIONES

A continuación se presentan las hipótesis consideradas en la evaluación del proyecto.

1. Un calentador de agua para uso doméstico de tipo híbrido (solar - eléctrico) consta de un calentador solar (que incluye colector y termotanque) y un calentador eléctrico, el cual consiste en una resistencia eléctrica introducida dentro del termotanque del calentador solar, la cual cuenta con un termostato de encendido y apagado automático.
2. Con base en un estudio de mercado se encontró que un calentador solar híbrido (tubos de cobre, pintura negra, un vidrio, termotanque con una capacidad promedio de 200 l y resistencia eléctrica de 1 kW) tenía un costo promedio en septiembre de 1996, de 3795 pesos.
3. De acuerdo con datos de fabricantes se considera que el calentador solar híbrido tiene una vida promedio de 20 años.
4. De acuerdo con datos de fabricantes y un estudio de mercado se considera que el costo de mantenimiento anual del calentador híbrido (solar-eléctrico) es de 30 pesos anuales.
5. Se consideran 4.5 personas promedio por hogar (INEGI (b)), con un consumo diario de 40 lt de agua caliente por persona.
6. Se considera que el calentador solar será utilizado el 65% del año. Este valor se obtiene de datos del meteorológico nacional que indican que en el AMCM hay un promedio de 128 días nublados por año (lo que equivale al 35% del año), por lo que en estos días el calentador solar no se utilizará.
7. Se considera que la resistencia eléctrica enciende durante 2 horas para alcanzar la temperatura deseada, y que esto sólo sucederá en los días nublados (35% del año). Debido a que no se encontraron estudios respecto al comportamiento de la resistencia eléctrica para un sistema de este tipo, se tuvo que hacer una consideración de este tipo, basada en

una estimación general. Como complemento a esta estimación, los resultados se presentan para distintos valores de horas - uso por día nublado.

8. Se considera una tasa de inflación del 20% anual, una tasa interna de rendimiento atractivo de 27% para precios corrientes y de 7% para precios constantes.

9. Se tomó una tarifa eléctrica de 0.9 \$/kWh, que corresponde el valor promedio para 1997 del bloque más alto de consumo de la tarifa residencial en la Ciudad de México (Tarifa 1 de CFE). Para el análisis a precios corrientes, se estima que el incremento anual en la tarifa eléctrica será de 12.7% anual.

Consideraciones generales

DATOS GENERALES:

Tasa de inflación =	20 (%)
TREMA (Precios constantes) =	27 (%)
Precio del GLP =	2.28 (\$/kg)
Gradiente de calentamiento =	30 (°C)
Consumo de agua por persona =	40 (lt/persona)
Número de personas por vivienda =	4.5 (personas)
Consumo de GLP en kg =	316.98 (kg)
Tarifa eléctrica =	0.9 (\$/kWh)
KWh por día nublado =	2 (kWh)

CALENTADOR SOLAR:

Precio calentador =	2707 (\$)
Operación y Mantenimiento =	30 (\$/año)
Período de vida útil =	20 (años)
Factor de uso =	65 (%)

CALENTADOR HÍBRIDO SOLAR- ELÉCTRICO:

Precio calentador =	3795 (\$)
Operación y Mantenimiento =	30 (\$/año)
Período de vida útil =	20 (años)

9.2 RESULTADOS

De acuerdo a las consideraciones mencionadas en la sección anterior, se analiza el proyecto calentador híbrido solar - eléctrico como un proyecto individual bajo la metodología del Valor Presente Neto para el caso de precios corrientes. Posteriormente se realiza el análisis del proyecto como una alternativa en la cual se sustituye el calentador de gas por uno del tipo solar - eléctrico, por lo que habrá un ahorro del 100 por ciento en cuanto al uso de GLP, pero habrá un gasto adicional por concepto de consumo de electricidad. En el flujo de efectivo se consideran como gastos anuales los gastos en electricidad y mantenimiento y como beneficio el ahorro de GLP.

El costo del calentador híbrido es de 3795 pesos. Se considera una vida útil del equipo de 20 años. En el caso de precios corrientes se estima una tarifa eléctrica de 0.9 \$/kWh con un incremento anual de 12.7%.

9.2.1 ANÁLISIS INDIVIDUAL DEL PROYECTO

Evaluación a precios corrientes.

De acuerdo con las ecuaciones (4) y (8), los resultados para la evaluación a 20 años del calentador híbrido solar-eléctrico se presentan en la tabla 9.2.1. El flujo de efectivo del proyecto se muestra en el anexo 2.

**Tabla 9.2.1. Resultados de la evaluación financiera:
Precios corrientes, evaluación a 20 años
Calentador solar - eléctrico**

Inversión inicial	3795
Gasto en Kwh/año	255.50
Gasto en \$/año	229.95
Gasto en mantenimiento (año1)	30
A/P, i, 20	0.272
Resultado:	
VPN	- 5604.37

Notas: Tarifa eléctrica: 0.9 \$/kWh con tasa de crecimiento del 12.7% anual.
Inflación: 20%, TREMA:27%
Vida calentador solar-eléctrico: 20 años

El gasto de 255.5 kWh por año se obtiene de calcular 2 horas diarias de uso de la resistencia eléctrica, en el 35% de los días del año. Los resultados expuestos en la tabla 9.2.1., muestran la evaluación a precios corrientes del calentador solar - eléctrico a 20 años como un proyecto individual, por lo que deben ser comparados con los resultados de la evaluación del calentador de gas y del solar - GLP obtenidos en el capítulo VII. Comparando los resultados de los tres análisis podemos observar que el valor absoluto del VPN para el proyecto calentador híbrido solar-eléctrico es menor que los demás valores. Esto nos indica que bajo una evaluación a 20 años, tomando precios corrientes a una inflación del 20%, una TREMA de 27% y un aumento del GLP y de la tarifa eléctrica de 12.7% anual, el calentador híbrido solar - eléctrico es el más rentable de los tres. A continuación se muestra una tabla comparativa de los tres proyectos tomando como base su VPN.

Tabla 9.2.2. Resultados de la evaluación financiera individual de los tres proyectos. Precios corrientes, evaluación a 20 años

PROYECTO	VPN	DIFERENCIA EN % (Respecto al solar-eléctrico)
Calentador solar-eléctrico	-5604.37	-
Calentador de GLP	-6614.69	18.0%
Calentador solar-GLP	-6686.67	19.3%

Los resultados obtenidos bajo este análisis indican que el calentador híbrido solar-eléctrico es el más rentable desde el punto de vista del usuario. En el apartado 9.3. de este capítulo se realiza una comparación financiera de los dos tipos de calentadores híbridos, pero bajo la metodología del análisis financiero incremental.

9.2.2. ANÁLISIS TOMANDO COMO BENEFICIO EL AHORRO DE ENERGÍA.

Se considera que se sustituye el calentador de gas por uno del tipo solar - eléctrico, por lo que habrá un ahorro del 100 por ciento en cuanto al uso de GLP. En el flujo de efectivo se consideran como gastos anuales los gastos en electricidad y mantenimiento y como beneficio el ahorro de GLP.

Evaluación a precios constantes

De acuerdo a las ecuaciones (5) y (8), los resultados para la evaluación a precios constantes a 20 años se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 9a. Resultados de la evaluación financiera.
Precios constantes, evaluación a 20 años
variando el factor de uso.**

Flujo de efectivo					
Inversión inicial					3795,00
Gasto en kWh/año (con 65% como factor de uso)					255,50
Gasto en \$/año					229,95
Beneficios anuales (Ahorros)					492,77
Gastos anuales (mantenimiento)					30
A/P, 1, 20					0,09
FACTOR DE USO DEL SOLAR					
Resultados:	35%	50%	65%	80%	95%
V.A.E.	-92,55	6,00	104,55	203,10	301,65
VPN	-980,48	63,56	1107,60	2151,64	3195,68

Notas: Tarifa eléctrica: \$0.9/kWh, precio del GLP: \$2.28/kg, TREMA:7%
 Precio del calentador híbrido (solar - eléctrico): 3795 pesos.
 Vida útil del calentador: 20 años.
 Se consideran 2 kWh de demanda eléctrica por día nublado.

Los resultados expuestos en la tabla 9a indican que si el precio del GLP y la tarifa eléctrica se mantuviesen constantes a 2.28 pesos/kg y 0.9 \$/kWh respectivamente para los próximos 20 años, y si la TREMA fuese del 7% anual (considerando precios constantes), entonces el proyecto es rentable a partir de un factor de uso del calentador solar de 50% (esto es, que tanto el VAE como el VPN son positivos).

La tabla 9b muestra los resultados para la evaluación financiera a 20 años, pero en este caso se tomó como constante un factor de uso del calentador solar de 65%, y se variaron las horas de uso de la resistencia desde 1 hasta 5 horas por día nublado. Como se observa, el valor crítico en cuanto a horas de uso de la resistencia, es muy cercano a las tres horas, lo que nos indica que a partir de un valor de tres horas de encendido de la resistencia por día nublado, el proyecto ya no será rentable desde el punto de vista del usuario.

**Tabla 9b. Resultados de la evaluación financiera.
Precios constantes, evaluación a 20 años variando
los kWh de consumo por día nublado.**

Flujo de efectivo

Inversión inicial	3795,00
Gasto en kWh/año	255,50
Gasto en \$/año	229,95
Beneficios anuales (Ahorros)	492,77
Gastos anuales (mantenimiento)	30
A/P, I, 20	0,09

kWh POR DIA NUBLADO

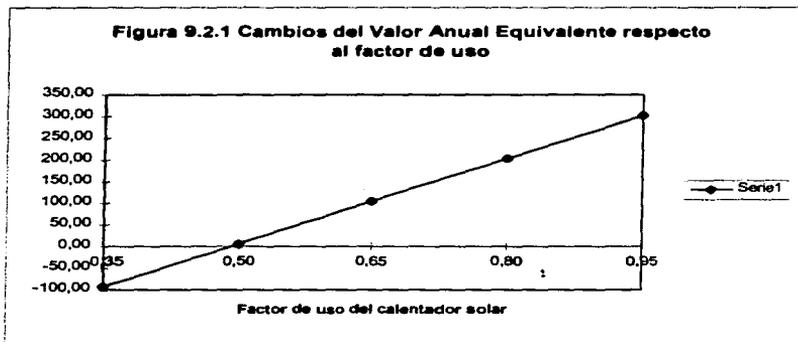
Resultados:	1	2	3	4	5
V.A.E.	219,52	104,55	-10,43	-125,40	-240,38
VPN	2325,64	1107,60	-110,45	-1328,50	-2546,54

Notas: Tarifa eléctrica: \$0.9/kwh, precio del GLP: \$2.28/kg, TREMA:7%
Precio del calentador híbrido (solar - eléctrico): 3795 pesos, Vida útil: 20 años.
Se considera constante un 65% de uso del calentador solar.

9. 2. 3. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA EL CALENTADOR HÍBRIDO SOLAR - ELÉCTRICO.

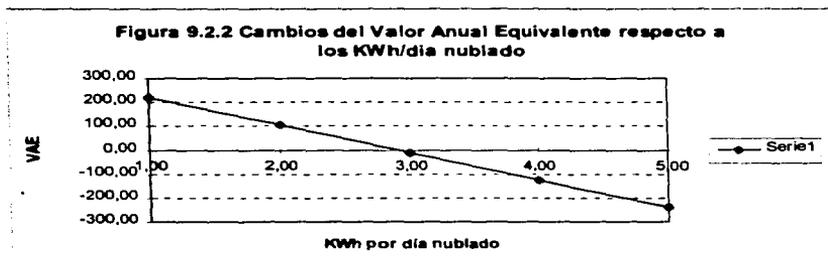
A continuación se presenta un análisis de sensibilidad para el proyecto solar- eléctrico. Se toma como base el Valor Anual Equivalente en la evaluación a precios constantes a 20 años y se analiza el caso en que se sustituye el calentador de gas por uno del tipo solar - eléctrico. Se sensibilizan dos variables por separado: factor de uso del calentador solar y kWh de uso por día nublado. Al final se presenta un análisis de sensibilidad cruzado, es decir cambiando el valor de tres de las variables (factor de uso, kWh por día nublado, y precio del calentador híbrido eléctrico), para así poder comparar distintos escenarios.

Como lo muestra la figura 9.2.1, el valor crítico en cuanto al factor de uso del calentador solar es de 49%, siempre y cuando se consuman 2 kWh de electricidad por día nublado y todas las demás variables del proyecto de mantengan constantes.



En la figura 9.2.2 se muestra la variación del Valor Anual Equivalente respecto a los kWh consumidos por la resistencia eléctrica en cada día nublado. Como se ve, el valor crítico es de 2.9 kWh. Para cualquier valor

mayor a este, manteniendo un factor de uso de 65%, nuestro proyecto no será rentable desde el punto de vista del usuario.



9.2.4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD CRUZADO

A continuación se presenta un análisis de sensibilidad cruzado para el proyecto del calentador híbrido solar-eléctrico. Este análisis nos permite poder observar el comportamiento financiero del proyecto ante distintos escenarios.

Las variables que se analizan son: precio del calentador híbrido solar - eléctrico, kWh por día nublado y factor de uso del calentador solar. Se considera que permanecen constantes en todos los escenarios los siguientes factores: vida útil del calentador híbrido (20 años), gastos de mantenimiento (30 \$/año), Tasa de Retorno Mínima Atractiva (7% a precios constantes) y tarifa eléctrica (0.9 \$/kWh).

A continuación se presenta la tabla 9.2.3 en donde las variables analizadas toman diferentes valores posibles, para así conformar distintos escenarios financieros.

Tabla 9.2.3. Análisis cruzado de variables para el proyecto calentador híbrido solar-eléctrico

VARIABLES SENSIBILIZADAS:

Precio del calentador híbrido eléctrico (C.ELEC.)

kWh por día nublado (kWh)

Factor de uso del calentador solar (USO)

C.ELEC [\$]	kWh [kWh]	USO [%]	VAE	C.ELEC [\$]	kWh [kWh]	USO [%]	VAE	C.ELEC [\$]	kWh [kWh]	USO [%]	VAE
5000	4	50	12	3795	4	50	12	3000	4	50	12
5000	4	65	12	3795	4	65	12	3000	4	65	12
5000	4	75	12	3795	4	75	12	3000	4	75	12
5000	3	50	12	3795	3	50	12	3000	3	50	12
5000	3	65	12	3795	3	65	12	3000	3	65	12
5000	3	75	12	3795	3	75	12	3000	3	75	12
5000	2	50	12	3795	2	50	12	3000	2	50	12
5000	2	65	12	3795	2	65	12	3000	2	65	12
5000	2	75	12	3795	2	75	12	3000	2	75	12

Notas: Vida útil del calentador híbrido: 20 años, TREMA: 7%

Tarifa eléctrica: 0.9 \$/kWh, precio del GLP: 2.28 \$/kg

Gastos anuales de mantenimiento: 30 pesos

En la tabla 9.2.3 podemos observar el comportamiento del proyecto para diferentes escenarios. El proyecto será rentable en un escenario siempre que nuestro VAE sea mayor a cero.

Se toma como punto de comparación el escenario base obtenido en el análisis de la tabla 9a, en donde el precio del calentador híbrido es igual a 3795 pesos, el factor de uso del calentador solar es de 50%, los kWh por día nublado son 2 y el VAE es igual a 6. Este escenario se aproxima al valor crítico del proyecto (VAE ≈ 0).

Al variar el precio del calentador híbrido, podemos observar que nuestro proyecto será menos rentable cuanto más aumente su precio. Si suponemos un precio de 5000 pesos para el calentador, podemos

notar que para todos los escenarios, con excepción de uno, el proyecto resulta no rentable desde el punto de vista del usuario.

El factor de uso del calentador solar influye también de manera directa en la viabilidad financiera del proyecto, ya que a mayor factor de uso, menores serán los gastos en electricidad, y por tanto el proyecto será más rentable.

Una variable de particular interés es la que comprende los kWh de consumo eléctrico por día nublado. Mientras más consumo eléctrico tengamos, menos rentabilidad financiera habrá. En la tabla 9.2.3. podemos notar que para un consumo de 4 kWh por día nublado, la mayoría de nuestros escenarios son no rentables, mientras que para 2 kWh de consumo sucede lo contrario.

9.3 ANÁLISIS FINANCIERO INCREMENTAL DE LOS CALENTADORES HÍBRIDOS SOLAR - GLP Y SOLAR ELÉCTRICO.

En esta sección se presenta un análisis financiero del tipo incremental, este análisis se utilizó para poder comparar entre sí financieramente a los dos tipos de calentadores que se evaluaron en las secciones anteriores, el calentador solar-GLP (SG) y el solar-eléctrico (SE).

Se tomó como base de comparación al calentador solar-GLP, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

Consideraciones generales:

Tasa de Descuento =	7% [%]
Precio del G.L.P. =	2,28 [\$/kg]
Poder Calorífico Inferior =	49888,10 [kJ/kg]
Densidad del G.L.P =	0,555340 [kg/lt]
Cp del agua =	4,186 [kJ/kg°K]
Gradiente de calentamiento =	30 [°C]
Consumo de agua por persona =	40 [lt/persona]
Número de personas en vivienda =	4,5 [personas]
Consumo de GLP en kg =	316,98 kg/año
Tarifa eléctrica (\$/kWh) =	0,9 [\$/kWh]
kWh por día nublado =	2 (kWh/día nublado)

CALENTADOR HÍBRIDO SOLAR -GLP:

Precio calentador =	4319,43 [\$]
Operación y Mantenimiento =	60 [\$/año]
Período de vida útil =	20 [años]
Factor de uso del solar =	65 [%]

El costo del calentador híbrido (SG) es la suma del costo del calentador de gas más el calentador solar. Como el calentador de gas tiene una vida de 10 años y el solar de 20, se supone una segunda compra de calentador de gas en el año 10. Para ello, en esta evaluación a precios constantes se supone el mismo precio del primero y el segundo calentador y se calcula el valor presente del desembolso en el año 10.

CALENTADOR HÍBRIDO ELÉCTRICO:

Precio calentador =	3795 [\$]
Operación y Mantenimiento =	30 [\$/año]
=	
Período de vida útil =	20 [años]
Factor de uso del solar =	65 [%]

Una vez que se tiene como base de comparación al calentador solar - GLP, se plantean tres alternativas para el calentador híbrido solar - eléctrico, los casos en que se tenga un consumo de 2, 3 y 4 kWh por cada día nublado. Es lógico el hecho que la alternativa de menor consumo (2 kWh) sea la más rentable de las tres, pero para este caso se incluyen las otras dos alternativas ya que éstas también se compararán directamente contra el otro tipo de calentador, por lo que podremos saber con base en el consumo eléctrico cuándo es más o menos rentable un calentador o el otro.

9.3.1 DESARROLLO

Se toman las siguientes alternativas:

Alternativa A - Calentador híbrido solar - GLP.

Alternativa B - Calentador híbrido solar - eléctrico.

B.1- Dos kWh de consumo eléctrico por día nublado.

B.2- Tres kWh de consumo eléctrico por día nublado.

B.3- Cuatro kWh de consumo eléctrico por día nublado.

Flujos de efectivo:

Alternativa A		Alternativa B.1		Alternativa B.2		Alternativa B.3	
Año	Flujo	Año	Flujo	Año	Flujo	Año	Flujo
0	-4319,4	0	-3795	0	-3795	0	-3795
1-20	-312,95	1-20	-259,95	1-20	-374,93	1-20	-604,88

Se considera como inversión inicial el costo del calentador, el gasto anual constante para los años 1 a 20 es la suma del costo de operación más el mantenimiento para cada año.

Se procede entonces a restar las alternativas para poder realizar el análisis del tipo incremental, se tienen entonces los siguientes flujos de efectivo:

Alternativa B.1-A		Alternativa B.2-A		Alternativa B.3-A	
Año	Flujo	Año	Flujo	Año	Flujo
0	524,43	0	524,43	0	524,43
1-20	53,00	1-20	-61,97	1-20	-291,92

Teniendo entonces estos flujos de efectivo, se calcula el valor anual equivalente (VAE), la relación beneficio - costo (RBC) y el valor presente neto (VPN). Estos indicadores nos permiten comparar los beneficios incrementales que tiene una alternativa contra otra.

9.3.2 RESULTADOS

Se obtuvieron los siguientes resultados para cada uno de los flujos incrementales:

	ALTERNATIVAS		
	B.1-A	B.2-A	B.3-A
VPN =	1085,93	-132,12	-2568,21
VAE =	102,50	-12,47	-242,42
RBC =	1,071	-1,252	-5,897

Con cualquiera de estos tres indicadores, puede concluirse que los beneficios incrementales del proyecto híbrido solar - eléctrico son suficientes para justificar la inversión solamente si los kWh de uso por día nublado no exceden las dos horas. En efecto, sólo para el caso de 2 horas el VPN y el VAE son positivos, y la relación beneficio-costos es mayor que 1.

A su vez, se calculó la INVERSIÓN MÁXIMA. Este indicador está definido como el equivalente al valor presente de los beneficios incrementales del sistema. Con este valor, tanto el valor presente como el valor anual equivalente del flujo incremental se hacen iguales a cero, y la relación beneficio costo toma un valor de 1. Esto significa que este valor nos dará el punto de equilibrio en cuanto a costo de la inversión inicial para las dos tecnologías. El valor obtenido para este indicador es:

Inversión Máxima = \$ 4881

Este valor nos indica que para un factor de uso de 65% y 2 kWh de consumo eléctrico diario en días nublados, el máximo costo que puede tomar el calentador híbrido solar - eléctrico es de 4881 pesos. Por tanto, para cualquier valor superior a este, esta alternativa dejará de ser rentable desde el punto de vista del usuario.

CAPÍTULO X.

AHORRO DE ENERGÍA Y MITIGACIÓN DE GASES INVERNADERO.

10.1 CALENTADOR HÍBRIDO DEL TIPO SOLAR - GLP

10.1.1 AHORRO DE ENERGÍA

En esta sección se presentan los resultados del potencial de ahorro de GLP de los calentadores híbridos en el AMCM. Como se menciona en la sección 5.3 el análisis sólo toma en cuenta las unidades habitacionales registradas como casas solas y mayores a los 3 salarios mínimos. Para el cálculo del potencial se hace una consideración adicional, la cual consiste en suponer que la saturación de calentadores de GLP por nivel de ingreso es la misma para todas las unidades habitacionales que para las casas solas. Bajo las consideraciones señaladas en la sección anterior, el calentador de gas consume 15.81 GJ/vivienda/año y el calentador híbrido reduce este consumo a 5.52 GJ/vivienda/año (65.1% de ahorro). Bajo estos supuestos, la Tabla 10.1 muestra el máximo potencial de ahorro de GLP, por estrato de nivel de ingreso, suponiendo que todas las unidades habitacionales (casas solas) que actualmente cuentan con calentador de gas, tuviesen calentadores híbridos. El potencial de ahorro es de 12,333.5 TJ, lo cual significa el 4.3% del consumo residencial de GLP para ese año. Como puede observarse, solamente el estrato social de más altos ingresos representa el 2.5% del potencial de ahorro.

Tabla 10.1. Máximo potencial de ahorro de GLP al sustituir calentadores de GLP por calentadores híbridos (solar-GLP) en el AMCM

	múltiplos de salarios mínimos generales											
	Total	0.0 a 0.5	0.51 a 1.00	1.01 a 1.50	1.51 a 2.00	2.01 a 3.00	3.01 a 4.00	4.01 a 5.00	5.01 a 6.00	6.01 a 7.0	7.1 a 8.0	8.01 y más
Total de viviendas (miles)	3445004	1724	9397	38404	99641	451546	446788	449081	355121	256469	204467	1132366
Casas solas (miles)	2216570	0	5515	10180	52844	253739	269729	289300	202599	179540	131268	821856
Viviendas con calentador (%)		0.0%	0.0%	11.5%	12.1%	19.0%	35.1%	39.3%	56.0%	55.0%	67.4%	83.9%
Casas solas con calentador *		0	0	1166	6415	48118	94718	113629	113376	98809	88482	689576
Consumo de GLP con calentador convencional (TJ)				18.44	101.42	760.75	1497.49	1796.47	1792.47	1562.16	1398.91	10902.2
Consumo de GLP con calentador híbrido (TJ)				0.00	0.00	0.00	522.84	627.23	625.83	545.42	488.42	3806.46
Ahorro de GLP (TJ)	12333.5						974.65	1169.24	1166.64	1016.74	910.48	7095.73
Porcentaje del consumo nacional residencial de GLP	4.3%						0.3%	0.4%	0.4%	0.4%	0.3%	2.5%

* Se supone que la saturación de calentadores de GLP por estrato de ingreso es la misma para todas las viviendas que para las casas solas.

Fuente: Elaboración propia a partir de la EIGH-AMCM-92.

10.1.2 MITIGACIÓN DE GASES INVERNADERO

La mitigación de gases invernadero que significa la sustitución de calentadores de GLP por calentadores híbridos del tipo solar - GLP en el AMCM se muestra en la Tabla 10.1.2. Los gases invernadero producidos por la combustión de GLP son principalmente el bióxido de carbono (CO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x), el monóxido de carbono (CO) y el metano (CH₄). Por supuesto la mitigación, al igual que el ahorro de energía representa el 4.3% de la emisión debida a la combustión de GLP en el sector residencial.

Tabla 10.1.2. Mitigación de gases invernadero debidos a la sustitución de calentadores de GLP por calentadores híbridos (solar-GLP) en el AMCM

	Factor de emisión	Emisión sector residencial	Mitigación	%
CO ₂	17.2 tC/TJ	4.897 Tg C	0.212 Tg C	4.3%
NO _x	0.047 Kg/GJ	1.34E-02 Tg NO _x	5.80E-04 Tg NO _x	4.3%
CO	0.01 Kg/GJ	2.85E-03 Tg CO	1.23E-04 Tg CO	4.3%
CH ₄	0.0011 Kg/GJ	3.13E-04 Tg CH ₄	1.36E-05 Tg CH ₄	4.3%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INE, 1996. IPCC, 1994

10.2 CALENTADOR HÍBRIDO DEL TIPO SOLAR - ELÉCTRICO

10.2.1 AHORRO DE ENERGÍA

Suponiendo un consumo de 2kWh diarios, un factor de uso del 65% y una instalación de 1,198,590 calentadores (todas las casas solas mayores a un ingreso de tres salarios mínimos), el consumo de energía eléctrica de los calentadores híbridos solar - eléctrico, tendrían un consumo de 568.7 GWh. Estimando un factor de planta de 65%, significarían una capacidad instalada adicional de 108.2 MW, tan sólo el 0.3% de la capacidad instalada actual en México. Por su parte, el ahorro de GLP sería de 18.949 PJ. Convirtiendo a las mismas unidades, se tendría que el calentador híbrido (eléctrico - solar) implicaría un consumo de energía de 2.04 PJ, tan sólo el 10.7% del consumo actual con los calentadores de GLP. Esto implicaría el 6.0% de ahorro de GLP del sector residencial mexicano para 1992.

10.2.2 MITIGACIÓN DE GASES INVERNADERO

Sin embargo, en el caso de las emisiones de gases invernadero, se estima que todas las emisiones, considerando las generadas en la producción de electricidad, disminuyen, con excepción de los óxidos de nitrógeno. La Tabla 10.2.2, muestra la mitigación de emisiones:

Tabla 10.2.2 Mitigación de gases invernadero debido a la sustitución de calentadores de GLP por híbridos (solar - eléctrico) en el AMCM.

	Factor de emisión Kg/kWh generado*	Emisión total (Tg)	Mitigación (Tg)
CO2	1.50E-01	8.55E-02	2.4E-01
NOx	2.08E-03	1.18E-03	-2.9E-04**
CO	1.30E-04	7.39E-05	1.16E-04
CH4	1.17E-05	6.65E-06	1.42E-05

*Fuente: Inventario de emisiones de gases invernadero, Instituto de Ingeniería, UNAM. 1996.

** El signo negativo implica mayor emisión que con el calentador convencional de GLP.

CAPÍTULO XI.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El análisis que se presenta en este trabajo muestra que la inversión en un calentador híbrido del tipo solar-GLP es más rentable que uno del tipo GLP si se cumplen las siguientes consideraciones: una Tasa de Rendimiento Mínimo Atractivo del 7% a precio constantes, una vida del calentador solar de 20 años y una de calentador de gas de 10 años, un precio constante del GLP a 2.28 pesos/kg y si el calentador solar es utilizado al menos el 65% del año.

Para el caso en el que ya se cuenta con calentador de gas, la inversión es rentable, considerando las mismas suposiciones que en el caso anterior, pero con un factor de uso del calentador solar de al menos 60%.

La rentabilidad financiera del calentador solar-GLP es sumamente sensible a los cambios de las variables antes mencionadas. Si aumenta en 0.5% la TREMA, o disminuye en 5% el factor de uso del calentador o en su defecto el precio del GLP decrece en diez centavos, entonces la inversión en el calentador híbrido en comparación con el convencional ya no es rentable para el usuario desde el punto de vista financiero.

Esta conclusión implica que si la inflación crece al 20% anual y el ritmo de crecimiento del precio de GLP fijado por la Secretaría de Hacienda (12.7% anual), se mantiene, el calentador híbrido GLP-Solar no es rentable para el usuario (considerando las suposiciones expuestas al principio de este capítulo en relación a la TREMA y el factor de uso del calentador solar). Es decir, este tipo de calentador es rentable, desde el punto de vista del usuario, si el precio del GLP se incrementa al mismo ritmo que la inflación.

El análisis financiero para el calentador híbrido del tipo solar-eléctrico, muestra que la inversión es más rentable que el calentador de GLP y el híbrido solar-GLP si cumple con las siguientes características: el calentador solar es utilizado al menos el 65% del año y el eléctrico el 35%, un consumo de 2 kWh por cada día de uso del calentador eléctrico, una Tasa de Rendimiento Atractivo Mínimo del 27% a precios corrientes, una vida del calentador de 20 años, un incremento anual del GLP y de la tarifa eléctrica de 12.7% anual.

Con las consideraciones mencionadas anteriormente, los resultados obtenidos en Valor Presente Neto para el flujo de efectivo de cada proyecto arrojan valores cercanos para el calentador de GLP y el solar-GLP, y con marcada ventaja hacia el calentador solar-eléctrico con

valores menores en un 18%, respecto al calentador de GLP y de un 19.3% respecto al calentador solar-GLP.

Considerando como máximo ahorro de energía, el caso en que las viviendas tipo casa sola, con ingresos mayores a los tres salarios mínimos, que ya tienen calentador de gas, tuviesen en su totalidad calentadores híbridos del tipo solar-GLP, éste sería de 12.3 PJ., lo cual representa el 4.3% del consumo de GLP para el sector residencial mexicano.

La mitigación de gases invernadero que significa la sustitución de calentadores de GLP por calentadores híbridos del tipo solar - GLP, sería de 0.212 tC, 5.80E-04 TgNOx, 1.23E-04 TgCO y 1.36E-05 TgCH4, lo cual significa el 4.3% de las emisiones de GLP del sector residencial mexicano.

Ahora bien, en el caso de la sustitución de calentadores de GLP por calentadores híbridos del tipo solar-eléctrico, implicaría un consumo de energía de 2.04 PJ, tan sólo el 10.7% del consumo actual de los calentadores de GLP. Esto implicaría el 6% de ahorro de GLP del sector residencial mexicano para 1992. En el caso de las emisiones de gases invernadero, se estima que todas las emisiones, considerando las generadas en la producción de electricidad, disminuyen, con excepción de los óxidos y el nitrógeno. Una ventaja adicional, es que estas emisiones aumentarían fuera del AMCM, esto es, en el lugar de generación de la energía eléctrica, lo que permitiría una disminución de la contaminación ambiental en el AMCM.

Por supuesto, aun cuando se cumplieren todas las consideraciones expuestas en este trabajo, sigue existiendo el problema de la disponibilidad de capital por parte de las familias para invertir en un calentador híbrido. El salario mínimo vigente en 1997, será de 26.8 pesos diarios y el calentador híbrido solar-eléctrico representa una inversión de 4.7 salarios mínimos mensuales. Es difícil suponer que las familias con ingresos menores a los 4 salarios mínimos estarían en condiciones de hacer una inversión tan alta. Por esta razón se hacen algunas propuestas que permitirían al menos alcanzar el potencial de ahorro presentado anteriormente :

Incentivos fiscales: Como por ejemplo no cobrar el IVA en los calentadores solares.

Programas de administración de la demanda por parte de PEMEX. Existe una experiencia basta en programas de este tipo en las compañías eléctricas, particularmente en CFE, sin embargo, no se ha estudiado con suficiente profundidad (análisis de costo-beneficio para la

empresa), la posibilidad de que PEMEX implementara programas del lado de la demanda. Por ejemplo promover incentivos para aquellos usuarios que instalen calentadores solares, sería una posibilidad.

Promover normas de eficiencia energética para calentadores de uso doméstico (mayor aislamiento, por ejemplo) es quizá una tarea igual de urgente que la promoción de calentadores híbridos.

Recomendaciones para trabajos futuros:

Para desarrollar trabajos futuros con mayor detalle y precisión en los datos sería necesario considerar (a) factores de uso del calentador solar en el AMCM con base en datos de insolación del Servicio Meteorológico Nacional y en pruebas experimentales y, (b) estudios estructurales por tipo de edificio para conocer la factibilidad de implementar calentadores solares en edificios.

Adicionalmente, sería muy importante desarrollar estudios de análisis termodinámico de los calentadores de GLP, que permitieran reconocer el mejoramiento necesario para aumentar la eficiencia de estos equipos. Asimismo se necesita desarrollar un estudio termodinámico para el calentador híbrido solar-eléctrico, el cual permita conocer su comportamiento exacto en cuanto a consumo de energía eléctrica.

Referencias

Almanza, Rafael y Muñoz, Felipe. 1994. *"Ingeniería de la Energía Solar"*. Ed. El Colegio nacional. México, D.F.

Blank, Leland y Tarquin, Anthony. 1994. *"Ingeniería Económica"*. Mc Graw Hill. México, D.F.

Coss R. 1994. *"Evaluación de Proyectos de Inversión"*. Ed. LIMUSA. México D.F.

Fernández, Jose Luis. Instituto de Ingeniería, UNAM. 1987. *"Introducción al Estudio de los Sistemas Solares Activos"*. No D - 26. Septiembre 1987.

INEGI. 1989. Encuesta Ingreso Gasto de los Hogares-Area Metropolitana de la Ciudad de México-1989. Ags. México.

INEGI (a). 1992. Encuesta Nacional Ingreso Gasto de los Hogares-1992. Características de la Vivienda. Ags. México

INEGI (b). 1992. Encuesta Ingreso Gasto de los Hogares-Area Metropolitana de la Ciudad de México. Características de la Vivienda. Ags. México

"Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC". (1994). Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 3. UNEP, WMO, OECD, IEA. London.

"Inventario de emisiones de gases invernadero". 1996. Instituto de Ingeniería, UNAM. México D.F.

Koomey, J., C. Atkinson, A. Meier, J. McMahon, S. Boghosian, B. Atkinson, I. Turiel, M. Levine, B. Normand and P. Chañ., 1991a. *"The Potential for Electricity Efficiency Improvements in the U.S. Residential Sector"*, LBL- 30477 Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley California USA.

Lucas, Ted. 1975. *"How to Build a Solar Heater"*. Ward Ritchie Press. Pasadena, Cal

Lunde, Peter J., 1980. *"Solar Thermal Engineering"*, Ed. John Miley and Sons.

Masera O., O. De Buen y R. Friedmann., 1991. *"Consumo Residencial de Energía en México: Estructura, Impactos Ambientales, Potencial de Ahorro"*. En Primera Reunión Internacinal sobre Ebergía y Medio Ambiente en el Sector Residencial Mexicano (ed) Quintanilla J., Mexico D.F.

Martínez, Rodolfo. ANES 1996. *"Notas del Curso de Actualización en Calentadores Solares"*. Asociación Nacional de Energía Solar.

PICCA (1992). *"Programa Integral de Control de la Contaminación Atmosférica en la Ciudad de México"*. Departamento del Distrito Federal.

Wark, K. y Warner, C. (1990). *"Contaminación del aire. Origen y control"*. LIMUSA, Grupo Noriega Editores.

Williams, J. Richard. 1977. *"Solar Energy"*. Ed. Ann Arbor Science. Michigan, USA,

Wilson, J.I.B. 1982. *"La Energía Solar"*. Editorial Alhambra. México, D.F.

ANEXOS

FABRICANTES DE COLECTORES SOLARES Y TERMOTANQUES EN MEXICO

Agosto - septiembre 1996

	COLECTORES \$	\$/m ²	caracteris- ticas	TERMOTANQUES (TT) \$	\$/lt	caracteris- ticas	Cantidad y Capacidad Nominal de calentadores solares	CALENTADORES \$	caracteris- ticas
FABRICANTE									
1	1292.00	581.40	A = 1.8 m ² , Cu + lam, Pintura negra, Vidrio 2pz	1716.00	5.72	300 lt Acero al carbón	S/ Mediano 300 lt	4300.00	2 col + TT 300 lt 10 años
				1288.00	8.59	150 lt Acero al carbón	S/ Chico 150 lt	2580.00	1 col + TT 150 lt 10 años
				8800.00	29.33	300 lt Acero inoxidable	L/ Mediano 300 lt	11340.00	2 col + TT 300 lt 20 años
2	1390.00	695.00	2m ² , Al+Cu, Pintura negra, Vidrio doble 3 pzas	1520.00	7.12	V = 215 lt Fibra de vidrio	S/ Mediano	2530.43	1 col + TT 215 lt
3	1170.00	599.88	A = 1.95 m ² Cu + Cu Pintura negra Vidrio 1 pz	3100.00	11.48	V = 270 lt, Acero+pintu ra epóxica, Anodo sacrificio	S/ Mediano 300 lt	5440.00	2 col + termot
				2528.00	14.87	V = 170 lt, Acero+pintu ra epóxica, Anodo sacrificio	S/ Chico 150 lt	3698.00	1 col + lttanque

FABRICANTE	COLECTORES \$	\$/m ²	caracteris- ticas	TERMOTANQUES (TT) \$	\$/lt	caracteris- ticas	Calidad y Capacidad Nominal de calentadores solares	CALENTADORES \$	caracteris- ticas
3	2012.00	1031.58	A = 1.95 m ² Cu + Cu Cromo negro Vidrio 1 pz	3100.00	11.48	V = 270 lt, Acero + pintura a epóxica, Anodo sacrificio	L / Mediano 300 lt	7124.00	2 col + TT
4	997.54	586.79	A = 1.7 m ² Al + Cu Pintura negra Vidrio	1859.55	7.44	V = 250lt	S / Mediana 300 lt	4619.00	2 col de 1.7 m ² + termot 300 lt
			A = 1.7 m ² Al Pintura negra Vidrio	1164.46	7.76	V = 150lt	E / Chica 150 lt	2162.01	1 col + termot de 150 lt
5	1072.00	633.27	Al + Cu Fibra vidrio C/m.o. instalación	2524.00	8.41	V = 450lt Placa acero 3/16" /acero c ánodo de Mg	S / Mediano	4668.00	
				1726.00	3.84	V = 450 lt Plástico + polimero	E / Mediano	3670.00	
6	1350.00	710.53	A = 1.9 m ² Cu + Cu Pintura negra Vidrio 1 pz	2956.52	11.83	V = 250 lt Lámina galvanizada por inmersión	S / Mediano	5304.35	2 cols + 1 termot. 250 lt
				1217.39	10.59	V = 115 lt Lámina galvanizada por inmersión	S / Chico	2391.30	1 col + 1 termot 115 lt

CARACTERISTICAS COLECTORESA = área en m²

Material Tubería y Aletas

Recubrimiento selectivo

Material Cubierta

CALIDAD

S = Standard

E = Económico

L = Lujo

CARACTERISTICAS TERMOTANQUES

V = volúmen en lt

Material tanque interior

Recubrimiento antioxidante tanque interior

Ánodo de sacrificio

CAPACIDAD NOMINAL DEL CALENTADOR SOLAR

Chico = 115 a 170 lt

Mediano = 200 a 300 lt

Calidad Standard: colector plano aislado con cubierta transparente, tubería de cobre y aletas metálicas
 Termotanque de fibra o acero negro galvanizado

Calidad económica: colector plano c/ otros materiales, TT igual a S

Calidad de Lujo: colectores planos con superficie selectiva (cromo negro), Tanques interiores de TT de acero inoxidable

LISTA DE FABRICANTES CONSULTADOS**NOMBRE****CIUDAD**

1 CAPTASOL

MORELIA, MICH.

2 COLECTORES SOLARES Y TERMOTANQUES

CUERNAVACA, MOR.

3 INSTALACIONES TECNICAS ESPECIALIZADAS S.A.

MEXICO, D.F.

4 MODULO SOLAR S.A. DE C.V.

CUERNAVACA, MOR.

5 SISTEMAS Y COMPONENTES EN ENERGIA SOLAR

CUERNAVACA, MOR.

6 SUNWAY DE MEXICO

MEXICO, D.F.

ANEXO 2

ANALISIS INDIVIDUAL DE LOS PROYECTOS

FLUJO DE EFECTIVO, CALENTADOR HIBRIDO (SOLAR-ELECTRICO)

PERIODOS	HIBRIDO ELECTRICO		TARIFA (Kwh)	(\$ / kwh)	Factoe de uso eléctrico		ANUALIDAD INVERSION	ANUALIDAD TOTAL	COSTO TOTAL
	INV. INICIAL	MANTEENIMIENTO			HIBRIDO (\$/AÑO)	A/P, I, 20			
	3795.00	30.00	12.7%	0.9	730.00	0.272			
1		36.00	0.90		229.95		-1033.32	-209.41	
2		43.20	1.01		259.15		-1033.32	-187.46	
3		51.84	1.14		292.07		-1033.32	-167.89	
4		62.21	1.29		329.16		-1033.32	-150.44	
5		74.65	1.45		370.96		-1033.32	-134.88	
6		89.58	1.64		418.07		-1033.32	-120.99	
7		107.50	1.84		471.17		-1033.32	-108.59	
8		128.99	2.08		531.01		-1033.32	-97.52	
9		154.79	2.34		598.45		-1033.32	-87.64	-1264.83
10		185.75	2.64		674.45		-1033.32	-78.81	
11		222.90	2.97		760.10		-1033.32	-70.91	
12		267.48	3.35		856.64		-1033.32	-63.85	
13		320.98	3.78		965.43		-1033.32	-57.53	
14		385.18	4.26		1088.04		-1033.32	-51.88	
15		462.21	4.80		1226.22		-1033.32	-46.82	
16		554.65	5.41		1381.95		-1033.32	-42.28	
17		665.58	6.10		1557.46		-1033.32	-38.22	
18		798.70	6.87		1755.25		-1033.32	-34.57	
19		958.44	7.74		1978.17		-1033.32	-31.30	
20		1150.13	8.73		2229.40		-1033.32	-28.36	-1809.37

VPN = -5604.37

ANALISIS INDIVIDUAL DE LOS PROYECTOS

FLUJO DE EFECTIVO, CALENTADOR DE GLP.

PERIODOS	GLP INV. INICIAL	GLP MANTENIMIENTO	PRECIO COMBUSTIBLE 12.7%	GLP COMBUSTIBLE	A/P, i, 20	ANUALIDAD INVERSION	Flujo de efectivo neto	COSTO TOTAL
	1675.39	30.00	2.28	316.98	0.272			
1		36.00	2.28	722.72		-456.18	-597.42	
2		43.20	2.57	814.51		-456.18	-531.78	
3		51.84	2.90	917.95		-456.18	-473.44	
4		62.21	3.26	1034.53		-456.18	-421.59	
5		74.65	3.68	1165.91		-456.18	-375.49	
6		89.58	4.15	1313.98		-456.18	-334.51	
7		107.50	4.67	1480.86		-456.18	-298.07	
8		128.99	5.27	1668.93		-456.18	-265.67	
9		154.79	5.93	1880.88		-456.18	-236.85	
10		185.75	6.69	2119.75		-456.18	-211.22	
11		222.90	7.54	2388.96		-456.18	-188.41	
12		267.48	8.49	2692.36		-456.18	-168.12	
13		320.98	9.57	3034.29		-456.18	-150.06	
14		385.18	10.79	3419.65		-456.18	-133.99	
15		462.21	12.16	3853.94		-456.18	-119.69	
16		554.65	13.70	4343.39		-456.18	-106.95	
17		665.58	15.44	4895.00		-456.18	-95.60	
18		798.70	17.40	5516.67		-456.18	-85.49	
19		958.44	19.61	6217.28		-456.18	-76.49	
20		1150.13	22.10	7006.88		-456.18	-68.46	-4939.30

VPN = -6614.69

ANALISIS INDIVIDUAL DE LOS PROYECTOS

FLUJO DE EFECTIVO, CALENTADOR HIBRIDO (SOLAR-GLP).

PERIODOS	HIBRIDO	HIBRIDO	PRECIO	HIBRIDO	Factor de uso GLP	ANUALIDAD	Flujo de efectivo	COSTO TOTAL
	INV. INICIAL	MANTENIMIENTO	COMBUSTIBLE	COMBUSTIBLE	A/P, 1, 20	INVERSION	neto	
	4382.39	60.00		110.94	0.272			
1		72.00	2.28	252.95		-1193.26	-255.87	
2		86.40	2.57	285.08		-1193.26	-230.32	
3		103.68	2.90	321.28		-1193.26	-207.46	
4		124.42	3.26	362.08		-1193.26	-187.01	
5		149.30	3.68	408.07		-1193.26	-168.70	
6		179.16	4.15	459.89		-1193.26	-152.31	
7		214.99	4.67	518.30		-1193.26	-137.61	
8		257.99	5.27	584.12		-1193.26	-124.43	
9		309.59	5.93	658.31		-1193.26	-112.61	-1576.33
10		371.50	6.69	741.91		-1193.26	-102.00	
11		445.81	7.54	836.14		-1193.26	-92.48	
12		534.97	8.49	942.33		-1193.26	-83.91	
13		641.96	9.57	1062.00		-1193.26	-76.21	
14		770.35	10.79	1196.88		-1193.26	-69.28	
15		924.42	12.16	1348.88		-1193.26	-63.04	
16		1109.31	13.70	1520.19		-1193.26	-57.41	
17		1331.17	15.44	1713.25		-1193.26	-52.34	
18		1597.40	17.40	1930.83		-1193.26	-47.76	
19		1916.88	19.61	2176.05		-1193.26	-43.63	
20		2300.26	22.10	2452.41		-1193.26	-39.89	-2304.28

VPN = -6686.67

ANEXO 2.1

ANALISIS TOMANDO COMO BENEFICIO EL AHORRO DE ENERGIA

CASO EN QUE NO SE CUENTA CON CALENTADOR DE GLP

FLUJO DE EFECTIVO, CALENTADOR HIBRIDO (SOLAR-GLP)

Factor de uso solar 0.65

PERIODOS	HIBRIDO INV. INICIAL	HIBRIDO MANTENIMIENTO	PRECIO COMBUSTIBLE	HIBRIDO (utilidad) COMBUSTIBLE	A/P. i. 20	ANUALIDAD INVERSION	ANUALIDAD TOTAL	COSTO TOTAL
	4319.43	60.00		206.04	0.27			
1		72.00	2.28	469.77		1176.12	313.20	
2		86.40	2.74	563.72		1176.12	295.94	
3		103.68	3.28	676.47		1176.12	279.63	
4		124.42	3.94	811.76		1176.12	264.22	
5		149.30	4.73	974.11		1176.12	249.65	
6		179.16	5.67	1168.93		1176.12	235.89	
7		214.99	6.81	1402.72		1176.12	222.89	
8		257.99	8.17	1683.26		1176.12	210.61	
9		309.59	9.80	2019.92		1176.12	199.00	2271.03
10		371.50	11.76	2423.90		1176.12	188.03	
11		445.81	14.12	2908.68		1176.12	177.66	
12		534.97	16.94	3490.42		1176.12	167.87	
13		641.96	20.33	4188.50		1176.12	158.62	
14		770.35	24.39	5026.20		1176.12	149.88	
15		924.42	29.27	6031.44		1176.12	141.62	
16		1109.31	35.13	7237.73		1176.12	133.81	
17		1331.17	42.15	8685.27		1176.12	126.43	
18		1597.40	50.58	10422.33		1176.12	119.47	
19		1916.88	60.70	12506.80		1176.12	112.88	
20		2300.26	72.84	15008.16		1176.12	106.66	3853.96

INFLACION = 20%

AHORRO

206,04 Kg gas LP

VPN = -332.65

TREMA = 27%

ANALISIS TOMANDO COMO BENEFICIO EL AHORRO DE ENERGIA

CASO EN QUE SI SE CUENTA CON CALENTADOR DE GLP

FLUJO DE EFECTIVO, CALENTADOR HIBRIDO (SOLAR-GLP)

PERIODOS	HIBRIDO		PRECIO	Factor de uso solar		ANUALIDAD	ANUALIDAD	COSTO TOTAL
	INV. INICIAL	MANTENIMIENTO	COMBUSTIBLE	HIBRIDO (utilidad)	COMBUSTIBLE	INVERSION	TOTAL	
	3797.00	60.00		206.04				
					0.27			
1		72.00	2.28	469.77		1033.87	313.20	
2		86.40	2.74	563.72		1033.87	295.94	
3		103.68	3.28	676.47		1033.87	279.63	
4		124.42	3.94	811.76		1033.87	264.22	
5		149.30	4.73	974.11		1033.87	249.65	
6		179.16	5.67	1168.93		1033.87	235.89	
7		214.99	6.81	1402.72		1033.87	222.89	
8		257.99	8.17	1683.26		1033.87	210.61	
9		309.59	9.80	2019.92		1033.87	199.00	2271.03
10		371.50	11.76	2423.90		1033.87	188.03	
11		445.81	14.12	2908.68		1033.87	177.66	
12		534.97	16.94	3490.42		1033.87	167.87	
13		641.96	20.33	4188.50		1033.87	158.62	
14		770.35	24.39	5026.20		1033.87	149.88	
15		924.42	29.27	6031.44		1033.87	141.62	
16		1109.31	35.13	7237.73		1033.87	133.81	
17		1331.17	42.15	8685.27		1033.87	126.43	
18		1597.40	50.58	10422.33		1033.87	119.47	
19		1916.88	60.70	12506.80		1033.87	112.88	
20		2300.26	72.84	15008.16		1033.87	106.66	3853.96

INFLACION = 20%

AHORRO

206,04 Kg gas LP

VPN = 57.10

TREMA = 27%

NORMALES CLIMATOLÓGICAS

1951-1960

LATITUD 19-26
LONGITUD 99-05

AEROPUERTO INTERNACIONAL, V. CAMARÓN, D.F.
ALTITUD 2225 MSLM

ORG. SIMPICO
ORG. METEOS-500

PARÁMETROS	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
-----TEMPERATURAS-----																		
MÁXIMA ESTIPEÑA	12	30.5	29.4	32.2	33.5	33.5	31.3	29.2	35.2	38.1	38.5	35.2	29.1	28.5	27.6	26.7		35.2
-FECHA (DIA/AGD)		03/79	29/71	12/77	29/79	16/60	04/63	14/78	02/70	09/72	12/63	01/72	23/74					02/60/78
PROMEDIO DE MÁXIMA	12	22.3	23.7	26.7	27.4	27.1	25.2	23.9	27.7	28.4	25.4	22.4	22.4	22.5	21.0			24.3
MÍNIMA	12	13.0	13.7	16.8	18.2	18.4	17.4	16.7	16.9	16.6	15.9	14.1	12.9					15.9
PROMEDIO DE MÍNIMA	12	3.0	4.1	6.6	8.4	10.1	11.4	11.2	11.4	11.2	9.6	6.9	5.9					8.1
MÍNIMA ESTIPEÑA	12	-4.9	-5.5	.5	1.0	3.3	3.6	1.5	7.7	2.0	2.4	-4.4	-2.9					-5.5
-FECHA (DIA/AGD)		30/73	05/76	06/77	12/71	04/70	12/79	15/74	23/74	30/79	02/79	27/74	29/80					05/02/76
MÍNIMA A LA INTERFERIE	11	-9.5	-9.5	-2.3	-1.0	1.0	2.0	.5	4.0	-3.0	-1.5	-10.5	-7.2					-10.5
-FECHA (DIA/AGD)		15/75	24/76	09/78	12/71	02/77	15/79	25/72	23/74	09/74	05/85	27/74	23/72					27/11/74
OSCILACION	12	19.5	19.6	20.1	19.0	17.0	13.8	12.7	12.3	12.2	13.6	16.5	17.9					16.2
TOTAL HORAS INSOLACION	11	221.5	204.2	230.6	215.1	200.9	176.6	165.4	165.2	151.5	104.7	194.6	203.4					212.9
-----HUMEDAD-----																		
HUMEDAD RELATIVA MEDIA	11	57	55	50	52	57	61	66	67	66	62	60	59					59
EVAPORACION	12	124.1	137.0	107.0	109.4	104.7	149.0	135.2	131.1	121.0	124.5	118.6	121.5					122.9
-----PRECIPITACION-----																		
MEDIA	12	8.3	6.5	9.6	22.6	50.0	89.5	109.3	109.0	82.2	56.0	7.0	5.9					55.7
MÁXIMA	12	35.7	19.1	47.2	47.5	105.5	206.1	169.4	225.6	149.4	154.6	29.9	36.1					255.6
-FECHA (AGD)		75	79	70	72	72	70	70	76	77	70	73	76					08/76
MÁXIMA DEL MES EN 24 HRS.	12	14.1	9.1	20.8	33.0	35.9	39.0	33.5	55.0	49.9	38.4	2.6	10.3					55.0
-FECHA (DIA/AGD)		21/75	05/85	16/78	30/73	21/72	27/71	29/70	20/76	11/79	04/70	15/73	01/76					29/06/76
MÍNIMA	12	.5	1.1	3.0	1.6	14.0	30.1	68.7	27.0	46.1	2.0	.1	1.0					.1
-FECHA (AGD)		71	71	79	70	69	76	80	70	69	73	70	72					11/70
-----PRESION-----																		
MEDIA EN LA ESTACION	11	781.0	781.6	780.2	780.9	781.5	781.9	781.0	782.3	781.7	782.5	782.7	782.5					781.9
FRECUENCIA DE ELEMENTOS Y FENOMENOS ESPECIALES																		
MM. DIAS CON LLENTA AMEC.	12	1.75	2.63	3.10	6.72	11.63	17.00	19.33	10.69	14.75	8.25	2.41	1.50					107.23
MM. DIAS CON LLENTA INAP.	12	.50	1.00	1.63	2.90	2.27	1.91	2.50	2.50	1.00	1.83	1.31	.83					20.34
MM. DIAS DESPREZOS	11	15.25	12.63	10.90	10.81	4.45	2.34	3.00	2.57	3.25	6.00	9.63	12.81					93.67
MM. DIAS MEDIO MELASOS	11	10.67	11.00	13.27	15.45	16.10	10.45	8.72	7.10	9.00	11.30	15.45	12.90					141.21
MM. DIAS MUY MELASOS	11	4.91	4.63	4.61	3.72	7.65	17.10	19.27	20.65	16.66	13.70	6.90	5.10					127.42
MM. DIAS CON ROCIO	2	.00	.00	.00	.00	.10	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00					1.50
MM. DIAS CON GRANIZO	12	.00	.00	.00	.27	.10	.10	.00	.25	.00	.00	.00	.00					1.12
MM. DIAS CON NIEBLA	12	5.41	2.09	.27	.56	.00	.00	.00	.00	.00	.25	1.91	.50					12.87
MM. DIAS CON TORM. ELEC.	12	.16	.09	.00	.00	1.45	1.72	1.16	2.50	1.91	.50	.00	.00					6.65
MM. DIAS CON NEBLA	12	4.83	4.09	9.09	6.09	6.63	9.91	4.53	7.66	8.02	6.33	7.16						84.04
MM. DIAS CON NIEBLA	12	.00	.27	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00					.27

UNIDADES: TEMPERATURA (°C), HUMEDAD RELATIVA (%), EVAPORACION, PRECIPITACION (mm) y PRESION (hg).

BOLETINES CLIMATOLÓGICAS

1951-1960

LATITUD 19-24
LONGITUD 99-12

MEXICO-CENTRAL-TACUBAYA, D.F.
ALTITUD 2260 MDSM

ONS. SIMPLIFICADO
ONS. 00119-000

PARAMETROS	AGOS	SEPT	OCT	NOV	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
---TEMPERATURAS---														
MAXIMA ESTERNA	30	29.4	29.0	32.5	33.0	32.0	32.0	30.0	27.7	26.5	26.9	29.3	26.4	33.0
-FECHA (DIA/AGO)		19/71	27/50	10/77	10/70	17/53	17/53	15/53	17/62	12/70	09/77	03/59	22/53	10/04/70
PROMEDIO DE MAXIMA	30	21.2	22.9	25.7	26.6	26.3	24.6	23.0	23.3	22.3	22.2	21.0	20.0	23.4
MEDIA	27	12.9	14.5	17.0	18.0	18.1	17.2	16.0	16.3	15.7	15.1	14.0	12.9	15.6
PROMEDIO DE MINIMA	30	5.0	7.1	9.2	10.0	11.7	12.2	11.5	11.6	11.5	9.8	7.9	6.6	9.6
MINIMA ESTERNA	30	-1.5	-4.4	.3	4.0	1.1	7.0	5.3	6.4	1.6	1.1	-0	-1.3	-9.3
-FECHA (DIA/AGO)		05/65	03/60	19/67	09/60	05/65	14/79	11/56	12/66	22/52	22/55	11/53	19/53	09/51/76
MINIMA A LA INTENSIVIDAD	12	-3.0	-1	.3	3.0	6.2	6.6	6.4	7.3	3.2	5.0	.0	-1.0	-3.0
-FECHA (DIA/AGO)		01/70	04/70	10/70	10/71	17/70	14/79	10/74	21/76	25/75	09/74	27/74	22/77	07/01/70
OSCILACION	30	15.4	15.0	16.5	15.0	14.0	12.4	11.5	11.7	10.0	12.4	13.0	14.2	15.0
TOTAL HORAS INSOLACION	30	170.2	201.6	216.1	186.2	184.0	138.6	135.2	147.0	110.9	151.0	170.1	150.3	1970.2
---HUMEDAD---														
TEMPERATURA GUBO HUMEDO	24	0.1	9.1	10.2	11.0	12.1	13.0	12.7	13.0	12.6	11.2	9.9	0.3	11.0
HUMEDAD RELATIVA MEDIA	30	55	50	46	47	54	64	70	71	71	66	62	60	60
TENSION MEDIA DEL VAPOR	29	0.2	0.1	0.7	0.6	11.2	12.0	13.2	13.3	13.3	11.0	10.2	9.2	10.0
---PRECIPITACION---														
MEDIA	30	11.0	4.3	10.1	25.9	56.0	134.0	175.1	169.2	144.0	66.9	12.1	6.0	816.2
MAXIMA	30	99.0	23.0	42.0	99.0	149.0	350.6	306.2	317.0	167.5	100.9	33.7	35.7	350.6
-FECHA (AGO)		50	65	70	62	56	60	76	69	67	70	52	76	06/60
MAXIMA DEL MES EN 24 HRS.	30	32.9	10.1	20.0	39.1	50.0	71.2	53.5	79.3	73.0	57.1	41.1	19.1	79.3
-FECHA (DIA/AGO)		10/67	21/65	20/71	16/64	21/70	20/60	09/60	27/67	04/77	27/75	04/52	20/76	27/00/67
MAXIMA EN 1 HORA	25	7.6	7.3	10.0	35.3	41.5	45.3	53.5	36.5	57.0	46.3	10.0	5.4	57.0
-FECHA (DIA/AGO)		03/64	22/70	10/59	16/64	21/70	20/64	09/60	01/60	26/55	27/75	01/52	27/50	26/09/53
MINIMA	30	.1	.5	.0	.0	14.3	29.0	62.1	60.0	30.6	.3	.7	.2	.1
-FECHA (AGO)														
---PRESION---														
MEDIA EN LA ESTACION	20	773.9	773.7	773.3	773.7	773.5	773.9	774.0	774.0	773.9	774.7	774.0	774.5	774.2
---VISIBILIDAD---														
DIURNO	10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
FRECUENCIA DE ELEMENTOS Y FENOMENOS ESPECIALES														
MM. DIAS CON LLOVIA APREC.	30	2.25	2.46	3.10	7.06	12.70	17.73	23.40	22.43	10.90	9.53	4.43	2.63	127.42
MM. DIAS CON LLOVIA IMP.	30	1.60	2.46	3.36	5.40	9.23	3.63	3.86	3.80	3.63	3.93	3.16	2.76	42.32
MM. DIAS RESPLANDADOS	30	14.00	13.40	13.44	0.72	6.10	2.26	.60	.53	1.17	5.40	0.70	9.96	04.20
MM. DIAS NUBLO NUBLADOS	30	11.14	10.36	12.37	15.42	15.65	10.80	9.33	11.53	9.76	10.96	13.43	13.43	144.20
MM. DIAS NUBLADO/CELESTADO	30	5.53	4.33	4.72	5.13	0.55	16.16	20.26	10.16	10.50	15.53	6.90	7.16	120.93
MM. DIAS CON ROCIO	6	.75	.36	.03	7.33	.03	2.40	1.50	1.06	.10	2.73	2.33	2.33	15.95
MM. DIAS CON GRANIZO	30	2.00	.25	1.56	.40	1.17	1.06	4.46	4.53	1.53	.53	2.20	.00	20.35
MM. DIAS CON NEVADA	30	3.42	1.40	.26	.00	.00	.00	.00	.00	.20	.46	1.13	2.91	9.00
MM. DIAS CON TORR. ELIC.	30	.17	.33	1.13	2.74	4.46	5.16	7.43	7.03	5.10	2.50	1.00	.23	37.50
MM. DIAS CON NIEBLA	28	0.49	7.14	7.57	9.00	6.17	7.75	9.13	0.17	9.00	10.45	0.24	0.37	102.70
MM. DIAS CON NEVADA	29	.07	.06	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.13

UNIDADES: TEMPERATURA (°C), HUMEDAD RELATIVA (%), EVAPORACION, PRECIPITACION (mm) y PRESION (hp).