

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE UN COLECTOR SOLAR  
ASISTIDO POR UN CALENTADOR ELÉCTRICO**

**T E S I S**

QUE PARA OBTAR POR EL GRADO DE:

**INGENIERO MECÁNICO**

P R E S E N T A:

**GABINO TZONTECOMANI ÁVILA**

TUTOR:

**DR. JOSE LUIS FERNADEZ ZAYAS**

## **A MIS PADRES**

Por todo el apoyo, tolerancia y cariño que me han brindado todo este tiempo.

Gabino Tzontecomani Romero  
Zita Ávila Hernández

## **A MIS HERMANAS**

Gracias por todo su apoyo, los consejos brindados y por ser mis hermanas.

Verónica Tzontecomani Ávila  
Virginia Tzontecomani Ávila  
Gabriela Vianey Tzontecomani Ávila

## **A MIS SOBRINOS**

Para demostrarles que todo lo que se proponen en la vida lo pueden lograr solo se necesita un poco de paciencia y obstinación.

Kevin Idahir Acosta Tzontecomani  
Agustin Acosta Tzontecomani  
Carlos Fabian Terrazas Tzontecomani  
Keith Acosta Tzontecomani  
Viridiana Tzontecomani  
Scarlet Acosta Tzontecomani

# ÍNDICE

Lista de figuras.....	IV
Lista de tablas.....	V
Resumen.....	VI

## 1 Introducción

1.1 Breve historia de la utilización de la energía solar.....	1
1.2 Historia de los calentadores solares de agua.....	7

## 2 Captadores Solares

2.1 Tipos de colectores solares.....	10
2.2 Absorbedores.....	15
2.3 Recubrimientos del absorbedor.....	17
2.4 Carcasa del captador.....	18
2.5 Cubierta transparente del captador.....	18

## 3 Calentadores de Agua

3.1 Calentadores de depósito.....	19
3.2 Calentadores instantáneos.....	20
3.3 Calentadores de punto.....	21

## 4 Sistemas Calentadores solares

4.1 Sistema calentador con calentador de depósito.....	22
4.2 Sistema calentador con calentador instantáneo.....	23
4.3 Sistema calentador con bomba de calor.....	23

## 5 Análisis Técnico

5.1 Radiación solar para la ciudad de México.....	26
5.2 Mínima temperatura en la ciudad de México.....	27
5.3 Cantidad de agua para la ducha por persona.....	28
5.3.1 Hora promedio para la ducha.....	29
5.3.2 Temperatura de Confort para la ducha.....	29
5.4 Temperatura del agua de suministro.....	29

5.5 Agua caliente necesaria.....	29
5.6 Energía Útil.....	30
5.7 Tamaño del captador.....	31
5.8 Energía faltante para cubrir demanda de agua.....	33
5.9 Arreglo del sistema.....	35
6 Análisis Económico	
6.1 Precio del gas Lp.....	36
6.2 Precio del gas natural.....	37
6.3 Precio de la energía eléctrica.....	38
6.4 Costo diario para la ducha de la familia.....	39
6.4.1 Con calentador de depósito de gas.....	39
6.4.2 Con calentador de paso de gas.....	41
6.4.3 Con calentador de depósito eléctrico.....	42
6.4.4 Con calentador de paso eléctrico.....	44
6.4.5 Con el sistema propuesto.....	45
6.5 Inversión para el sistema calentador de agua.....	46
5.7 Beneficios económicos.....	46
7 Resultado de los Análisis	
7.1 Análisis técnico.....	48
7.2 Análisis económico.....	50
Conclusiones.....	52
Bibliografía y fuentes de consulta.....	53

## Lista de Figuras

Figura 1.1	Itinerario descrito por el sol el 21 de diciembre solsticio de invierno al mediodía.....	1
Figura 1.2	Itinerario descrito por el sol el 21 de junio solsticio de verano al mediodía.....	2
Figura 1.3	Reconstrucción de una casa griega clásica.....	2
Figura 1.4	Heliocaminus.....	3
Figura 1.5	Baños romanos.....	4
Figura 1.6	Espejos incendiarios.....	5
Figura 1.7	Espejo de Hoesen.....	6
Figura 1.8	Anuncio del calentador solar clímax.....	7
Figura 1.9	Esquema de una instalación del calentador día y noche.....	9
Figura 2.1	Colector solar.....	11
Figura 2.2	Colector tubos de vacío.....	12
Figura 2.3	Tubo de vacío Schott.....	12
Figura 2.4	Sección de un tubo de vacío de flujo directo.....	13
Figura 2.5	Tubo de vacío heatpipe.....	14
Figura 2.6	Detalle de un concentrador CPC.....	14
Figura 2.7	Absorbedor de aluminio, con tubo de acero inoxidable en serpentín.....	16
Figura 2.8	Carcasa y cubierta de un colector.....	18
Figura 3.1	Esquema del calentador de depósito con gas.....	19
Figura 3.2	Esquema del calentador de depósito eléctrico.....	20
Figura 3.3	Esquema de un calentador instantáneo de gas.....	21
Figura 3.4	Esquema de un calentador instantáneo eléctrico.....	21
Figura 3.5	Esquema de un calentador de punto.....	21
Figura 4.1	Sistema colector solar con respaldo de un calentador de depósito.....	22
Figura 4.2	Sistema colector solar con respaldo de un calentador de instantáneo.....	23
Figura 4.3	Sistema calentador con bomba de calor directa.....	24
Figura 4.4	Sistema calentador con bomba de calor aire-agua.....	25
Figura 4.5	Sistema calentador con bomba de calor agua-agua.....	25
Figura 5.1	Temperaturas mínimas en la Ciudad de México.....	27
Figura 5.2	Mezcladora de agua.....	30
Figura 5.3	Eficiencia de un colector.....	31
Figura 5.4	Eficiencia de un colector con materiales selectivos.....	31
Figura 5.5	Sistema calentador paso eléctrico.....	35
Figura 6.1	Evolución de la política de precios del gas LP incluye IVA.....	36
Figura 6.2	Comportamiento del precio del gas lp.....	37
Figura 6.3	Precio medio de la energía eléctrica por usuario.....	38
Figura 6.4	Comportamiento del precio del gas natural.....	38
Figura 7.1	Radiación utilizada para la ciudad de México y zona conurbada.....	48
Figura 7.2	Cantidad de energía que necesita cada calentador de agua al mes.....	48
Figura 7.3	Energía consumida por cada calentador en 10 años.....	49
Figura 7.4	Costo de calentador el agua.....	50
Figura 7.5	Costo de calentador el agua al fin de diez años.....	51

## Lista de Tablas

Tabla 2.1	lista de algunos materiales que se usan para los componentes del colector.....	11
Tabla 5.1	Datos de la CONUEE.....	26
Tabla 5.2	Datos promedios ciudad de México y zona conurbada.....	26
Tabla 5.3	Datos de la norma NMX-ES-001-NORMEX-2005.....	27
Tabla 5.4	Gasto máximo y mínimo especificado.....	28
Tabla 5.5	Temperatura del agua de suministro.....	29
Tabla 5.6	Temperaturas alcanzadas con un colector de 2.2m <sup>2</sup> y 50% de eficiencia.....	33
Tabla 5.7	Temperaturas alcanzadas con un colector de 3.6m <sup>2</sup> y 50% de eficiencia.....	33
Tabla 5.8	Temperaturas por la mañana en el termotanque.....	33
Tabla 5.9	Energía faltante por día para cada mes en [Kj].....	34
Tabla 5.10	Energía faltante por mes en [KJ].....	34
Tabla 6.1	Temperaturas alcanzadas con un colector de 3.8 m <sup>2</sup> y 55% de eficiencia.....	45
Tabla 7.1	ROI y TR para los sistemas.....	51

## RESUMEN

Considerando que para todas las personas que habitan en la ciudad de México y zonas conurbadas es de suma importancia la ducha diaria y el costo que esto implica se vuelve considerable con el aumento en el precio del gas, se busca una alternativa más económica con el uso de un colector solar asistido por un calentador eléctrico. En este trabajo se presentan las consideraciones básicas que se deben hacer al explorar la opción solar asistida para una o varias familias, las consideraciones técnicas más relevantes y los datos que el usuario potencial deberá conocer para especificar con precisión el calentador solar asistido que puede convenirle.

## OBJETIVO

Analizar el comportamiento de un calentador solar de agua, asistido por calentador eléctrico, instalado en la ciudad de México y zonas conurbadas, cumpliendo requerimientos para una familia de 5 integrantes, presentando un estudio económico y técnico de este sistema.

### 1. INTRODUCCION

La energía del sol es la mayor fuente de energía de nuestro planeta y se encuentra disponible para todos en forma gratuita, no contamina y puede considerarse ilimitada, de modo que conviene darle un mayor aprovechamiento.

#### 1.1 BREVE HISTORIA DE LA UTILIZACION DE LA ENERGIA SOLAR.

##### **Arquitectura solar en la antigua Grecia.**

La escasez local de combustibles probablemente exacerbaría el problema. Los habitantes de las áreas pobladas arrasaban los bosques cercanos para procurarse madera con qué calentar sus hogares, y cocinar. La demanda de árboles abarcaba también a las operaciones de fundición y la construcción de casa y barcos. Para el siglo V A.C. numerosas zonas de Grecia estaban casi totalmente peladas de arboles. Cuando los abastecimientos indígenas se desvanecieron y hubo que importar la madera, numerosas ciudades-estado regularon el uso de ésta y del carbón.

La escasez de madera y la lejanía de las fuentes de aprovisionamiento elevarían muy probablemente los precios del combustible. Por fortuna se disponía de una fuente energética alternativa: **el sol**, abundante y gratuita.

En muchas zonas de Grecia el uso de la energía solar como ayuda al calentamiento de la casa constituyó una respuesta positiva a la escasez energética. Los griegos habitantes de un clima soleado durante casi todo el año aprendieron a construir sus casas para beneficiarse de los rayos solares en los moderadamente fríos de invierno y evitar el calor del sol en los cálidos veranos.

Una casa orientada solarmente reducía la dependencia de sus ocupantes de los braseros de carbón, conservando combustible y ahorrando dinero.

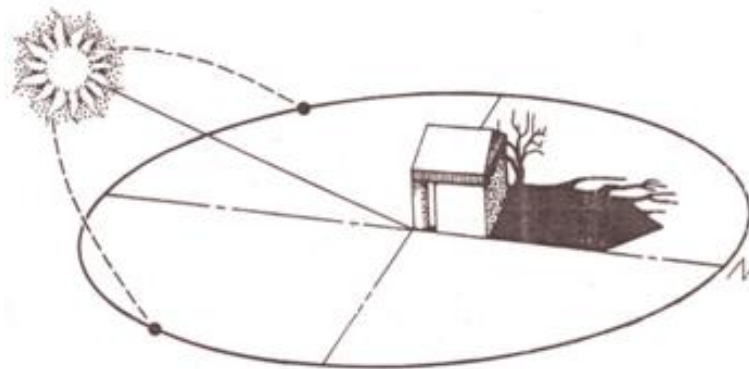


Figura 1.1 Itinerario descrito por el sol el 21 de diciembre solsticio de invierno al mediodía.



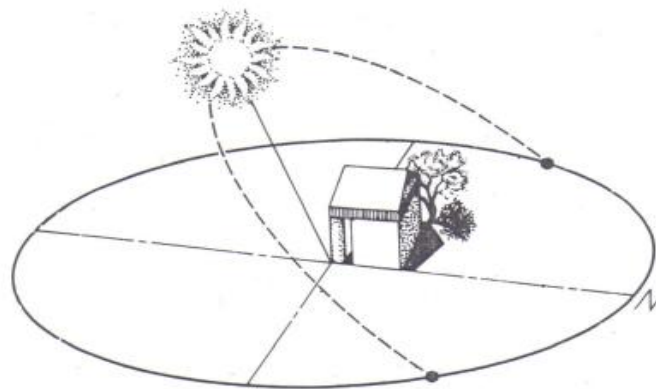


Figura 1.2 Itinerario descrito por el sol el 21 de junio solsticio de verano al mediodía.

### ***Principios de la arquitectura solar***

Entre los antiguos, la arquitectura solar se basaba en la posición cambiante del sol durante las diferentes estaciones. Los griegos sabían que el sol describe en invierno un arco bajo por el cielo meridional **figura 1.1**. Mientras, en verano pasa bien alto sobre las cabezas **figura 1.2**. Construían sus casas de manera que la luz solar del invierno pudiera penetrar fácilmente a través de un pórtico cara al sur. Las habitaciones principales de la casa no solo eran calentadas por los rayos del sol procedentes del pórtico sino que, además, estaban resguardadas del norte, como Aristóteles notara, para evitar los vientos fríos. En verano, aleros o tejados sobresalientes protegían las habitaciones de la casa del elevado sol durante gran parte del día **Figura 1.3** Como cita Jenofonte. Sócrates explicaba el sistema en estos términos:

*En las casas orientadas al sur, el sol penetra por el pórtico en invierno, mientras que en verano el arco solar descrito se eleva sobre nuestras cabezas y por encima del tejado, de manera que hay sombra.*

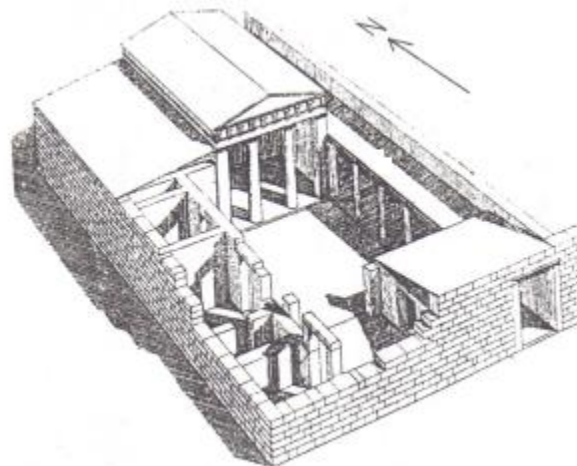


Figura 1.3 Reconstrucción de una casa griega clásica.

### **ARQUITECTURA SOLAR ROMANA**

El consumo de madera de la antigua Roma fue incluso más pródigo que el de Grecia. Existía una enorme demanda de madera como combustible para la industria, para la construcción de barcos y casas, y para calentar baños públicos y villas particulares. En tiempos de Cristo era normal que los romanos ricos dispusieran de calefacción central en sus villas de recreo. Los hipocaustos quemaban madera o carbón en hornos e impulsaban luego el aire caliente a través de ladrillos huecos situados en los pisos y paredes. Una instalación de hipocausto podía llegar a devorar 150 kilos de madera por hora.

Las crisis del combustible local y el elevado costo de la madera importada decidieron probablemente que los romanos adoptaran las técnicas griegas de arquitectura solar. Sin embargo, los romanos no se limitaron a copiar a los griegos; desarrollaron la tecnología solar adaptando los diseños constructivos de las casas a diferentes climas, empleando cerramientos transparentes para ventanas (tales como el vidrio) a fin de incrementar la efectividad del calentamiento solar.

#### **El vidrio como retenedor del calor solar**

Plinio bautizó como heliocaminus (figura 1.4; literalmente <<horno solar>>) a una de sus habitaciones favoritas. El nombre indica que ésta se calentaba mucho más que las restantes habitaciones de la casa. Muy probablemente, los huecos al sudoeste del heliocaminus estarían cubiertos con vidrio. Al permitir el paso de la luz a la habitación y guardar el calor acumulado en su interior, tales materiales actúan como retenedores del calor solar. El aire calentado por el sol del interior de esta habitación no escapaba fácilmente a través de las ventanas; de manera que la temperatura dentro del heliocaminus subía muy por encima de lo que resultaba posible en la casa orientada solarmente al estilo griego. El vidrio coloreado había sido utilizado durante casi 3,000 años. Pero no sería hasta el siglo primero D.C. cuando a un anónimo romano se le ocurrió emplear los materiales transparentes para ventanas que, permitiendo el paso de la luz, detuvieran la lluvia, la nieve y el frío.

Los romanos aplicaron también este principio de retención del calor solar al cultivo de plantas. Se construyeron invernaderos donde resguardar las plantas para que madurasen más rápidamente y produjeran fruto incluso en invierno.



Figura 1.4 Heliocaminus.

### Los baños romanos

Otra aplicación del principio de la retención del calor solar estaba en el uso de los cerramientos transparentes de ventanas para contribuir a la calefacción de sus baños públicos.



Figura 1.5 Baños romanos.

### ESPEJOS INCENDIARIOS

Junto con la orientación solar de los edificios y el empleo del vidrio como retenedor del calor solar, los antiguos conocieron otros dos modos de aprovechar la energía solar. Griegos, romanos y chinos desarrollaron espejos curvados que podían concentrar los rayos del sol sobre un objeto con una intensidad suficiente como para hacerlo arder en pocos segundos. Estos espejos solares capaces de generar un calor espectacular cautivarían la imaginación de la gente durante los siglos venideros; podrían emplearse constructivamente o, quizás, como terribles armas de guerra.

Los griegos fueron el primer pueblo occidental en describir los <espejos incendiarios> (reflectores solares a base de plata, cobre o bronce pulimentado). Los primeros espejos incendiarios probablemente consistieron en numerosas piezas planas de metal pulimentando unidas entre sí para formar una superficie más o menos curva. El modelo sería sustituido por

el de espejos esféricos cóncavos realizados en una sola lámina de metal. De diseño más sencillo, los espejos esféricos evitaban la aparatosidad del viejo sistema.

Al madurar su comprensión de la geometría, los griegos advirtieron que un espejo de superficie parabólica resultaba incluso más potente que uno esférico. Dositeio, matemático del siglo tercero **A.C.**, descubrió que los rayos solares rebotados de un espejo parabólico llegaban a coincidir casi en un punto. Por concentrar la energía solar en un área menor, el espejo parabólico produce temperaturas mayores que el esférico de tamaño similar. Según sus contemporáneos, Dositeio construyó el primer espejo parabólico. Un siglo después, en su tratado sobre el espejo incendiario, Diocles ofrecía la primera prueba geométrica formal de las propiedades focales de los espejos parabólicos y esféricos.

La leyenda sostiene que en 212 **A.C.** Arquímedes utilizó espejos incendiarios (figura 1.5) para destruir los barcos de los invasores romanos en Siracusa, pero tal hecho no parece ser sino un mito. Ninguno de los historiadores fidedignos de la época -Polibio, Livio o Plutarco- menciona el uso por Arquímedes de espejos incendiarios



Figura 1.6 Espejos incendiarios.



Hasta principios del siglo dieciséis se propondría otro espejo fabuloso, esta vez por Leonardo da Vinci. Su finalidad no sería militar sino pacífica: la producción de calor y energía para la industria y el recreo. Leonardo propuso la construcción de un espejo parabólico de seis kilómetros capaz de calentar cualquier caldera de una fábrica de tintados, y con ella templar una piscina, pues siempre se dispondría de agua hirviendo. Leonardo comenzó a construir su espejo gigante hacia 1515. Pese a la importancia personal del proyecto, Leonardo jamás concluyó su espejo. Fue hasta el siglo dieciocho que el mecánico y carpintero Peter Hoesen realizó sus espejos a base de elementos de madera recubiertos de bronce. Sobre un esqueleto de madera de gran durabilidad en cruz construyó una forma parabólica cuya superficie interna revistió de bandas de bronce de 1.60 por 0.80 metros. Mediante el hábil empleo de sus manos, explicaba, ajustaba el bronce a los contornos de la depresión de tal manera que las juntas entre cada lámina apenas pueden percibirse.

Este procedimiento permitió al artesano alemán construir espejos de hasta tres metros de diámetro. Nunca antes habían visto los europeos tan colosal ingenio incendiario. Tales espejos, con mucho los reflectores solares más potentes jamás desarrollados, concentraban los rayos del sol sobre un blanco de menos de tres centímetros de frente. <<Las piedras más duras>> señalaba Hoesen, resisten su fuerza durante solo unos pocos segundos. Los objetos de naturaleza vegetal se inflaman inmediatamente, tornándose cenizas en breve. La potencia de estos espejos fue verificada por un investigador que experimentó con un reflector de Hoesen de 1.50 metros de diámetro, descubriendo que el mineral de cobre se fundía en un segundo y el plomo en un abrir y cerrar de ojos.

Si bien Hoesen construyó numerosos espejos solares de considerable tamaño, ninguno llegó a utilizarse como arma de guerra. La pólvora constituía para entonces un medio bastante más eficaz y versátil de muerte y destrucción a larga distancia.

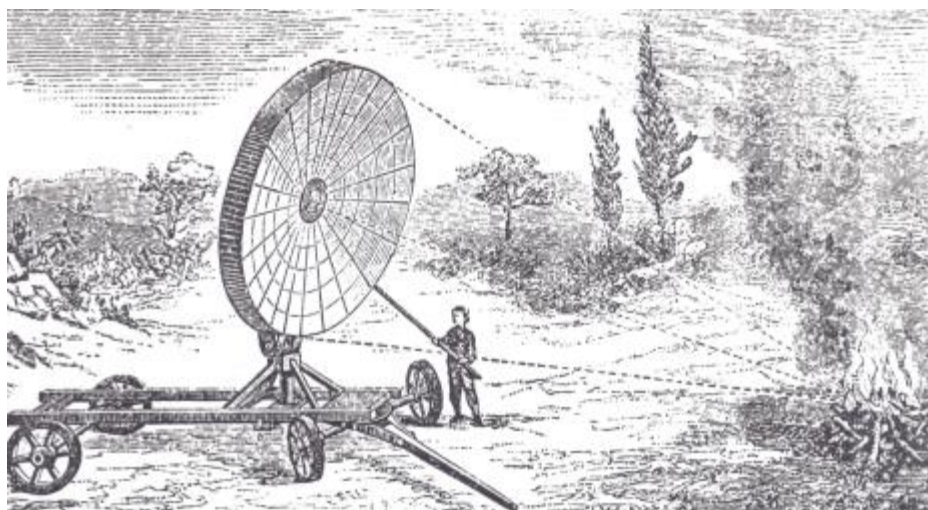


Figura 1.7 Espejo de Hoesen.

### 1.2 HISTORIA DE LOS CALENTADORES SOLARES DE AGUA

Aunque la costumbre del baño frecuente había sido habitual en la antigua Roma, tal práctica moriría casi por completo durante la Edad Media, para solo reaparecer en Europa y Norteamérica una vez llegado el siglo XIX. Durante los años 1800, los requerimientos de la higiene, los avances tecnológicos y el superior bienestar material se combinarían para producir una mayor demanda de agua caliente. La teoría de Pasteur de la enfermedad por los gérmenes subrayaba la necesidad de un baño frecuente en agua templada. Desgraciadamente, calentar el agua seguía siendo una tarea laboriosa y prolongada para los americanos, habitantes en su mayoría de pequeñas ciudades y áreas rurales que carecían de gas o electricidad. La situación era algo mejor en las grandes ciudades. En ellas había calentadores a gas, alimentados por gas artificial el cual solo tenía la mitad de la capacidad calórica del gas natural. El tipo más frecuente de calentador a gas era el de <<brazo lateral>> Además de ser peligroso, el uso de estos primitivos calentadores a gas resultaba demasiado caro para numerosas familias.

#### **El calentador solar Climax**

Afortunadamente, se descubriría un modo mucho más fácil y barato de calentar agua, el depósito metálico de agua pintado de negro y simplemente colocado donde daba más el sol y menos la sombra. El problema con estos rudimentarios calentadores solares no era su capacidad de producir agua caliente, sino el cuándo y durante cuánto tiempo. Incluso en días despejados y calurosos el agua tardaba desde la mañana hasta primeras horas de la tarde. Estos inconvenientes llamaron la atención de Clarence M. Kemp, inventor e industrial de Baltimore, que en 1891 había patentado un dispositivo donde se combinaban la vieja práctica de la exposición de depósitos metálicos desnudos al sol con el principio científico de la caja caliente, incrementando así la capacidad del depósito para captar y retener el calor solar. Kemp puso a su invento el nombre de Climax y este se convirtió en el primer colector solar de agua.



Figura 1.8 Anuncio del calentador solar climax.

### El calentador solar Walker

Desde la vuelta del siglo hasta 1911 más de una docena de inventores registraron patentes para mejorar el Climax. Más solo unos pocos diseños resultaron técnica y comercialmente satisfactorios. Uno de estos sería el patentado en primavera de 1898 por el contratista y corredor de fincas de los Angeles Frank Walker. El calentador Walker contaba sólo con uno o dos depósitos cilíndricos de 113 litros. Los depósitos iban también en el interior de una caja con tapa de vidrio.

Pero la mayor ventaja del calentador Walker frente al Climax era que aquél iba conectado al sistema de agua caliente convencional a fin de asegurar su provisión interrumpida. Por la noche o durante el mal tiempo, el agua fría en la base del depósito solar descendía por una cañería al serpentín de calentamiento instalado dentro de la cocina de leña o carbón o en el calentador de gas. Después (el agua caliente que es menos densa que la fría y asciende por si sola), subía por una segunda cañería hasta la parte alta del depósito en el tejado. La gente encontraba este sistema más conveniente y barato porque ya no se necesitaban dos redes de tuberías (una para el calentador solar y otra para el convencional).

### Un Climax perfeccionado

En 1905 los derechos de fabricación y ventas del Climax en California fueron adquiridos por una filial de la Solar Motor Company (la firma fundada por Aubrey Eneas). Charles Haskell dirigía la central en los Ángeles del negocio de Eneas, inscrita bajo el nombre de Solar Heater Company.

Haskell introdujo una modificación sustancial en el diseño de los depósitos de agua del Climax. Dándose cuenta de que la relativamente profunda masa de agua contenida en los cuatro depósitos cilíndricos tardaba muchas horas en calentarse, decidió sustituirlos por un gran tanque rectangular de escasa profundidad. El volumen total de agua continuaba inalterado pero, al haber menor cantidad de la misma por metro cuadrado, el calor del sol penetraba con más celeridad y se tardaba mucho menos en disponer de agua caliente. Al

igual que el modelo de Walker, el de Haskell se conectaba generalmente a un sistema convencional de calentamiento de agua que entraba en acción durante el mal tiempo.

### **Agua caliente Día y Noche**

En el verano de 1909, en una pequeña tienda al aire libre del suburbio Monrovia de los Angeles, un ingeniero llamado William J. Bailey comenzó a vender un calentador solar de agua que revolucionaría la industria. No sólo suministraba agua calentada solarmente mientras lucía el sol, sino asimismo durante horas después de haber ya anochecido y también a la mañana siguiente; de donde su nombre: el Día y Noche.

El colector consistía en un serpentín colocado en el interior de un cajón con tapa de vidrio suspendido sobre el muro sur de su casa. El reducido volumen de agua contenido dentro del serpentín se calentaba rápidamente. Y, en lugar de permanecer al exterior (donde se hubiera enfriado en seguida por la noche o durante el mal tiempo) el agua caliente corría por una tubería hasta un depósito convencional situado en la cocina.

El colector Día y Noche estaba mejor diseñado que los anteriores calentadores. Característica fundamental del mismo era el uso de tubería de cobre, que alojaba solamente una pequeña cantidad de agua, pero aun más importante fue la adición por Bailey de una lamina metálica de absorción para transmitir el calor solar acumulado en la caja caliente al agua en el interior de las estrechas tuberías.

Los tubos y la placa del colector se contenían en una caja con cubierta de cristal y superficie de 5 metros cuadrados. Con sus solo 10 centímetros de profundidad, la caja estaba revestida de papel de fieltro. Bailey dispuso un tubo vertical de hierro para entrada de agua fría a un extremo de la caja, y el correspondiente para salida de agua caliente al otro extremo de la caja. A ambas columnas conectó una serie de tubos transversales menores en cobre de 5/8 de pulgada, soldadas a una placa absorbente de cobre dispuesta en el fondo de la caja y pintando el conjunto de negro mate. En el sur de California el sistema producía agua más caliente que los anteriores calentadores (de 37 a 47 °C los días soleados de invierno y de 35 a 67 °C los restantes nueve meses del año).

No se necesitaba bomba para impulsar el agua entre el colector y el depósito acumulador. El Día y Noche operaba según el principio de termosifón.



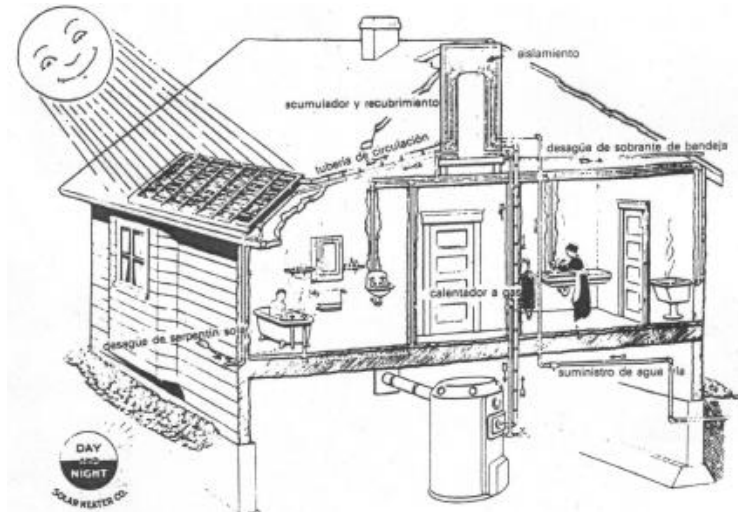


Figura 1.9 Esquema de una instalación del calentador día y noche.

## EL DUPLEX

En 1931, Ewald decidió impulsar nuevamente el negocio de los calentadores solares de agua. Para esto examinó el serpentín solar para ver si su rendimiento era susceptible de mejora y realizó los siguientes cambios:

El equipo era totalmente metálico, construyendo la caja del colector de chapa de acero galvanizada y el forro del tanque acumulador de hierro galvanizado. Aisló la base y los costados de la caja del colector. Sustituyó asimismo la tubería de acero por otra de cobre blando, mejor conductor del calor y también más resistente a la rotura por hielo. Duplicó el número de serpentines. Ewald patentó su nuevo diseño bajo el nombre de Duplex.

### 2 CAPTADORES SOLARES

En este capítulo se presenta cuales son los dispositivos con los que podemos utilizar la energía del sol y sus principales características.

#### 2.1 TIPOS DE COLECTORES SOLARES

Los tres tipos más comúnmente usados son el colector de placa plana, el colector de tubos de vacío y el colector concentrador.

##### **Los colectores planos o de placa plana**

El colector plano tiene una construcción muy elemental y su operación se puede entender fácilmente. Convierte la radiación solar en calor. Un colector plano típico, tiene siete partes principales, que son:

- 1) Cubierta de vidrio
- 2) Capa absorbente
- 3) Placa de absorción
- 4) Conductos para que circule el medio de transferencia
- 5) Aislamiento
- 6) Una caja para el colector
- 7) Juntas y selladores

La cubierta es una lámina de vidrio o plástico transparente colocada sobre la placa de absorción. Los rayos del sol atraviesan el vidrio y son transformados en energía calórica en la placa de absorción. La cubierta disminuye la cantidad de energía que escapa por el frente del colector. En algunos diseños se pone un vidrio doble o triple, como protección adicional contra las pérdidas de calor. La placa de absorción recoge la energía calórica transmitida a través de la cubierta. Lleva una capa de absorción de color negro para incrementar su capacidad de absorber energía sin reflejarla. Los conductos por los que circula el fluido transportador de calor llegan hasta el depósito estos incluyen cabezales y elevadores. Los cabezales son conductos principales a través de los cuales el medio de transferencia entra al colector y sale de él. Se colocan en las partes superior e inferiores del colector. Los elevadores son ductos que distribuyen el medio de transferencia por la superficie del colector. Los materiales aisladores se introducen detrás de la placa de absorción y alrededor del perímetro de la misma. Los cuales impiden la pérdida de calor por detrás y por los lados del colector. Todos los componentes del colector plano están colocados en una caja hermética. Esta caja del colector impide que la humedad, la suciedad, el polvo y el aire penetren a él colector y disminuyan su rendimiento. Se emplean selladores o juntas para fijar la cubierta de vidrio a la caja.

En la actualidad existen colectores planos de alta calidad que utilizan en la cubierta <<vidrio solar>> de bajo contenido en hierro, endurecido, de alta transmitancia y de reflectancia baja.

Para el marco se suele usar aluminio, y para la parte posterior se usan materiales de aislamiento térmico laminados con aluminio, telas asfálticas o láminas de aluminio. También se pueden emplear chapas embutidas de aluminio o acero inoxidable para fabricar la carcasa.



Figura 2.1 Colector solar.

COMPONENTES DEL COLECTOR	MATERIALES EMPLEADOS
<b>PLACA DE CUBIERTA</b>	Vidrio, laminado de fibra de vidrio, hojas y películas termoplásticas
<b>CAPA DE LA PLACA ABORBENTE</b>	Óxidos metálicos selectivos, pinturas negras no selectivas
<b>PLACA ABSORBENTE</b>	Cobre, aluminio, acero inoxidable o al carbón
<b>CONDUCTOS DEL FLUIDO</b>	Tubo de aluminio o cobre
<b>AISLANTE</b>	Fibra de vidrio, espuma de vidrio, termoplásticos espumosos
<b>CAJA</b>	Metal, concreto en panel, laminado de fibra de vidrio
<b>JUNTAS</b>	Silicón, EPDM, butilo
<b>MEDIO DE TRANSFERENCIA DEL CALOR</b>	Agua, aceites hidrocarburos, mezcla de agua y glicol

Tabla 2.1 lista de algunos materiales que se usan para los componentes del colector.

### Colectores de tubos de vacío

Con el fin de reducir las pérdidas térmicas por conducción y convección entre el absorbedor y la cubierta de vidrio, en los tubos de vacío se elimina el aire modo semejante a como se hace entre las paredes de los termos. El grado de vacío desempeña un papel fundamental para la disminución de las perdidas térmicas.

La figura 2.2 muestra que la presión se ha de reducir a un valor considerablemente inferior al de la presión atmosférica, con el fin de lograr disminuir significativamente los coeficientes de pérdidas térmicas del captador. En una variante de captadores de tubos de vacío, del fabricante Schott(figura 2.3), los tubos se llenan con xenón para así lograr esta reducción de las pérdidas térmicas con un grado de vacío menor, ya que los grados de vacío moderados son más económicos, contribuyendo así a ahorros considerables en la producción.



Figura 2.2 Colector tubos de vacío.

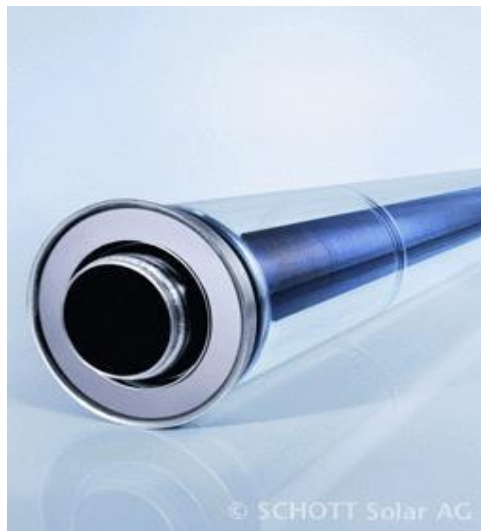


Figura 2.3 Tubo de vacío Schott.

### ***Ventajas de los tubos de vacío***

- Pueden alcanzar temperaturas de trabajo superiores a las de los captadores planos. De este modo pueden suministrar calor para procesos industriales y para climatización solar con mayores rendimientos.
- Pérdidas térmicas reducidas en comparación con los captadores planos, debido a un mejor aislamiento térmico.

### ***Inconvenientes de los tubos de vacío***

- Temperaturas de estancamiento elevadas y altas cargas térmicas de todos los materiales cercanos al campo de captadores, así como del fluido de trabajo. En caso de estancamientos, la vaporización es mayor que con captadores planos.
- Costos superiores de la energía solar útil obtenida a un nivel de temperaturas de trabajo medio, debido a que el mayor rendimiento se presenta únicamente a temperaturas de trabajo superiores.

### **Tubos de vacío de flujo directo**

En este tipo de diseño el fluido de trabajo fluye directamente a través del absorbedor dentro de los tubos de vacío. Debido a la transferencia directa de calor es posible lograr un rendimiento elevado.

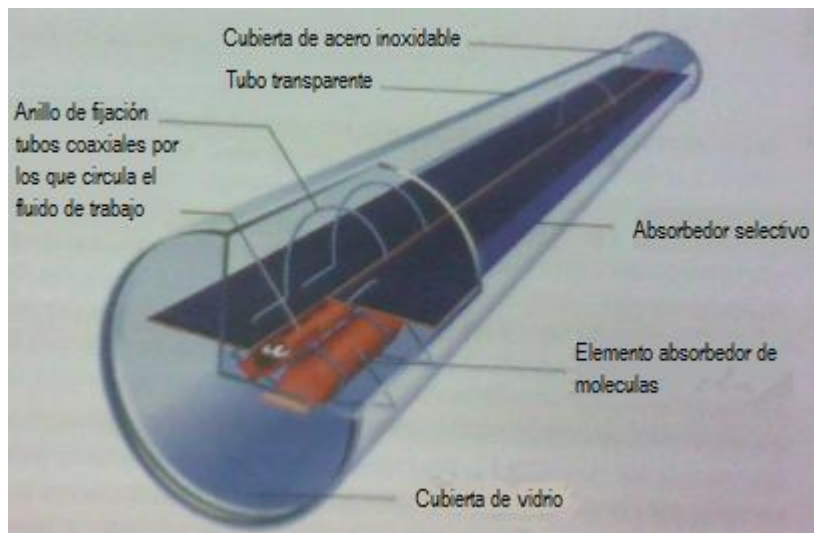


Figura 2.4 Sección de un tubo de vacío de flujo directo.

**Tubos de vacío del tipo tubo de calor (<<heatpipe>>)**

En los tubos de vacío de este tipo, el absorbedor metálico está conectado a un tubo de calor, el cual contiene una cantidad muy pequeña de agua, u otro fluido diferente según el rango de temperaturas deseado. Este fluido se evapora en un vacío parcial, sube en forma de vapor, se condensa en el condensador y regresa en forma líquida al interior del tubo. En el condensador el calor se transfiere al fluido de trabajo.

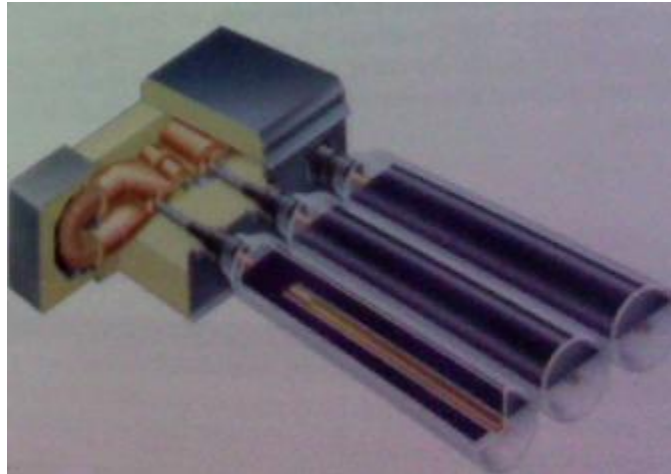


Figura 2.5 Tubo de vacío heatpipe.

**COLECTOR CONCENTRADOR PARABOLICO COMPUESTO (CPC)**

Este tipo de colector solar, caracterizado por su elevado rendimiento tiene configuración parabólica compuesta. Existen variantes en su construcción, pero la básica empleada en las instalaciones de baja temperatura es la mostrada en la figura 2.6, en la que se puede observar el reflector parabólico y el tubo captador térmico en su punto focal.

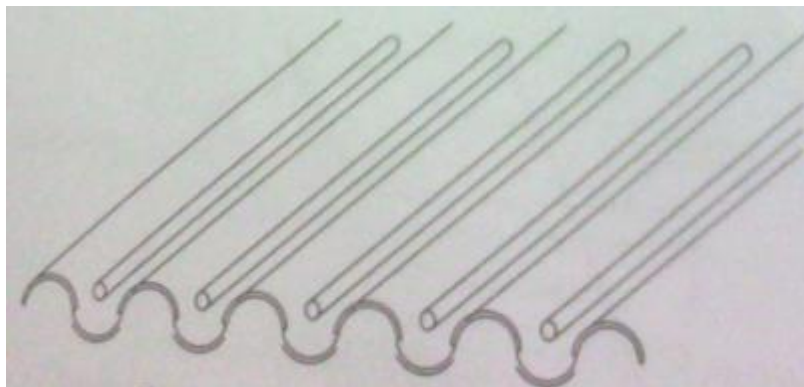


Figura 2.6 Detalle de un concentrador CPC.

### 2.2 ABSORBEDORES

La energía en la radiación solar se convierte en calor en el absorbedor. El absorbedor debe estar hecho de un material con buena conductividad térmica, que no conviene que sea demasiado fino. Se suelen utilizar láminas de cobre o aluminio de un espesor de 0.2 mm. La conductividad térmica del cobre es mayor que la del aluminio, que a su vez es considerablemente mayor que la del acero o el acero inoxidable.

Debe garantizarse una circulación uniforme a través de todo el absorbedor. Si no hay circulación a través de algunas partes del absorbedor, o si ésta es muy reducida, entonces la eficiencia del captador disminuye de manera proporcional al tamaño del área carente de circulación.

#### MATERIALES Y TIPOS DE ABSORBEDORES

##### Acero

- Absorbedores de acero tipo serpentín, se producen repujando dos serpentines en dos placas de acero que luego se sueldan entre sí.
- Absorbedores de acero de chapa embutida, confeccionados con láminas de acero soldadas por puntos y a las que luego se les da abombamiento.

Por lo general, los absorbedores de acero no han tenido mucho éxito y, por lo tanto, su oferta hoy día en el mercado es muy escasa.

##### Acero Inoxidable

- Tubo de acero inoxidable en forma de serpentín introducido entre dos láminas de aluminio con los repujados semicilíndricos correspondientes. Posteriormente, las láminas y los tubos se unen entre sí con un cemento especial.

##### Aluminio

- Absorbedores de aluminio tipo <<roll-bond>> fabricado con dos placas de aluminio, en las que se marca la red o circuito por el que va a circular el fluido, comprimiéndose luego fuertemente entre sí, de manera que quedan unidas en toda la superficie excepto en las áreas correspondientes a la red marcada. Los conductos de circulación dispuestos según dicha red, se forman posteriormente insuflando aire a alta presión que actúa en las áreas no unidas, deformándolas hasta conseguir un cierto abombamiento de las mismas.



- Absorbedores de láminas de aluminio, las cuales se pegan, se sujetan con abrazaderas o se juntan a gran presión a los tubos por los cuales circula el fluido de trabajo. Estos tubos están hechos de materiales como cobre o acero inoxidable.

Los absorbedores de placa de aluminio y tubos de acero inoxidable o de cobre son actualmente los más comunes.

### ABSORBEDORES TIPO SERPENTÍN

En ellos todo el fluido de trabajo pasa por un solo tubo en forma de serpentín, presenta una mayor pérdida de carga.

### ABSORBEDORES TIPO PARRILLA

Varios tubos finos en paralelo, unidos a tubos de distribución en cada extremo del captador, se combinan para formar una disposición en forma de parrilla. Se emplean para captadores de circulación por termosifón, debido a la baja pérdida de carga.



Figura 2.7 Absorbedor de aluminio, con tubo de acero inoxidable en serpentín.



### 2.3 RECUBRIMIENTOS DEL ABSORBEDOR

Como las superficies de metal reflejan la luz en un grado relativamente elevado, es necesario proveer a los absorbedores de metal de un recubrimiento de absorción ( $\alpha$ ) alta para las longitudes de onda corta de la radiación solar. En general, una alta absorción en las longitudes de onda corta de la radiación solar y, al mismo tiempo, una baja emisividad en las longitudes de onda larga, caracterizan un absorbedor selectivo eficiente.

Los recubrimientos selectivos actualmente tienen una absorción de 0.95 y la emisividad oscila entre 0.05 y 0.02.

#### Recubrimientos utilizados

##### Níquel negro/cromo negro

Los absorbedores completos se revisten consecutivamente en diferentes baños individuales.

##### PVD (Deposición física en fase vapor)

Un haz de electrones se dirige hacia un crisol que contiene el material de recubrimiento, hallándose el conjunto en el interior de una cámara de vacío que alberga la superficie que ha de revestir. El material se vaporiza y se deposita en la lámina de cobre, mientras que el oxígeno y el nitrógeno se introducen a baja presión en la cámara de vacío.

##### Bombardeo catódico

Este proceso se realiza en una cámara llena de argón. Para el bombardeo catódico en corriente continua se mantiene una diferencia de potencial elevada entre el ánodo y el material de recubrimiento, conectado como cátodo. Debido al campo eléctrico, los iones de argón se aceleran hacia el cátodo, donde provocan el desprendimiento de átomos de la superficie, o sea, que el cátodo se pulveriza. Los átomos arrancados del cátodo se depositan sobre la lámina de cobre.

##### Proceso PECVD

Además del recubrimiento sobre la base del proceso PVD (deposición física en fase de vapor), se aplica una capa adicional por medio de un proceso CVD (deposición química en fase de vapor). En este proceso se coloca en una cámara de reacción un compuesto químico volátil, que contiene los componentes del recubrimiento necesarios, junto con el absorbedor. El compuesto se descompone en la lámina de cobre calentada y deposita una capa de elementos o compuestos inorgánicos.

### 2.4 CARCASA DEL CAPTADOR

En el caso de captadores planos, la carcasa envuelve al absorbedor y al aislamiento térmico del captador, protegiéndolos de este modo de la humedad y los daños mecánicos. Las carcasas que se fabrican son principalmente de aluminio. Si las paredes laterales y traseras sólo constan de materiales delgados, por ejemplo el aislamiento laminado con aluminio, se corre el peligro de que estas paredes puedan dañarse durante el transporte o montaje. Esto no afecta mucho la función del captador, con tal que los poros del aislamiento estén cerrados y que el agua no logre penetrar en la carcasa. Sin embargo, la impresión visual de los aislamientos laminados que hayan sufrido daños no es buena en este aspecto.

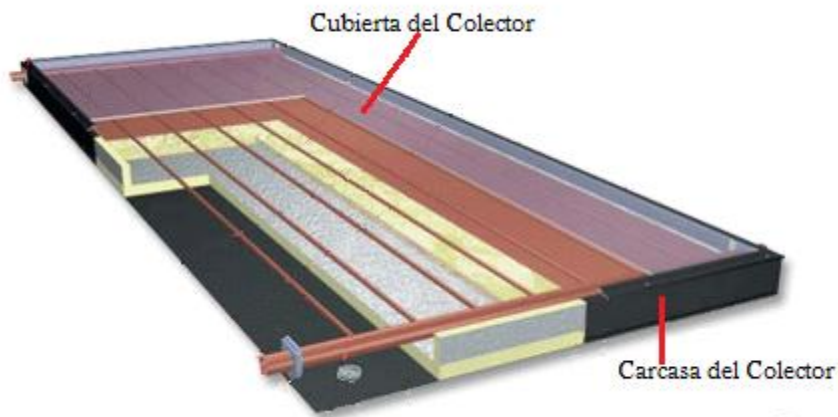


Figura 2.8 Carcasa y cubierta de un colector.

### 2.5 CUBIERTA TRANSPARENTE DEL CAPTADOR

La cubierta transparente del captador cumple diversas funciones:

- Proteger el absorbedor y el aislamiento térmico dentro de la carcasa contra todo efecto nocivo del medio ambiente.
- Es parte constituyente del aislamiento térmico porque, como en el caso del acristalamiento de un invernadero, permite la entrada de radiación solar de onda corta y no dejar salir la radiación de onda larga.
- Debería reflejar la menor radiación posible en su superficie y absorber la mínima posible en su interior, de manera tal que casi toda la radiación solar incida en el absorbedor.
- Debe tener una vida útil prolongada, ser robusta y resistente a los efectos causados por el medio ambiente y a las grandes fluctuaciones térmicas.



### 3 CALENTADORES DE AGUA

En este capítulo se presentan los principales equipos convencionales para el calentamiento de agua de uso domestico.

#### 3.1 CALENTADORES DE DEPÓSITO

Los calentadores de agua de depósito tienen un tanque donde se acumula el agua que se va a calentar, hasta una temperatura seleccionada en su termostato. La capacidad de su depósito es muy variable y va desde los 38 litros hasta 360 litros. Utilizan como energía gas natural, gas propano y electricidad. El funcionamiento del calentador de gas es el siguiente: el suministro de energía se logra por la parte inferior en el cual está situado el quemador; los gases de combustión que se generan suben por medio de un tubo hueco que está situado a lo largo del calentador, para de esta forma, transferir el calor a las paredes y por consiguiente al agua almacenada dentro del recipiente. Este mismo tubo sirve como chimenea para lograr la salida de los gases de combustión. En la parte superior del calentador, se encuentran las conexiones de alimentación para el suministro de agua fría y caliente. El agua fría llega hasta la parte inferior por medio de un tubo de alimentación, el cual es lo suficientemente largo para permitir que el agua llegue hasta el fondo del tanque. Por medio del efecto de termosifón sale agua caliente por la parte superior. Para el calentador eléctrico se cuenta con una resistencia eléctrica la cual por efecto joule calienta el agua.

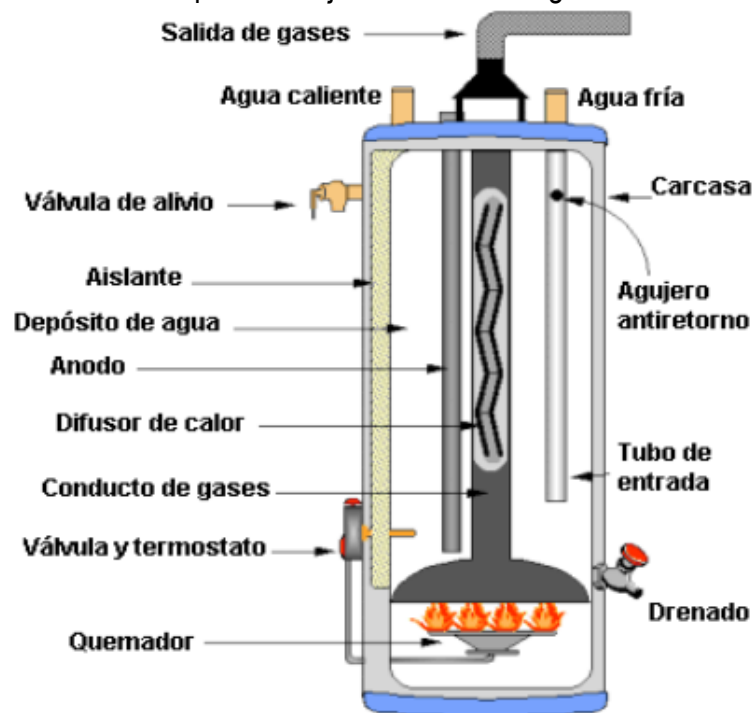


Figura 3.1 Esquema del calentador de depósito con gas.

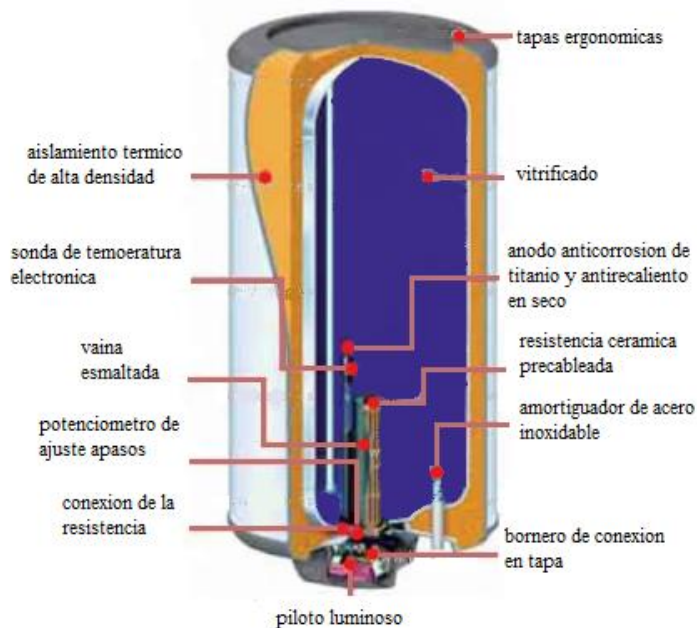


Figura 3.2 Esquema del calentador de depósito eléctrico.

#### 3.2 Calentadores instantáneos

Estos calentadores calientan el agua al momento que esta circula a través de un intercambiador de calor. Por ello no requiere un depósito de agua, son de reducido tamaño en los modelos eléctricos y un poco más grandes en los modelos de gas. Son unidades que están apagadas sin consumir energía, un sensor de flujo se activa cuando detectan circulación de agua e inician su procedimiento de calentamiento, algunos modelos están equipados con un control electrónico para la temperatura de salida, donde dicho control realiza un registro entre el flujo de agua y la temperatura de entrada, por lo que regula la cantidad de calor que suministra al agua al calentarse. **Los modelos eléctricos** van desde los 6 KW hasta los 25 KW **con eficiencias de hasta el 99%**. **Los modelos de gas** pueden alcanzar los 35 KW como es el caso de un calentador de 18 L/min **con eficiencia de 88%**. Los modelos eléctricos están equipados con resistencias calefactoras de inmersión y por efecto joule calienta el agua, los de gas encienden una llama que calienta un intercambiador de calor por donde circula el agua.

Ventajas de estos calentadores

- Ahorro de espacio.
- Ahorro de energía, ya que no requiere de un tiempo de recuperación.

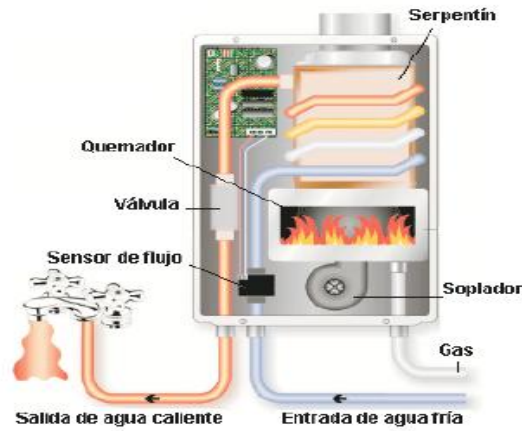


Figura 3.3 Esquema de un calentador instantáneo de gas.

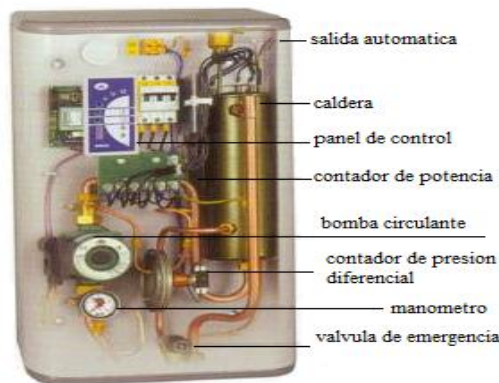


Figura 3.4 Esquema de un calentador instantáneo eléctrico.

### 3.3 Calentadores de punto

Son unidades muy pequeñas instaladas en el lugar donde se ocupa el agua caliente. Son alimentados con electricidad y se activan automáticamente por flujo o manualmente con un interruptor. Su uso se reduce a pocas aplicaciones como regaderas, su consumo eléctrico va desde los 1500 W a 5500 W, tienen un uso práctico en lugares de clima templado.

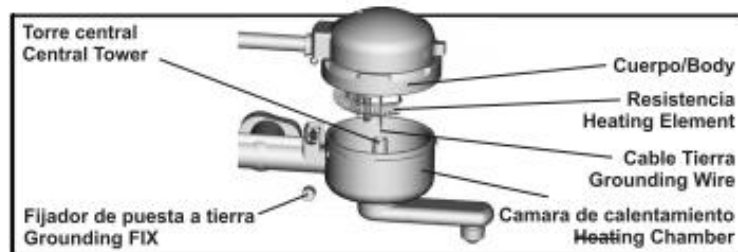


Figura 3.5 Esquema de un calentador de punto.

#### 4 SISTEMAS CALENTADORES SOLARES

Debido a que la energía del sol no está disponible en las noches ni en los días nublados es necesario tener un sistema calentador que pueda suministrar agua caliente a un en estas condiciones, por tal motivo se utiliza un colector solar respaldado con calentador de agua. En este capítulo se muestran algunos arreglos.

##### 4.1 SISTEMA CALENTADOR CON CALENTADOR DE DEPÓSITO

Esta es una configuración en la cual el colector solar proporciona cierta cantidad de energía para el calentamiento del agua dependiendo del clima, si las condiciones climáticas son favorables el colector nos proporcionara agua caliente, con lo cual dependiendo de nuestros requerimientos de agua podrán ser satisfechas con el puro colector, pero en los días nublados el suministro de agua caliente puede ser muy bajo, por lo que es necesario tener un calentador de respaldo que en este caso es un calentador de depósito. Este arreglo es conveniente si nuestros consumos de agua caliente son altos y a cualquier hora. Ya que podemos aprovechar la energía del sol para precalentar el agua que entrara al calentador de depósito y con esto ahorrar combustible.

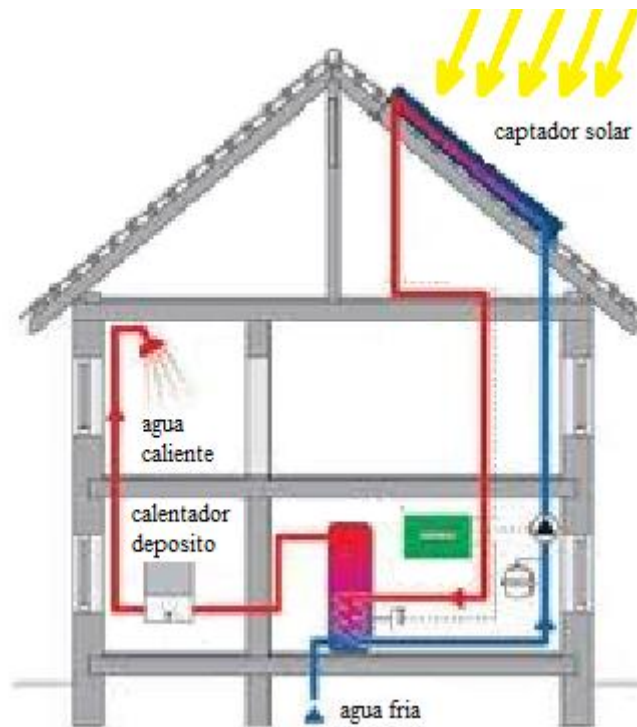


Figura 4.1 Sistema colector solar con respaldo de un calentador de depósito.

### 4.2 SISTEMA CALENTADOR CON CALENTADOR DE PASO

Esta configuración tiene el mismo principio dotar de agua caliente aunque el clima no sea el óptimo. Su utilización es más adecuada si la demanda de agua es baja y se tienen horarios fijos para su utilización, debido a que dejaremos acumular agua caliente y solo en caso de ser necesario subir su temperatura con el respaldo teniendo un mayor ahorro de energía.

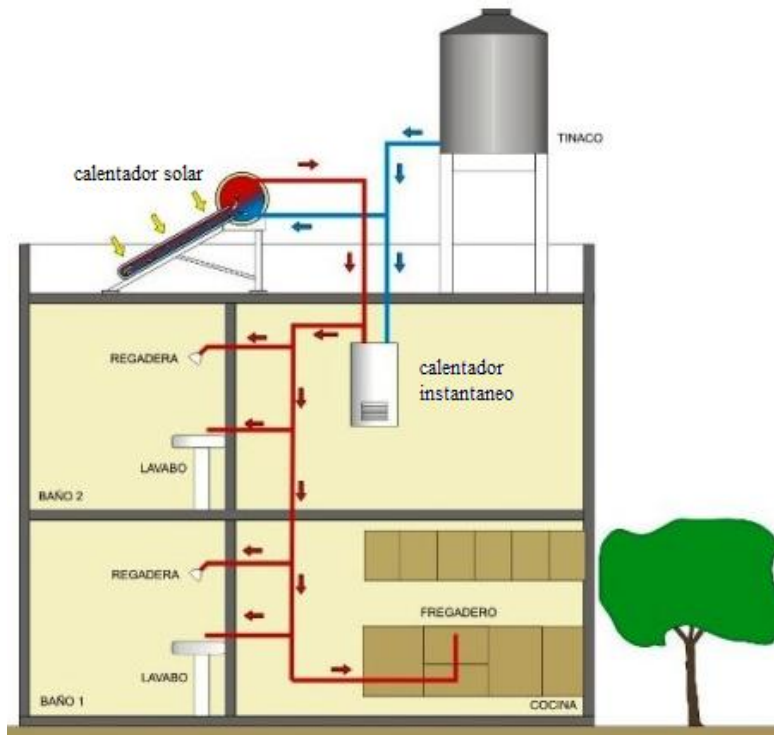


Figura 4.2 Sistema colector solar con respaldo de un calentador de instantáneo.

### 4.3 SISTEMA CALENTADOR CON BOMBA DE CALOR

Esta configuración tiene el mismo objetivo de suministrar agua caliente independiente de la disponibilidad del sol, pero este sistema tiene una gran diferencia: no utiliza un calentador convencional de agua, ya que utiliza una bomba de calor. Esta se puede utilizar en dos configuraciones, directa e indirecta. En la forma directa el refrigerante trabaja como medio de transferencia de calor y en la indirecta, la bomba de calor es asistida por aire o agua. Su funcionamiento es el siguiente.



## FORMA DIRECTA

El colector solar funciona como evaporador en el cual el fluido refrigerante se evapora ganando calor del sol o del medio ambiente (aire). El vapor generado se introduce a un compresor en el cual aumenta su presión y su temperatura, Después el vapor a una alta presión intercambia calor con el agua en el condensador. El vapor condensado pasa por una válvula de expansión en la cual el fluido regresa a su presión de evaporación. El ciclo termina cuando el líquido ingresa al colector solar de nuevo. El sistema de forma directa funciona de la misma manera que una bomba de calor con fuente de aire. La única diferencia es que este sistema usa la energía solar como fuente de mayor calor y en algunos momentos el aire actúa como fuente auxiliar de energía. Este sistema se muestra en la figura 4.3

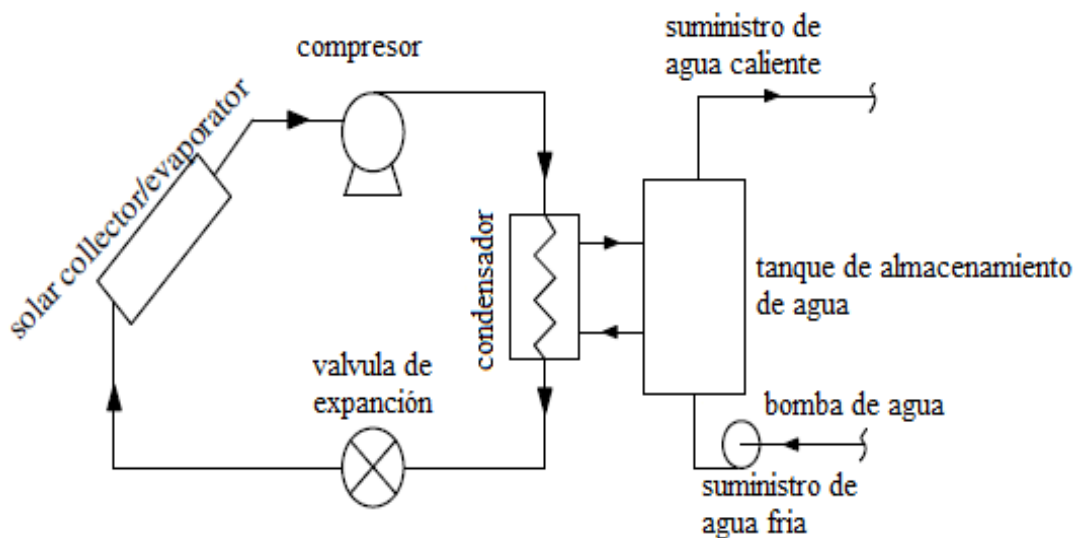


Figura 4.3 Sistema calentador con bomba de calor directa.

## FORMA INDIRECTA

Se tienen dos arreglos bomba de calor asistido por aire o por agua. El funcionamiento por aire es el siguiente.

Se tiene un colector solar conectado en serie a un tanque de almacenamiento de agua caliente el cual se conecta con una bomba a un tanque de almacenamiento de agua el cual está conectado de forma paralela a una bomba de calor con fuente de aire. En los días calurosos, el colector solar satisface las demandas de agua caliente, y en los días nublados se activa la bomba de calor con fuente de aire para suministrar el calor faltante. Este arreglo se muestra en la figura 4.4

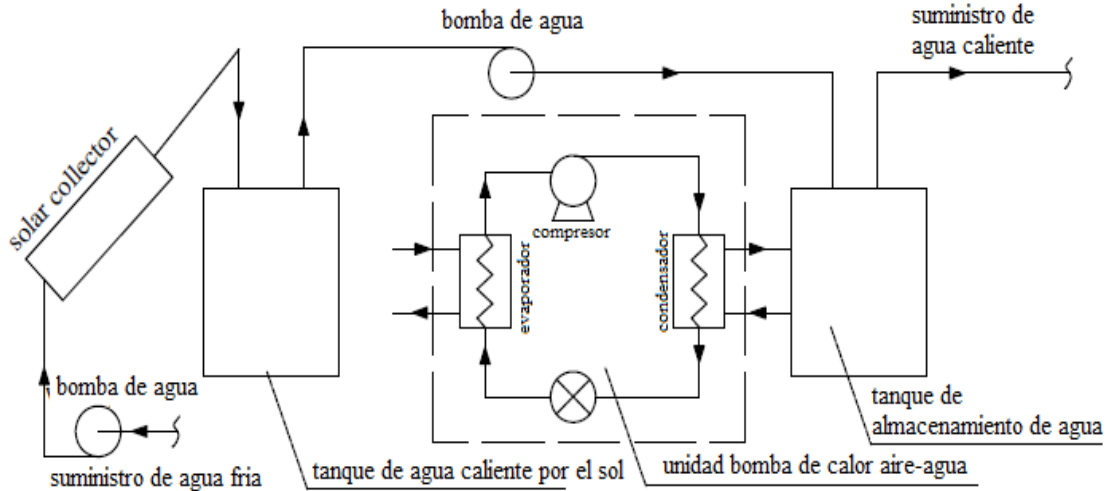


Figura 4.4 Sistema calentador con bomba de calor aire-agua.

El funcionamiento por agua consiste de dos ciclos en serie: un colector solar y una bomba de calor con fuente de agua. Este sistema tiene un tanque de almacenamiento de agua caliente por el sol y un tanque de almacenamiento de agua para suministro de agua caliente, las dimensiones son 0.4 m<sup>3</sup> y 0.28 m<sup>3</sup> respectivamente. En este sistema el agua es calentada en el colector solar y transfiere el calor al tanque de almacenamiento de agua solar, para posteriormente ingresar al evaporador del sistema bomba de calor en el cual intercambiará calor con el fluido de trabajo de la bomba de calor, para finalmente regresar al colector solar. El fluido de trabajo de la bomba de calor se evapora y sigue el comportamiento del sistema indirecto descrito anteriormente. Cuando la disponibilidad solar es baja, la circulación de agua absorbe calor del tanque de agua caliente solar, para posteriormente pasar al evaporador. El tanque de almacenamiento trabaja como la fuente de temperatura baja de la bomba de calor. Este arreglo se muestra en la figura 4.5

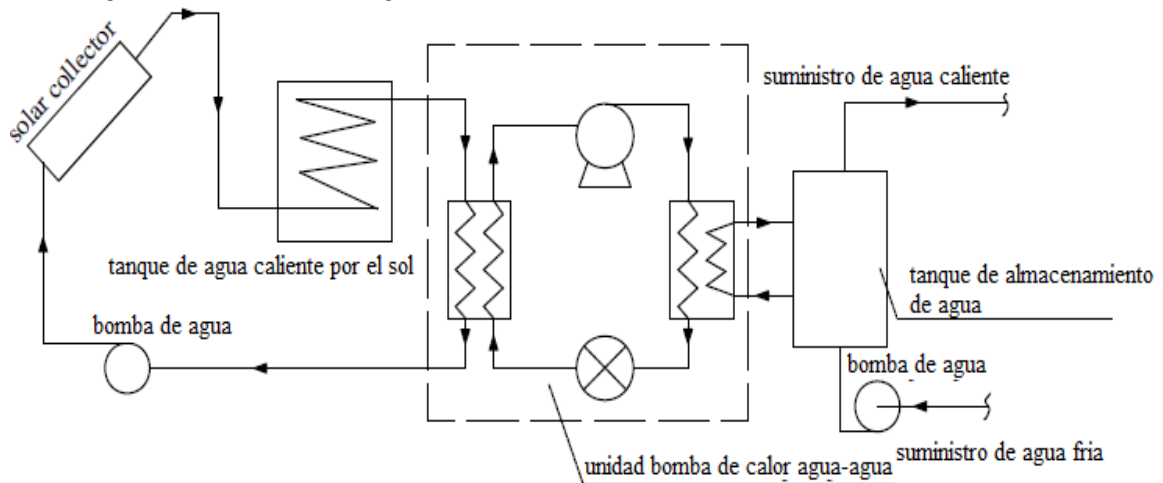


Figura 4.5 Sistema calentador con bomba de calor agua-agua.

5 ANALISIS TÉCNICO

En este capítulo se presentará toda la información necesaria para realizar una selección del sistema calentador solar, recordando que el objetivo es satisfacer la demanda de agua caliente para la ducha de una familia de 5 integrantes y acotando mas el problema 2 integrantes se duchan por la noche y 3 por la mañana.

5.1 Irradiación Solar en la ciudad de México y zona conurbada.

La energía del sol que podemos aprovechar se puede nombrar de dos formas: Irradiancia, que es la potencia en determinado momento del día por metro cuadrado [W/m<sup>2</sup>] y la insolación (Irradiación), que es la energía media diaria (de la página Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, CONUEE). Se obtiene una tabla que nos proporciona la irradiación global diaria promedio mensual, para distintos lugares de México, que en el caso de la Ciudad de México son.



**Irradiación global media en la República Mexicana**  
**Datos en kWh/m<sup>2</sup>-día**

Estado	Ciudad	Ene	Feb	Mar	Ab r	May	Ju n	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Min	Max	Med
D.F.	Tacubaya	4.4	5.2	5.8	5.8	5.7	5.1	4.9	4.9	4.7	4.4	4.2	3.8	3.8	5.8	4.9
México	Toluca	4.4	4.9	5.3	5.4	5.2	5.2	4.9	4.9	4.6	4.4	4.2	3.9	3.9	5.4	4.8
México	Chapingo	4.5	5.1	5.6	5.8	5.9	5.4	5.2	5.2	5.0	4.7	4.6	3.9	3.9	5.9	5.1

Tabla 5.1 Datos de la CONUEE.

Con estos datos podemos determinar un promedio para la ciudad de México y zona conurbada.

ciudad de mexico	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem	Octubre	Noviem	Diciem
	4.43	5.07	5.57	5.67	5.60	5.23	5.00	5.00	4.77	4.50	4.33	3.87

Tabla 5.2 Datos promedios ciudad de México y zona conurbada.

Estos valores son de energía y otra forma de interpretarlos es multiplicarlos por 3600 para obtener [kJ/m<sup>2</sup>-día].

Otra fuente de información de irradiación la encontramos en la norma NMX-ES-001-NORMEX-2005 que nos proporciona una tabla en la que se muestra la irradiancia solar promedio horaria. Se considerará aquella que corresponda a la de un día típico para cada uno de los climas prevalecientes que existen en el país y que abarcan amplias zonas territoriales,

dada en promedios horarios. Para el caso de la Ciudad de México que tiene un clima templado es:

Tabla III.1.2 Irradiancia en un día Típico en un Clima Templado			
Hora No.	Horario	julio W/m <sup>2</sup>	diciembre W/m <sup>2</sup>
1	7 a 8	137.5	100.0
2	8 a 9	287.5	250.0
3	9 a 10	500.0	437.5
4	10 a 11	712.5	600.0
5	11 a 12	900.0	712.5
6	12 a 13	900.0	712.5
7	13 a 14	712.5	600.0
8	14 a 15	500.0	437.5
9	15 a 16	287.5	250.0
10	16 a 17	137.5	100.0
11	17 a 18	50.0	12.5

Tabla 5.3 Datos de la norma NMX-ES-001-NORMEX-2005.

Como podemos comprobar la suma de estos valores para julio es de 5.125 [kWh/m<sup>2</sup>-día] y de 4.212 [kWh/m<sup>2</sup>-día]. Que podemos utilizarlos como puntos críticos, uno como la máxima insolación y el otro como la mínima.

### 5.2 TEMPERATURA MINIMA EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Para saber cuál es la temperatura ambiente a la cual estará el sistema calentador y si es necesario protegerlo de temperaturas bajas, se recopila información de la página del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Esta ofrece datos de temperaturas desde 1971. De estos datos podemos saber que la temperatura más baja registrada en la Ciudad de México es de 2.2 °C que ocurrió en enero de 1996. Se presenta una gráfica con los promedios de la menor temperatura para cada mes.

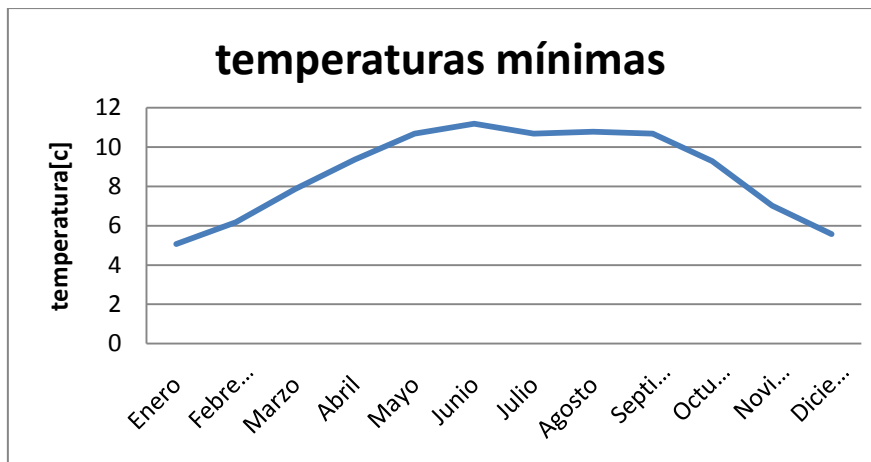


Figura 5.1 Temperaturas mínimas en la Ciudad de México

### 5.3 CANTIDAD DE AGUA PARA LA DUCHA POR PERSONA

Los consumos de agua para la ducha, varían de acuerdo a cada persona, ya que dependiendo de la duración es el consumo de agua. Si la ducha es rápida el consumo es poco, pero si toman duchas muy largas el consumo es alto. Por ejemplo, el gasto de una regadera típica es de 20 litros por minuto; si tomamos una ducha de 8 minutos nuestro consumo de agua resulta de 160 litros por ducha. Con la finalidad de reducir este consumo se creó la norma oficial mexicana NOM-008-CNA-1998, para regaderas empleadas en el aseo corporal, donde se establece cuál debe ser el consumo de agua de acuerdo a su presión de trabajo.

REGADERA TIPO	LIMITE INFERIOR		LIMITE SUPERIOR	
	Presión kPa (kgf/cm <sup>2</sup> )	Gasto mínimo l/min	Presión kPa (kgf/cm <sup>2</sup> )	Gasto máximo l/min.
BAJA PRESION	20 (0,2)	4,0	98 (1,0)	10,0
MEDIA PRESION	98 (1,0)		294 (3,0)	
ALTA PRESION	294 (3,0)		588 (6,0)	

Tabla 5.4 Gasto máximo y mínimo especificado.

Si una regadera tiene un consumo menor a 4 [l/min] se considera de grado ecológico; con estas regaderas logramos reducir el consumo de agua a la mitad o menos. El ahorro de agua de las regaderas eficientes se consigue a través de diferentes mecanismos, que incluyen:

1) Mezcla con aire

Mezcla de aire con agua de manera que el chorro proporciona la misma sensación de mojado, consumiendo aproximadamente la mitad de agua.

2) Reducción del área de difusión

La concentración del chorro de salida consigue en las duchas eficientes un considerable ahorro sin reducir la cantidad de agua útil por unidad de superficie.

### 5.3.1 HORA PROMEDIO PARA LA DUCHA

Dependiendo de las actividades que realicemos y a qué hora las realicemos, será más adecuada la hora apropiada para ducharnos. Pero podemos considerar que la mayoría de las personas inician actividades por la mañana, un intervalo de 5 a 8 de la mañana es adecuado para una ducha.

### 5.3.2 TEMPERATURA DE CONFORT PARA LA DUCHA

La temperatura del agua con la que se duchará, depende de cada persona pero se puede tomar en cuenta que las personas de todas las edades pueden quemarse en 30 segundos con un líquido que fluye a una temperatura de 54°C; a 60°C, toma sólo cinco segundos; a 71°C, sólo toma un segundo. En los niños menores de 5 años, estas temperaturas pueden causar una quemadura en la mitad del tiempo. Por tal motivo se recomienda no ducharse con agua a una temperatura mayor de 54 °C. Por otro lado, La temperatura normal del cuerpo varía entre personas, según la edad, la actividad y el momento del día. La temperatura corporal normal promedio es de 37° C, con estos datos se recomienda que la temperatura de confort del agua para ducharse sea de 38°C a 40°C.

### 5.4 TEMPERATURA DEL AGUA DE SUMINISTRO

De la norma NMX-ES-001-NORMEX-2005 sabemos que la temperatura del agua del suministro para la ciudad de México es.

CLIMA	$T_{\text{agua}} (^{\circ}\text{C})$		EJEMPLO
	julio	diciembre	
TEMPLADO	17.3	13.6	Distrito Federal

Tabla 5.5 Temperatura del agua de suministro.

### 5.5 Agua caliente necesaria

De la información del capítulo anterior sabemos que la mayor temperatura recomendada para la ducha es de 40°C y si instalamos una regadera de bajo consumo a una presión menor de 60 [Kpa] el flujo de la regadera es de 6 [litros/minuto], ahora la menor temperatura del agua de suministro es de 13°C en invierno y la temperatura del agua caliente se tomara de 50°C. Con la siguiente fórmula podemos determinar la cantidad de agua caliente y fría necesaria para cada ducha.

$$m_2 = \frac{m_3 (T_3 - T_1)}{(T_2 - T_1)} \dots\dots\dots 5.1 \qquad m_1 = m_3 - m_2 \dots\dots\dots 5.2$$

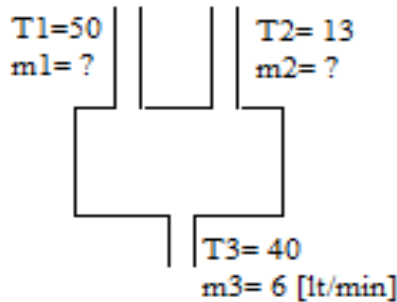


Figura 5.2 Mezcladora de agua.

Sustituyendo los valores encontramos que  $m_2 = 1.62$  [lt/min] y  $m_1 = 4.38$  [lt/min], como cada ducha es de 8 minutos la cantidad de agua caliente es  $4.38$  [lt/min] x  $8$  [min] lo que resulta en 35 litros de agua caliente por persona al día. Para nuestro caso necesitamos 35 litros x 5 personas que son 175 litros de agua caliente, y para cualquier eventualidad lo dejaremos en 200 litros; esta cantidad de agua es la que necesitamos calentar a  $50$  °C con ayuda del colector solar.

### 5.6 ENERGÍA UTIL

La radiación como hemos apreciado no es la misma en todos los meses teniendo la más baja en diciembre, que es de  $3.87$  [kWh/m<sup>2</sup>-día] que multiplicado por 3600 resulta en  $13,932$  [KJ/m<sup>2</sup>-día]. Esta sería la energía útil si la eficiencia del colector solar fuera del 100%, pero no lo es. La eficiencia de un colector solar se obtiene de la siguiente ecuación.

$$\eta_g = \left( \frac{A_a}{A_g} \right) FR [(\tau\alpha)_e - U_L (t_{f,i} - t_a)/G_t] = \frac{\dot{m} C_{p,e} (t_{f,e} - t_{f,i})}{A_g G_t}$$

Esta ecuación indica que si la eficiencia para un colector solar se grafica en función de  $(t_{f,i} - t_a)/G_t$ , se obtiene la siguiente gráfica.

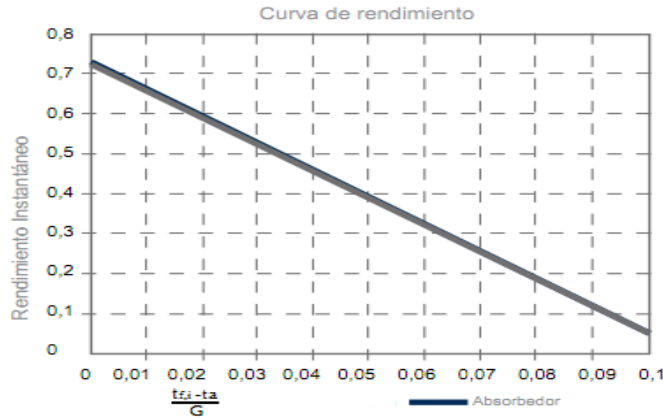


Figura 5.3 Eficiencia de un colector

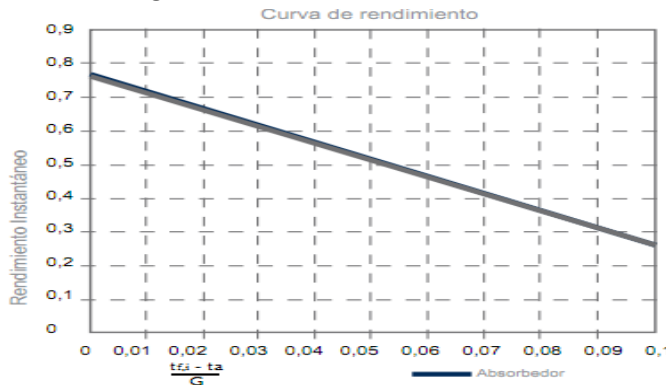


Figura 5.4 Eficiencia de un colector con materiales selectivos

La diferencia de temperaturas es la que existe entre la temperatura del agua a la entrada del colector y la temperatura ambiente. Si suponemos una diferencia de 40 grados y una irradiancia de 1000 [W/m<sup>2</sup>], tenemos 0.04 y corresponde una eficiencia de 0.45 siendo esta la menor eficiencia. De aquí podemos determinar que la mayoría de los colectores pueden proporcionarnos una eficiencia mínima del 50% y un 60% para colectores de tubos de vacío y colectores planos con materiales selectivos.

### 5.7 TAMAÑO DEL CAPTADOR

Para determinar el área efectiva del colector solar es necesario saber cuánta energía se necesita para calentar 200 litros de agua a 50 °C. Con las siguientes fórmulas se puede determinar la energía para calentar el agua y con esto calcular el área.

$$Q = mC_p\Delta T \dots\dots\dots 5.3$$

Donde:

Q= Energía para calentar el agua [Kj]

m=Cantidad de agua a calentar [Kg]

Cp=Capacidad Térmica Especifica 4.186[KJ/KgC]

ΔT= Diferencia de temperaturas (T<sub>final</sub> – T<sub>inicial</sub>)



$$Q = (200[\text{Kg}]) (4.186[\text{KJ/KgC}]) (50[^\circ\text{C}] - 13[^\circ\text{C}]) = 30,976.4[\text{Kj}]$$

La radiación más baja es de 3.87 [kWh/m<sup>2</sup>-día], que multiplicado por 3600 resulta en 13,932[KJ/m<sup>2</sup>-día].

Si dividimos la energía para calentar el agua entre la radiación resultan los metros cuadrados necesarios para calentar el agua a 50[°C].

$$A = \left( \frac{Q}{I} \right) \dots\dots\dots 5.4$$

Donde :

Q= energía para calentar el agua

A= metros cuadrados del colector

I= radiación solar

$$\frac{(30,976.4 \text{ Kj})}{(13,932 [\text{Kj} / \text{m}^2 - \text{día}])} = 2.22 \text{ metros cuadrados}$$

Esta sería el área adecuada si los colectores tuvieran una eficiencia del 100% pero como su eficiencia se encuentra alrededor del 50% la energía captada únicamente es de:

$$Q_{\text{colector}} = (AxIx\eta) \dots\dots\dots 5.5$$

Donde:

Q<sub>colector</sub>= Cantidad de energía absorbida por el colector

A= metros cuadrados efectivos del colector

I=radiación solar

η=Eficiencia del colector

$$Q_{\text{colector}} = (2.22 [\text{m}^2]) (13,932[\text{KJ/m}^2\text{-día}])(.5) = 15,464.52 [\text{KJ}]$$

Con esta energía la temperatura que alcanzaría el agua es de

$$\frac{Q}{mCp} + T_{\text{inicial}} = T_{\text{final}} \dots\dots\dots 5.6$$

$$T_{\text{final}} = \frac{15,464.52 \text{ Kj}}{200 \text{ Kg} \cdot 4.186 \text{ KJ} / \text{KgC}} + 13[^\circ\text{C}] = 31.5 [^\circ\text{C}]$$

Realizando los cálculos de esta misma forma y con ayuda de una hoja de cálculo se presentan las temperaturas que alcanzaría el agua para cada mes variando la temperatura del agua a la entrada y la radiación.

enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem	octubre	noviem	diciem
34.21	37.24	43.63	44.11	43.79	42.04	40.92	38.92	37.81	36.53	33.73	31.50

Tabla 5.6 Temperaturas en [°C] alcanzadas con un colector de 2.2m<sup>2</sup> y 50% de eficiencia

Como se puede apreciar la temperatura máxima es de 42.04 [°C] la cual se encuentra lejana de los 50 [°C] que necesitamos, con ayuda de la hoja de cálculo se determina la temperatura para un colector de 3.6 m<sup>2</sup>.

enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem	octubre	noviem	diciem
47.31	52.22	60.09	60.86	60.34	57.51	55.70	53.70	51.89	49.83	46.54	42.93

Tabla 5.7 Temperaturas en [°C] alcanzadas con un colector de 3.6m<sup>2</sup> y 50% de eficiencia

Con esta área la mayoría de los meses satisfacen las necesidades de agua caliente ya que solamente 4 meses no cumplen los 50[°C]. Y la mayor temperatura es de 60.86 [C], con lo que evitamos un sobrecalentamiento del colector solar que puede dañarlo.

### 5.8 ENERGÍA FALTANTE PARA CUBRIR LA DEMANDA DE AGUA

De acuerdo a la tabla 6.2 los únicos meses que no tenemos los 200 litros a 50 [°C], son enero, octubre, noviembre y diciembre, pero si tomamos en cuenta, que para nuestro caso se tomaran 3 duchas por la mañana con lo cual el termotanque se encontrará expuesto a temperaturas bajas en la noche, en la cual se pueden llegar a perder hasta 10% de la temperatura del agua que se encuentra almacenada, esto según la norma PROY-NADF-008-2005. Por lo tanto la temperatura del agua por la mañana son las siguientes.

enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiem	octubre	noviem	diciem
42.58	46.99	54.08	54.77	54.31	51.76	50.13	48.33	46.70	44.85	41.89	38.64

Tabla 5.8 Temperaturas en [°C] por la mañana en el termotanque.

Estas nuevas temperaturas, muestran que los meses que necesitaremos energía extra son enero, febrero, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre. La energía faltante se suministrará con el calentador eléctrico y se calcula de la siguiente manera.

$$Q_{faltante} = 2Q_1 + 3Q_2 \dots\dots\dots 5.7$$

Donde

Q<sub>1</sub>= Energía faltante para las duchas por la noche

$$Q_1 = ((m)(Cp)(T_{requerida}-T_{agua por la tarde}))$$

Q<sub>2</sub>= Energía faltante para las duchas por la mañana.

$$Q_2 = ((m)(C_p)(T_{requerida} - T_{\text{agua por la mañana}}))$$

m=Cantidad de agua caliente

C<sub>p</sub>=Capacidad Térmica Especifica 4.186[KJ/KgC]

T<sub>requerida</sub>=50 [C]

$$Q_1 = (35[\text{Kg}]) (4.186[\text{KJ/KgC}]) (50[^\circ\text{C}] - 47.31 [^\circ\text{C}]) = 394.1 [\text{KJ}], \text{ primeras 2 duchas}$$

$$Q_2 = (35[\text{Kg}]) (4.186[\text{KJ/KgC}]) (50[^\circ\text{C}] - 42.58 [^\circ\text{C}]) = 1,087.1 [\text{KJ}], \text{ últimas 3 duchas}$$

Como podemos notar para el mes de enero la temperatura del agua no es de 50[°C] para las primeras dos duchas, la energía faltante por ducha es de 394.1 [KJ] y la energía faltante para las restantes duchas es 1,087.1 [KJ] para cada ducha; por lo tanto, la energía faltante por día se obtiene como sigue:

Para el mes de enero es.

$$Q_{falta nte} = 2(394.1 \text{ KJ}) + 3(1,087.1 \text{ KJ})$$

$$Q_{falta nte} = 4,046.96[\text{KJ}] \text{ Para cada día del mes de enero.}$$

Resolviendo de la misma forma para cada mes con ayuda de una hoja de cálculo la energía faltante por día para cada mes es:

enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiemb	octubre	noviembr	diciembr
4,046.96	1,320.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,448.27	2,314.45	4,579.94	7,067.18

Tabla 5.9 Energía faltante por día para cada mes en [KJ].

La energía faltante por mes:

$$Q_{mes} = (Q_{falta nte} \times n) \dots \dots \dots 5.8$$

Donde

Q<sub>falta nte</sub>=energía faltante por día para cada mes

n= días al mes.

enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
125,455.73	36,984.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	43,447.95	71,747.80	137,398.17	219,082.55

Tabla 5.10 Energía faltante por mes en [KJ].

## 5.9 AREGLO DEL SISTEMA

El arreglo propuesto consta de un colector solar asistido por un calentador eléctrico instantáneo. Como se puede apreciar, se propuso un colector solar de 3.6 [m<sup>2</sup>] con una eficiencia de 50% pero, buscando con distintos proveedores en el mercado no se encontró este colector solar, el colector más cercano o parecido es de 3.8 [m<sup>2</sup>] de placa plana con un termotanque de 240 litros y una eficiencia del 55%, este debe contar con válvula de protección anticongelamiento y válvula de alivio de presión y el calentador eléctrico de paso que es nuestro respaldo es de 7.5 [kW] y funciona con 240 [V]. Esto puede resultar en un inconveniente ya que el voltaje en las viviendas del D.F y zonas conurbadas es de 125 [V], y si se requiere otro voltaje es necesario ponerse en contacto con CFE para ver si tiene disponibilidad de carga, si existe disponibilidad entonces solo se cambia el contrato, para ello se necesita dejar un depósito y ajustar el medidor. El precio de la tarifa que en nuestro caso es doméstica no resultará alterado si no rebasamos el consumo máximo, que es de 250 [kWh] al mes. Para garantizar que el calentador de respaldo funcionará solo cuando la temperatura del agua no sea la adecuada para la ducha se instalará una válvula automática de by – pass, la cual permite regular la temperatura de derivación. El agua que le falte temperatura será elevada por el calentador eléctrico en el cual se puede fijar la temperatura a la que se requiera.



Figura 5.5 Sistema calentador paso eléctrico.

6 ANALISIS ECONOMICO

En este capítulo se presentan los precios de los energéticos principales como son gas natural gas licuado de petróleo y electricidad que nos ayudaran a realizar los cálculos de los costos para satisfacer nuestros requerimientos de agua caliente.

6.1 PRECIOS DEL GAS LP

El precio al usuario final de gas LP se determina para cada una de las 145 zonas de distribución en las que se compone el país.

Se presenta una gráfica con la evolución de la política de precios del gas LP

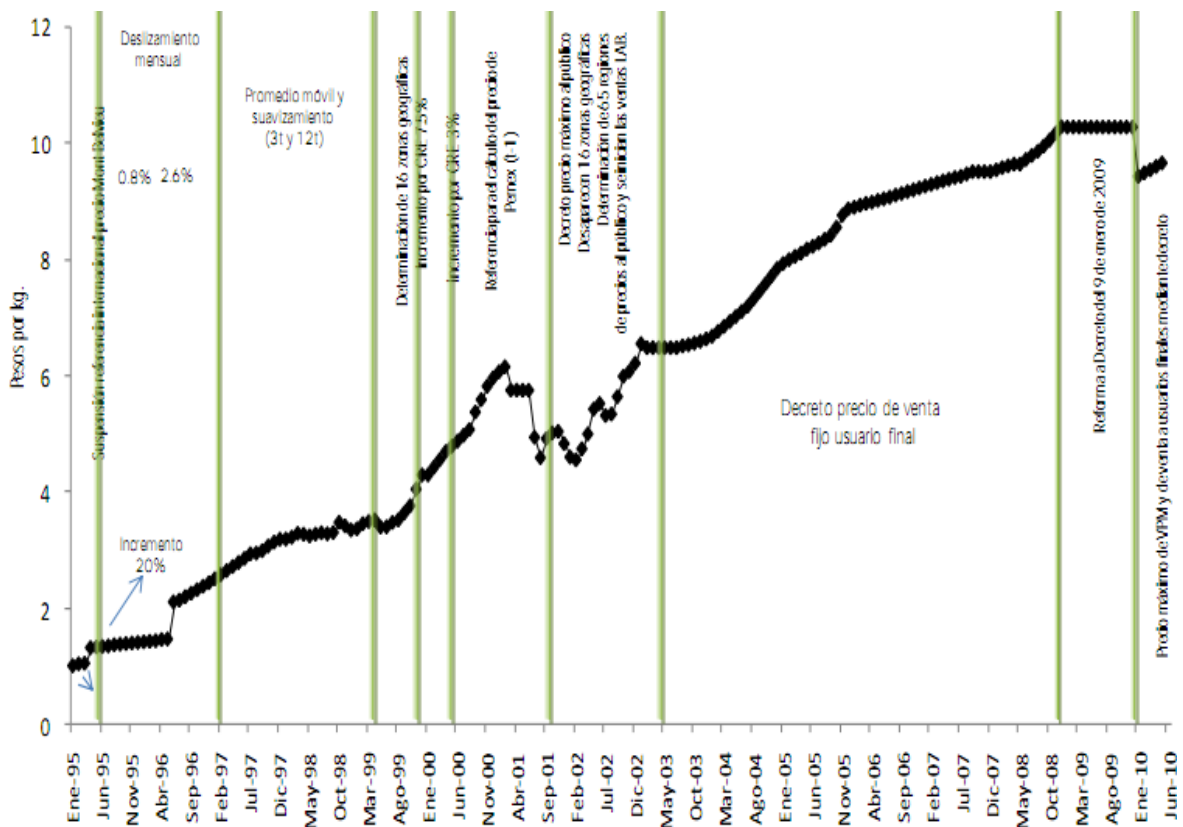


Figura 6.1 Evolución de la política de precios del gas LP incluye IVA

Fuente: Sener con base en CRE y SE.

Durante 2010, la política del Ejecutivo Federal ha sido establecer aumentos mensuales en el precio promedio nacional ponderado al usuario final de 0.05 pesos por kilogramo antes del impuesto al valor agregado. Ello a partir del valor de 8.03 pesos por kilogramo antes del IVA. Esta política se ha plasmado en las Resoluciones RES/001/2010, RES/020/2010, RES/039/2010, RES/081/2010, RES/111/2010 y RES/135/2010, expedidas por la CRE el 1 de

enero de 2010, 29 de enero de 2010, 26 de febrero de 2010 31 de marzo de 2010, 30 de abril de 2010 y 31 de mayo de 2010, respectivamente.

El precio base que se tomará para efectuar los cálculos es de 10.20 para el mes de marzo del 2011 con un incremento de 0.05\$ pesos por mes.

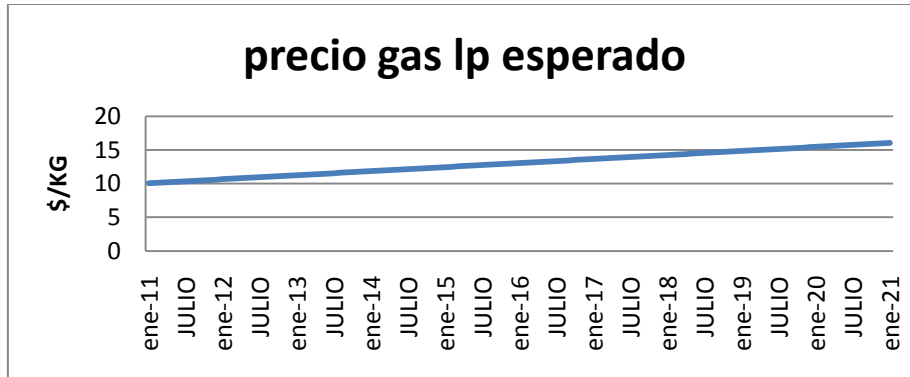


Figura 6.2 Comportamiento del precio del gas lp.

## 6.2 PRECIO DEL GAS NATURAL

En conformidad con su Ley, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) es un órgano desconcentrado de la Sener, con autonomía técnica y operativa, que tiene por objeto promover, entre otras, el desarrollo eficiente de las actividades siguientes:

- Las ventas de primera mano del gas.
- El transporte y distribución del gas por ductos, así como el almacenamiento que se encuentre directamente vinculados a éstos, o que forme parte integral de las terminales de importación o distribución.

En 2009, los precios promedio nacional de gas natural al público aplicado por todas las distribuidoras en los diferentes sectores experimentaron una situación similar a los precios de venta de primera mano. Así, los precios al público promedio nacional de gas natural fueron de: 14.57 US\$/MBTU para los usuarios del sector residencial.

De la página de la Comisión Reguladora de Energía (CRE), se determinan los precios del gas natural uso residencial para la Ciudad de México de la compañía Comercializadora Metrogas. Con estos valores y con ayuda de una hoja de cálculo se determina que el precio del gas natural sube a razón de 0.083 [dólares/GJ] cada mes. Sin tomar en cuenta el comportamiento irregular que tiene el precio del gas natural, como podemos ver en la gráfica, tiene momentos en que la gráfica presenta picos, pero si los suprimimos podemos notar que tiene un comportamiento lineal a lo largo de los años. Tomando estas consideraciones podemos suponer un incremento anual de 1 dólar/GJ. El precio base que se tomará para los cálculos es de 11.646 dólares/GJ. Este precio es sin IVA y es para el mes de marzo del 2011. Considerando el IVA de 16% y un tipo de cambio de 12.20 \$/dólar, resulta 164.814\$/GJ.

### 6.3 PRECIO DE LA ENERGIA ELECTRICA

Las tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica se clasifican de acuerdo con su uso y nivel de tensión en:

- Domésticas: 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F y Doméstica de Alto Consumo (DAC)

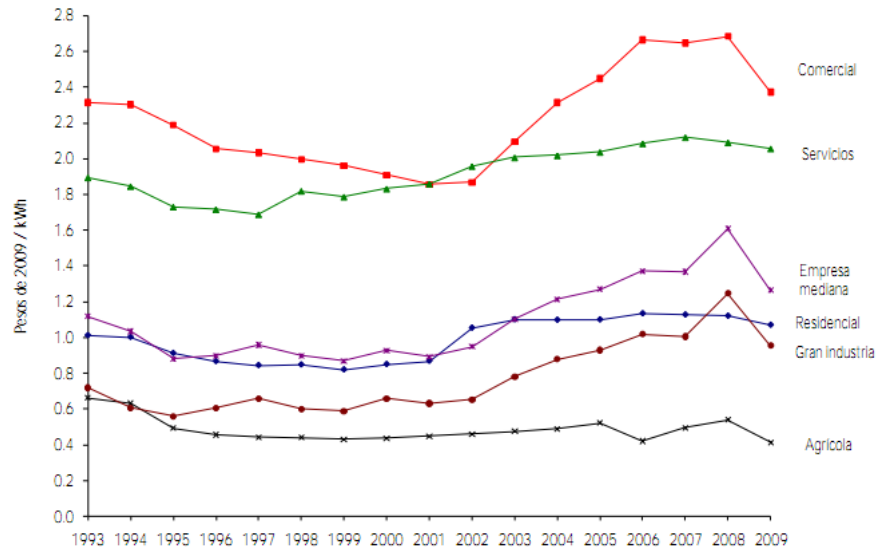


Figura 6.3 Precio medio de la energía eléctrica por usuario.

Para nuestro estudio utilizaremos la tarifa 1 que nos permite tener como límite un consumo de 250 KWH/mes con un costo promedio de 1.72 \$/KWH, para este año y se espera un incremento anual de 0.06\$ para los próximos años.

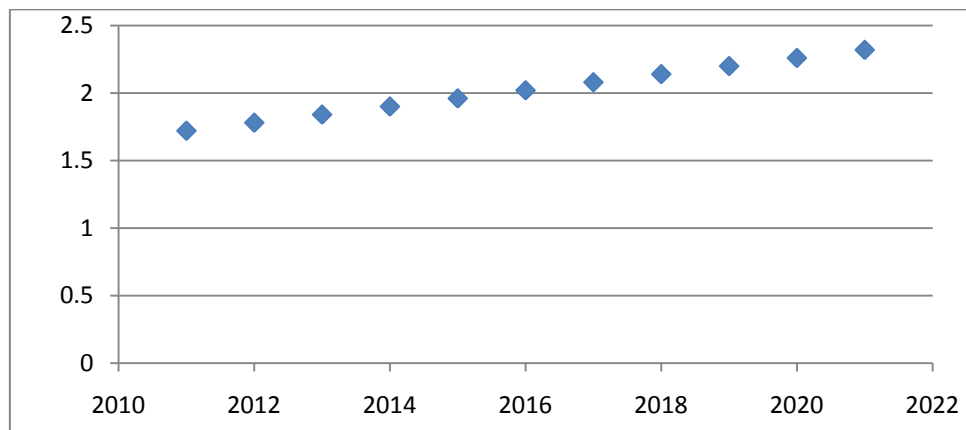


Figura 6.4 Comportamiento del precio del gas natural.

### 6.4 GASTO DIARIO PARA LA DUCHA DE LA FAMILIA

Para poder comparar los beneficios económicos debemos saber cuánto nos cuesta generar el agua caliente que necesitamos con los calentadores convencionales como son:

- Calentador de depósito de gas
- calentador de paso de gas
- calentador de depósito eléctrico
- calentador eléctrico de paso

#### 6.4.1 CON CALENTADOR DE DEPOSITO DE GAS

El calentador de depósito mantiene una temperatura máxima de 70[C], dada esta temperatura la cantidad de agua caliente necesaria para nuestros requerimientos puede calcularse con la fórmula 6.2 y resulta de 2.8 [lt/min]. Para duchas de 8[min], necesitamos 22.4 [lt] de agua por ducha, como sabemos necesitamos satisfacer 3 duchas casi continuas por lo tanto necesitamos que el tamaño del depósito sea por lo menos de 22.4 X 3 = 67.2 litros, con lo cual podemos escoger un calentador comercial de 78 [lt].

Ahora para poder calcular la energía necesaria para satisfacer las demandas de agua caliente de la siguiente manera.

$$Q_{total} = Q_{agua} + Q_{perdidas} + Q_{piloto} \dots\dots\dots (6.1)$$

Donde:

$Q_{total}$  = Cantidad de energía al día para satisfacer demanda de agua caliente.

$Q_{agua}$  = Cantidad de energía para calentar los requerimientos de agua (22.4[lt] x 5=112[lt]).

$Q_{perdidas}$  = Cantidad de energía perdida por transferencia de calor del depósito con el medio.

$Q_{piloto}$  = Cantidad de energía para mantener encendido el piloto.

Para calcular  $Q_{agua}$ , aplicamos la siguiente fórmula:

$$Q_{agua} = (mCp\Delta T)x1.26 \dots\dots\dots (6.2)$$



Donde:

$Q_{\text{agua}}$  = Energía para calentar el agua [KJ]

$m$ =Cantidad de agua a calentar [Kg]

$C_p$ =Capacidad Térmica Especifica 4.186[KJ/KgC]

$\Delta T$ = Diferencia de temperaturas ( $T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}}$ )

El 1.26 es debido a que la eficiencia de un calentador de depósito es del 74%

$$Q_{\text{agua}} = ((112[\text{kg}])(4.186[\text{kJ} / \text{kgC}])(70[\text{C}] - 15[\text{C}])) \times 1.26 = 32,490[\text{kJ}]$$

Para calcular  $Q_{\text{pérdidas}}$  de los fabricantes sabemos que se tienen pérdidas de temperatura de alrededor de 7[C] en las 24 horas. La cantidad de energía para recuperar estos 7 grados se calcula de la siguiente manera.

$$Q_{\text{pérdidas}} = mC_p\Delta T \dots\dots\dots (6.3)$$

Donde:

$m$ = Capacidad del depósito [Kg]

$C_p$ = Capacidad Térmica Especifica 4.186[KJ/KgC]

$\Delta T$ = Diferencia de temperaturas 7[C]

$$Q_{\text{pérdidas}} = ((78[\text{kg}])(4.186[\text{kJ} / \text{kgC}])(7[\text{C}])) \times 1.26 = 2,285.5[\text{kJ}]$$

De los fabricante, sabemos que un piloto utiliza 0.013 [kg/hr] de gas, para calcular el calor perdido por el piloto tenemos.

$$Q_{\text{piloto}} = mx\text{horas} \times P_{ci} \dots\dots\dots (6.4)$$

Donde:

$m$ = gasto másico del piloto (0.013[kg/hr])

Horas= 24 horas en un día.

$P_{ci}$ = poder calorífico inferior del gas lp= 46,000[KJ/kg] y del gas natural 53,600 [kJ/Kg]

$$Q_{\text{piloto}} = (0.013[\text{kg} / \text{Hr}])(24[\text{Hr}])(46,000[\text{kJ}]) = 14,352[\text{kJ}]$$

El calor total para el gas lp:

$$Q_{\text{glp}} = (32,490[\text{kJ}]) + (2,285.5[\text{kJ}]) + (14,352[\text{kJ}]) = 49,127.5[\text{kJ}]$$

Para gas natural es

$$Q_{\text{total}} = (32,490[\text{kJ}]) + (2,285.5[\text{kJ}]) + (16,723.2[\text{kJ}]) = 51,498.7[\text{kJ}]$$

Por lo tanto para satisfacer los requerimientos de agua caliente por día para un calentador de depósito para gas Lp se necesitan 49,127.5 [kJ] y con gas natural de 51,498.7 [kJ].

De aquí tenemos que para calcular la cantidad de energía por mes es de:

$$Q_{mesgaslp} = (49,127.5 \text{ [kJ]}) \times n \dots\dots\dots (6.5)$$

Donde n= número de días por mes.

$$Q_{mesgasNat} = (51,498.7 \text{ [kJ]}) \times n \dots\dots\dots (6.6)$$

Donde n= número de días por mes.

Para traducir esto a un costo económico tenemos.

$$C_{glp} = \left( \frac{Q_{mesglp}}{pci_{glp}} \right) \times \$_{glp} \dots\dots\dots (6.7)$$

Donde:

C<sub>glp</sub>= costo para calentar el agua con gas lp

Q<sub>glp</sub>= cantidad de energía necesaria al mes.

Pci= poder calorífico inferior del gas lp (46,000 [KJ])

\$<sub>glp</sub>= Precio del gas lp que para marzo del 2011 se encuentra en 10.20\$

$$C_{gn} = \left( \frac{Q_{mesgasnat}}{1000000} \right) \times \$_{gn} \dots\dots\dots (6.8)$$

C<sub>gn</sub>= costo para calentar el agua con gas natural

Q<sub>glp</sub>= cantidad de energía necesaria al mes.

\$<sub>glp</sub>= Precio del gas natural que para marzo del 2011 se encuentra en 164.814 [\$/Gj]

#### 6.4.2 CON CALENTADOR DE PASO A GAS

La cantidad de energía que se necesita para satisfacer las necesidades con un calentador de paso de gas se calcula de la siguiente forma.

$$Q = (mCp\Delta T) \times 1.12 \dots\dots\dots (6.9)$$

Donde:

Q = Energía para calentar el agua [Kj]

m=Cantidad de agua a calentar [Kg] (35 [kg])

$C_p$ =Capacidad Térmica Especifica 4.186 [KJ/KgC]

$\Delta T$ = Diferencia de temperaturas ( $T_{final} - T_{inicial}$ )

El 1.12 es debido a que la eficiencia de un calentador de paso es de 88%

$$Q = ((35[kg])(4.186[kj / kgC](50[C] - 13[C])) \times 1.12 = 6,071.3[kj]$$

Por lo tanto la cantidad de energía por ducha es de 6,071.3 [kJ], para 5 duchas se necesita 6,071.3 X 5 = 30,356.5 [kJ], que es la cantidad de energía por día. Para que este calentador de este resultado podemos apreciar que el ahorro de energía comparado con el calentador de depósito es del 38%. Este ahorro puede ser más grande si la eficiencia del calentador de paso se incrementa.

La energía necesaria por mes es:

$$Q_{mes} = (49,127.5 [kJ]) \times n \dots\dots\dots (6.10)$$

Donde n= número de días por mes.

Para calcular los costos se utilizan las ecuaciones 6.7 y 6.8

### 6.4.3 CON CALENTADOR DE DEPOSITO ELECTRICO

El calentador de depósito eléctrico se le puede seleccionar una temperatura de 70[C], dada esta temperatura la cantidad de agua caliente necesaria para nuestros requerimientos puede calcularse con la fórmula 6.2 y resulta de 2.8 [lt/min]. Para duchas de 8[min], necesitamos 22.4 [lt] de agua por ducha, como sabemos necesitamos satisfacer 3 duchas casi continuas por lo tanto necesitamos que el tamaño del depósito sea de por lo menos de 22.4 X 3 = 67.2 litros. Con el podemos escoger un calentador comercial de 80 [lt]. Cabe mencionar que no se recomienda ya que el consumo de energía es muy alto.

$$Q_{total} = Q_{agua} + Q_{perdidas} \dots\dots\dots (6.11)$$

Donde:

$Q_{total}$  = Cantidad de energía al día para satisfacer demanda de agua caliente.

$Q_{agua}$  = Cantidad de energía para calentar los requerimientos de agua (22.4 [lt] x 5=112 [lt]).

$Q_{perdidas}$  = Cantidad de energía perdida por transferencia de calor del depósito con el medio.

Para calcular  $Q_{agua}$ , aplicamos la siguiente fórmula:

$$Q_{agua} = (mC_p\Delta T) \times 1.1 \dots\dots\dots (6.12)$$

Donde:

$Q_{\text{agua}} = \text{Energía para calentar el agua [Kj]}$

$m = \text{Cantidad de agua a calentar [Kg]}$

$C_p = \text{Capacidad Térmica Especifica } 4.186[\text{KJ/KgC}]$

$\Delta T = \text{Diferencia de temperaturas } (T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}})$

El 1.1 es debido a que la eficiencia de un calentador de depósito eléctrico es del 99%

$$Q_{\text{agua}} = ((112[\text{kg}])(4.186[\text{kJ} / \text{kgC}])(70[\text{C}] - 15[\text{C}])) \times 1.1 = 25,785.7[\text{kJ}]$$

Para calcular  $Q_{\text{pérdidas}}$  de los fabricantes sabemos que se tienen pérdidas de temperatura de alrededor de 7[C] en las 24 horas. La cantidad de energía para recuperar estos 7 grados se calculó de la siguiente manera.

$$Q_{\text{pérdidas}} = mC_p\Delta T \dots\dots\dots (6.13)$$

Donde:

$m = \text{Capacidad del depósito [Kg]}$

$C_p = \text{Capacidad Térmica Especifica } 4.186[\text{KJ/KgC}]$

$\Delta T = \text{Diferencia de temperaturas } 7[\text{C}]$

$$Q_{\text{pérdidas}} = ((80[\text{kg}])(4.186[\text{kJ} / \text{kgC}])(7[\text{C}])) \times 1.1 = 2,578.5[\text{kJ}]$$

El calor total necesario para satisfacer los requerimientos de agua caliente por día es de:

$$Q_{\text{total}} = (25,785.7[\text{kJ}]) + (2,578.5[\text{kJ}]) = 28,364.2[\text{kJ}]$$

Por mes resulta:

$$Q_{\text{mes}} = (28,364.2 [\text{kJ}]) \times n \dots\dots\dots (6.14)$$

Donde  $n = \text{número de días por mes.}$

Para calcular los costos tenemos.

$$C_{\text{mes}} = \left( \frac{Q_{\text{mes}}}{3600} \right) \times \$\text{kwh} \dots\dots\dots (6.15)$$

Donde :

$C_{\text{mes}} = \text{costo para calentar el agua al mes}$

$Q_{\text{mes}} = \text{cantidad de energía necesaria al mes.}$

3600= factor de conversión

$\$_{\text{kwh}} = \text{Precio del kilowatt hora que para marzo del 2011 se encuentra en } 1.72$

## 6.4.4 CON CALENTADOR DE PASO ELECTRICO

La cantidad de energía que se necesita para satisfacer las necesidades con un calentador de paso eléctrico se puede calcular con la ecuación (6.12)

$$Q = (mC_p\Delta T) \times 1.1$$

Donde:

Q = Energía para calentar el agua [KJ]

m=Cantidad de agua a calentar [Kg] (35[kg])

C<sub>p</sub>=Capacidad Térmica Especifica 4.186[KJ/KgC]

ΔT= Diferencia de temperaturas (T<sub>final</sub> – T<sub>inicial</sub>)

El 1.1 es debido a que la eficiencia de un calentador de paso eléctrico es de 99%

$$Q = ((35[kg])(4.186[kJ / kgC])(50[C] - 13[C])) \times 1.1 = 5,420.8[kJ]$$

Por lo tanto la cantidad de energía por ducha es de 5,420.8 [kJ], para 5 duchas se necesita 5,420.8 X 5 = 27,104.53 [kJ], que es la cantidad de energía por día para este calentador. La energía necesaria por mes es.

$$Q_{mes} = (27,104.5 [kJ]) \times n \dots \dots \dots (6.16)$$

Donde n= número de días por mes.

Para calcular los costos tenemos.

$$C_{mes} = \left( \frac{Q_{mes}}{3600} \right) \times \$_{kwh} \dots \dots \dots (6.17)$$

Donde :

C<sub>mes</sub>= costo para calentar el agua al mes

Q<sub>mes</sub>= cantidad de energía necesaria al mes.

3600= factor de conversión

\$<sub>kwh</sub>= Precio del kilowatt hora que para marzo del 2011 se encuentra en 1.72

## 6.4.5 CON EL SISTEMA PROPUESTO

El sistema propuesto consta de un colector de 3.8[m<sup>2</sup>] y una eficiencia del 55%. Con base en el capítulo 5 de las fórmulas 5.5 y 5.6 se presentan las temperaturas del agua alcanzadas en el termostato por este colector.

enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	sept	octubr	noviem	diciem
46.20	50.95	58.69	59.44	58.94	56.19	54.45	52.45	50.70	48.70	45.45	41.96

Tabla 6.1 Temperaturas en [°C] alcanzadas con un colector de 3.8 m<sup>2</sup> y 55% de eficiencia

Considerando las pérdidas de temperatura por el colector y con ayuda de la ecuación 5.7 se determina la cantidad de energía faltante por día. Con ayuda de la ecuación 5.8 se calcula la energía faltante al mes.

Esta energía se suministra con un calentador de paso eléctrico por lo tanto la energía necesaria se calcula como.

$$E = Q_{mes} \times 1.1$$

$Q_{mes}$ =energía faltante al mes.

1.1= calentador de paso eléctrico tiene una eficiencia del 99%

Ahora el costo se puede determinar con la ecuación 6.2.6, donde  $Q_{mes}$  se sustituye por E. resultando

$$C_{mes} = \left( \frac{E}{3600} \right) \times \$kwh$$

Donde:

$C_{mes}$ = costo para calentar el agua al mes

E= cantidad de energía suministrada por el calentador eléctrico de paso.

3600= factor de conversión

$\$_{kwh}$ = Precio del kilowatt hora que para marzo del 2011 se encuentra en 1.72

### 6.5 INVERSION PARA EL SISTEMA CALENTADOR DE AGUA

La inversión necesaria para el sistema considera el costo del colector solar, el calentador eléctrico de paso, válvula automática de bypass y la instalación. Los precios presentados son promedios de distintos puntos de venta. Con garantía por 10 años en el colector solar.

➤ Colector solar termosifón placa plana 240 litros.....	15,500\$
➤ Calentador eléctrico de paso de 7.5 kw.....	1,500\$
➤ Válvula automática de by-pass.....	700\$
➤ Instalación con materiales.....	2,000\$
➤ Costo total del sistema.....	19,700\$
➤ Mas el 16% de IVA.....	22,852\$

### 6.6 EVALUACION FINANCIERA DEL SISTEMA CALENTADOR

Para poder definir si resulta conveniente invertir en el sistema calentador solar de agua es necesario poder compararlo con otra forma de calentamiento del agua como puede ser el calentador de depósito a gas, donde los principales ahorros son el consumo de energía y el costo de la energía.

Para este análisis se considera que no existe calentador de agua y se está evaluando en cual invertir, los ingresos generados son los ahorros económicos de un calentador a otro y los egresos únicamente son la inversión en los equipos, despreciando costos de mantenimiento y refacciones. Esta evaluación se llevara a 10 años ya que es el tiempo de garantía del colector solar.

Los indicadores financieros que se utilizaran son:

- Periodo de recuperación (TR)
- Rendimiento de la inversión (ROI)

Periodo de recuperación

El tiempo de recuperación de la inversión es el que se necesita para recuperar el dinero invertido inicialmente en un negocio o proyecto. Puede considerarse como el tiempo que le toma a la operación del proyecto generar el suficiente flujo de efectivo para compensar o cubrir la inversión realizada. Para calcular el tiempo de recuperación simple sólo se

consideran los flujos de efectivo, sin tomar en cuenta el valor del dinero en el tiempo. De esta forma se comparan directamente los flujos de efectivo operativos netos generados por el proyecto, con la inversión neta para determinar el periodo (número de años, meses, semanas o días) que se requiere para que el dinero generado por el negocio o proyecto, sea igual al que se invirtió para iniciar y mantener operando el mismo. Se acepta el proyecto o negocio si el tiempo de recuperación simple es menor que la vida económica del proyecto.

$$TR = \frac{\textit{InversiónInicial}}{\textit{BeneficiosAnuales} - \textit{CostosAnuales}}$$

Rendimiento de la Inversión (ROI)

El rendimiento de la inversión es la razón de la eficacia de un proyecto para generar utilidades con la inversión que posee, es decir, mide la proporción de la inversión que se convierte en utilidades.

$$ROI = \frac{\textit{UtilidadesNetas}}{\textit{Inversión}}$$



7. RESULTADO DE LOS ANALISIS

En este capítulo se presentaran los resultados de los cálculos de los capítulos 5 y 6 referentes al análisis técnico y análisis económico.

7.1 ANALISIS TECNICO

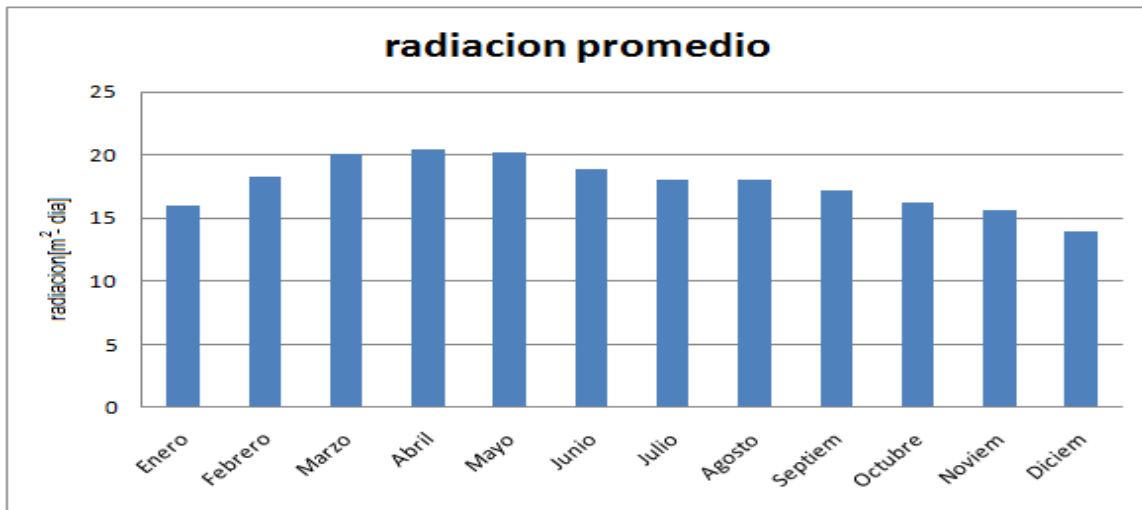


Figura 7.1 Radiación utilizada para la ciudad de México y zona conurbada.

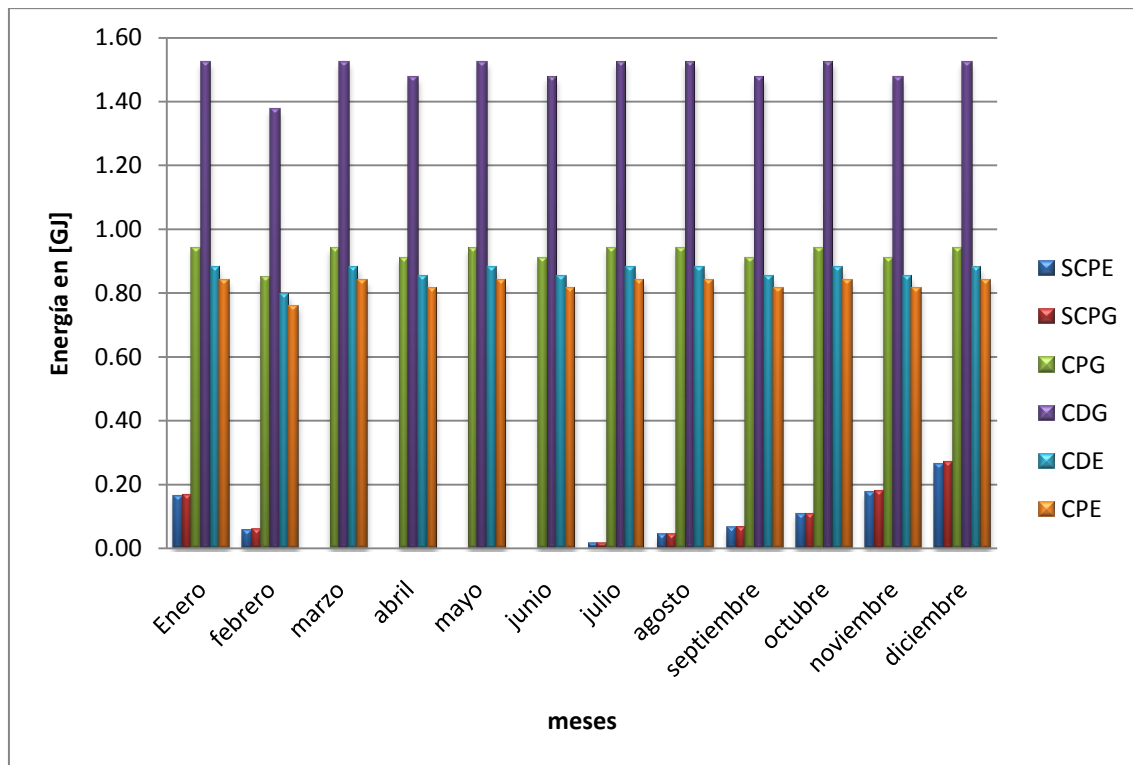


Figura 7.2 Cantidad de energía que necesita cada calentador de agua al mes.

En la gráfica se presenta la cantidad de energía que necesita cada uno de los dispositivos que son:

- SCPE: sistema calentador paso eléctrico
- SCPG: sistema calentador paso gas
- CPG: calentador paso gas
- CPE: calentador paso eléctrico
- CDG: calentador deposito gas
- CDE: calentador deposito eléctrico

Como podemos apreciar de la gráfica el arreglo que menos consume energía es el SCPE, esto se debe al colector solar y que el calentador de paso eléctrico es más eficiente al calentar el agua, de igual forma se agregó un arreglo más al estudio que es el SCPG, debido a que presenta un ahorro económico mayor como se verá más adelante.

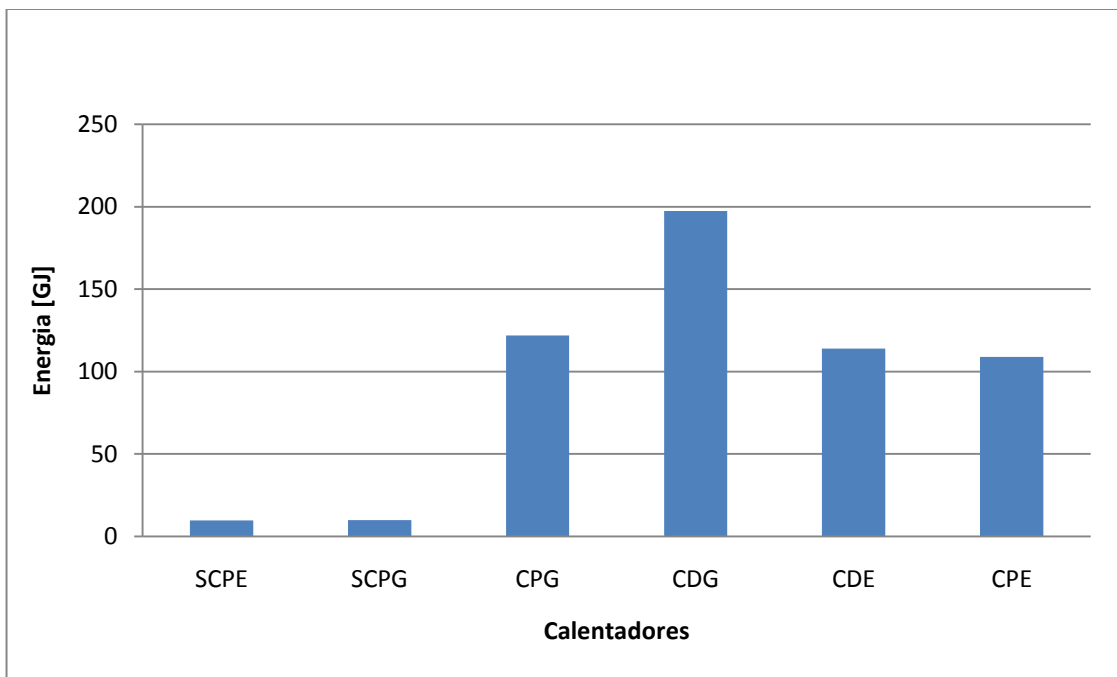


Figura 7.3 Energía consumida por cada calentador en 10 años.

En esta gráfica podemos apreciar el consumo de energía que tendremos con cada calentador dentro de diez años, que es el tiempo que se propone en este análisis. De aquí podemos notar que con los sistemas podemos alcanzar hasta un ahorro 12 veces más que si es utilizado un calentador de depósito a gas y 9 veces más con respecto a los calentadores de paso.

7.2 ANALISIS ECONOMICO

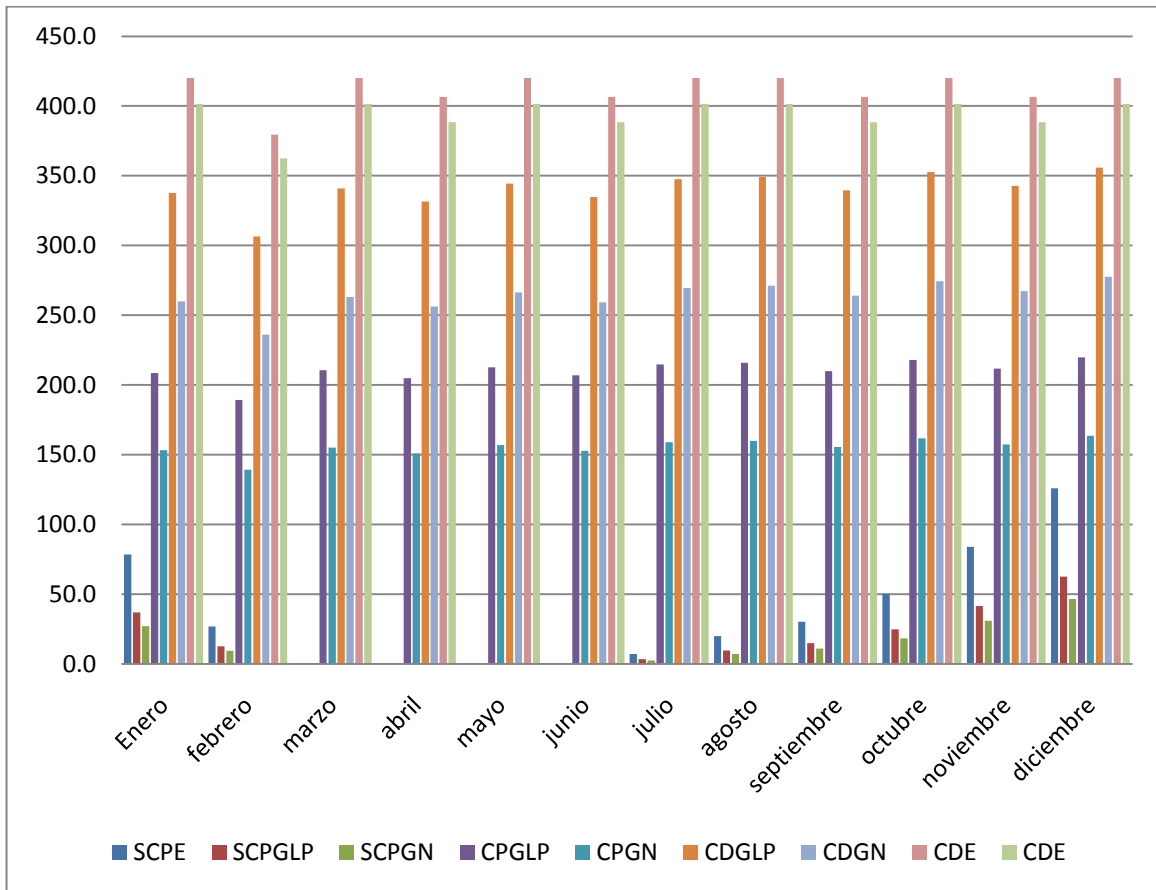


Figura 7.4 Costo de calentador el agua.

En la gráfica se presenta el costo mes a mes de calentar el agua con cada uno de los dispositivos que son:

- SCPE: sistema calentador paso eléctrico
- SCPGLP: sistema calentador paso gas LP
- SCPGN: sistema calentador paso natural
- CPGLP: calentador paso gas LP
- CPGN: calentador paso gas natural
- CPE: calentador paso eléctrico
- CDGLP: calentador deposito gas LP
- CDGN: calentador deposito gas natural
- CDE: calentador deposito eléctrico

De la gráfica podemos notar que la forma más barata de calentar el agua es con SCPGN debido a que el precio de energía del gas natural es más bajo que los demás y gracias a ello el costo se vuelve por debajo del sistema que se analiza.

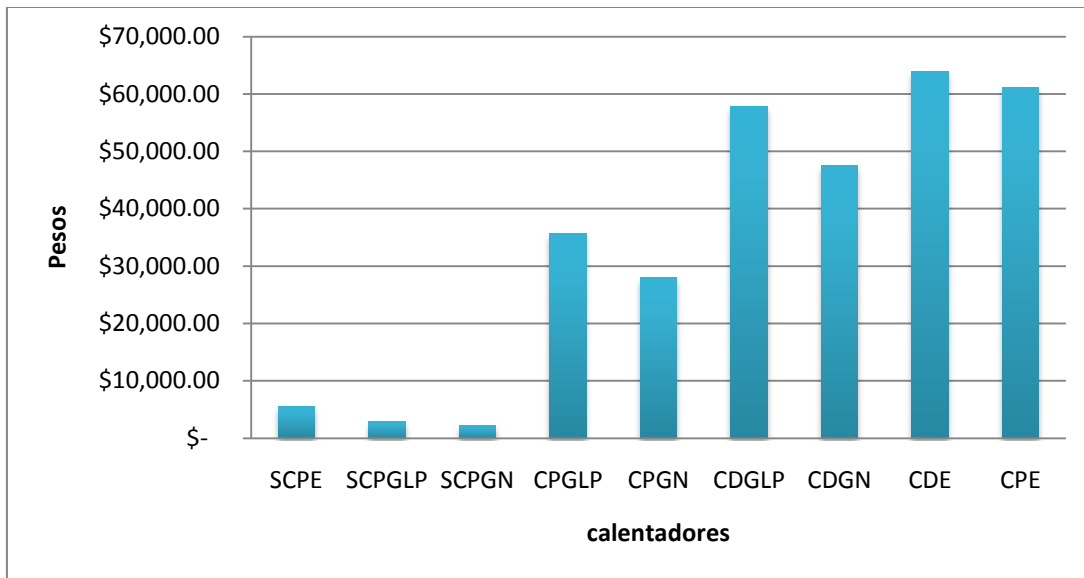


Figura 7.5 Costo de calentador el agua al fin de diez años.

En esta gráfica podemos apreciar el costo que tendremos con cada calentador dentro de diez años.

- SCPE: sistema calentador paso eléctrico
- SCPGLP: sistema calentador paso gas LP
- SCPGN: sistema calentador paso natural
- CPGLP: calentador paso gas LP
- CPGN: calentador paso gas natural
- CPE: calentador paso eléctrico
- CDGLP: calentador deposito gas LP
- CDGN: calentador deposito gas natural
- CDE: calentador deposito eléctrico

De esta gráfica podemos apreciar claramente que los dispositivos con mayor ahorro económico son: SCPE, SCPGLP, SCPGN siendo este ultimo el más económico, ahora si comparamos estos sistemas con el CDGLP para poder calcular la TR y el ROI. Se obtienen los siguientes resultados:

	SCPE	SCPGLP	SCPGN
ROI	2.3	2.4	2.4
TR	6.2	5.9	5.8

Tabla 7.1 ROI y TR para los sistemas.

La ROI en el SCPE es de 2.3 lo que puede interpretarse como recuperar 2.3 veces la inversión en 10 años y la TR es de 6.2 que son los años que se tarda en recuperar la inversión. Con base en estos datos podemos darnos cuenta que el sistema más atractivo es el SCPGN.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como podemos apreciar la energía solar nos ayuda a disminuir nuestro consumo de energía para ducharnos hasta en un 90%, lo cual puede ayudarnos a consumir menos energía de fuentes no renovables como los hidrocarburos, y con esto prolongar las reservas por más tiempo dando oportunidad a generaciones posteriores para su utilización, volviéndonos personas consientes y responsables con nuestro mundo y la sociedad.

Ahora del análisis técnico que se realizo podemos darnos cuenta que los calentadores que mayor ahorro energético presentan son los sistemas, el sistema propuesto tiene un pequeño pero menor consumo energético, esto comparado únicamente a nivel sistema ya que si consideramos la generación y transmisión de la energía eléctrica puede resultar no el más ahorrador.

De igual forma se puede apreciar que el calentador que mayor energía consume es el CDG, siendo una mejor alternativa el calentador de paso.

El sistema propuesto presenta el inconveniente de que el calentador de paso eléctrico solamente se encuentra en 220 [V], Con lo cual es necesario instalar un transformador de 120 [V] a 220 [V], cabe mencionar que si nuestro consumo eléctrico es alto corremos el riesgo de sobrepasar nuestro limite de consumo y con esto caer en otra tarifa eléctrica y con ello incrementar el costo.

Del análisis económico podemos notar que producir agua caliente con el sistema propuesto no es el más barato debido al costo de la energía eléctrica, el sistema que presenta mayor ahorro económico es el SCPG.

Ahora el costo de cualquier sistema es elevado debido principalmente por el colector.

Los beneficios económicos se presentan a largo plazo pudiendo recuperar la inversión en 6 años y duplicándola en 10, si vemos esto como un negocio no parece muy convincente, de aquí podemos notar el por qué no existe un alto consumo de colectores a nivel hogares, ya que en hospitales y edificios gubernamentales ya se tienen instalados colectores solares para calentamiento del agua.

### RECOMENDACIONES

El sistema que presenta mayores beneficios tanto económicos como técnicos es el Colector solar asistido por calentador de paso a gas. Por lo cual se recomienda su uso.

### RECOMENDACIONES PARA ESTUDIOS FUTUROS

Analizar la posibilidad de realizar un colector solar con materiales de bajo costo y en lo posible una alta durabilidad. Tomando sus valores de eficiencia para de esta forma compararlo con los colectores comerciales.

## BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE CONSULTA

### 1.

[1] Ken butti y John Perlin; tr. José Corral, Un hilo dorado, H.blume, Madrid 1985.

[2] Stu Campbell y Doug Taff, Construya su propio calentador solar; tr. Ramon Albert, Gustavo gili, Barcelona 1983.

### 2.

[1] Dr. Felix A. Peuser, Karl-Heinz Remmers, Martin Schnauss, Sistemas Solares Térmicos diseño e instalación, Progensa-Berlin en colaboración con Solarpraxis-Sevilla 2005.

[2] Tomás Perales Benito, Instalación de Paneles Solares Térmicos 2ª edición, Creaciones Copyright, España 2008.

[3] modulo solar (2011, marzo) <http://www.modulosolar.com.mx>

### 3.

[1] F. Hall; tr. Rafael García, Plomería: Sistemas de suministro de agua caliente y calefacción, Limusa, México 1998.

[2] E. Carnicer Royo, C. Mainar Hasta, Agua Caliente y Aparatos Sanitarios, Paraninfo, Madrid 1995.

[3] enermax-i (2011, abril) <http://www.enermax-i.com>

[4] Pemex gas (2011, abril) <http://www.gas.pemex.com>

[5] Junkers Grupo Bosch (2011, abril) <http://www.junkers.cl>

### 4.

[1] Hong Li, Hongxing Yang, Potential application of solar thermal systems for hot water production in Hong Kong, Elsevier 14 February 2008.

### 5.

[1] CONUEE (2011, abril) <http://conuee.gob.mx/wb/>

[2] SMN (2011, abril) <http://smn.cna.gob.mx>

[3] Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-008-AMBT-2005.

[4] Energía solar- rendimiento térmico y funcionalidad de colectores solares para calentamiento de agua- métodos de prueba y etiquetado, NMX-ES-001-NORMEX-2005.

[5] eurener (2011, marzo) <http://www.eurener.com>

6.

[1] SENER (2011, abril) <http://www.sener.gob.mx/>

[2] PEMEX gas y petroquímica básica (2011, abril) <http://www.gas.pemex.com>