

Estudio técnico-económico de colectores solares planos para zonas rurales del estado de Oaxaca

Concepción Herrera Alcázar *1, María Antonieta Andrade Vallejo *2

RESUMEN

Actualmente, los equipos de energía solar no son accesibles para muchas personas de bajos recursos. Con el objetivo de desarrollar colectores solares planos (CSP) para agua caliente de uso doméstico que puedan ser adquiridos por la mayor parte de la población, en el presente artículo se muestra un estudio técnico y económico sobre la producción de estos equipos para ser utilizados en el estado de Oaxaca. Se ha diseñado, fabricado y probado un CSP, con material de cobre y fibra de vidrio principalmente. También se ha realizado una investigación de mercado y de aspectos económicos que promueven la fabricación y venta de estos equipos en la misma zona. De los resultados obtenidos en el año de 2008, se ha observado que el CSP puede proporcionar temperaturas de 60 °C durante un día nublado. En resumen, se ha encontrado que es recomendable usar un financiamiento no superior a dos años para adquirir los equipos y que el costo de los mismos sea accesible a la mayoría de la población y así contribuir a mejorar la calidad de vida de la comunidad de esta zona.

Palabras claves: Calentadores solares planos (CSP), estudio técnico, estudio económico, financiamiento, desarrollo comunitario, calidad de vida.

Key words: Flat solar heaters, technical study, economic survey, financing, community development, quality of life.

Recibido: 30 de junio de 2010, aceptado: 9 de septiembre de 2010

* Escuela Superior de Comercio y Administración, Unidad Santo Tomás, Instituto Politécnico Nacional.

¹ cherreraa@ipn.mx

² maavo6@yahoo.com.mx

ABSTRACT

At the moment, the equipments of solar energy are not accessible for many people of low resources. This paper shows a technical and economic study about production of flat-plate solar collectors (PSC) for domestic hot water with the aid that these equipments can be acquired by most of the people in the state of Oaxaca. A PSC has been designed, manufactured and tested mainly with copper and fiber glass. A market investigation and economic aspects that promote the production and sale of these equipments in the same area, has also been carried out. Of the results in 2008, it has been shown that the PSC can provide temperatures of 60°C during a cloudy day. Briefly, it has been found that it is convenient to use two years finance to acquire the equipment so that the cost of the PSC are accessible to most of the people and this way to contribute to improve the quality of life in this place.

INTRODUCCIÓN

Cada vez son más los colectores solares planos ubicados en diversas zonas del país, que están instalados principalmente en naves industriales, en hoteles y en centros deportivos, (ANES, 2008). Actualmente nuevos estudios con superficies mejoradas en los tubos elevadores del fluido, han sido investigados con el fin de mejorar la eficiencia de un equipo de energía solar; sin embargo, el aumento de la eficiencia de un CSP es inapreciable. (Hobbi y Siddiqui, 2008). Por otro lado, métodos de fabricación novedosos son empleados para producir equipos de gran calidad (Heliocol, 2007), aunque el empleo de materiales no comerciales encarece el precio de estos equipos. Actualmente, nos encontramos con problemas

energéticos de sostenibilidad y medioambientales que destacan el uso de energías renovables como una mejor opción, mismas que han madurado y evolucionado, aumentando su confiabilidad y mejorando su rentabilidad para muchas aplicaciones. Los colectores solares planos son una de las tecnologías (solares) más simples, más probadas y que tienen un gran potencial de aplicación en todo el mundo. Uno de los casos más relevantes es el de Israel, donde se usa la energía solar para calentamiento de agua desde hace más de 50 años y donde, a partir de 1980, la legislación hizo obligatoria la instalación de sistemas solares para calentamiento de agua en todas las construcciones residenciales nuevas. (ANES, 2008) Si bien es cierto que en México ya existe el uso del CSP y su uso ha ido en aumento (Heliocol, 2007), esto es, el mercado está en crecimiento y apenas empieza a manifestarse una gran demanda, sobre todo debido al constante aumento del precio de los combustibles como el gas o el costo de la energía eléctrica.

En la actualidad, en México existen pocas empresas, generalmente extranjeras, dedicadas a la fabricación y comercialización de colectores solares de agua, que son equipos de base tecnológica aplicada a un sistema de calentamiento de agua a través de la radiación solar y creados especialmente para el ahorro de combustibles, el empleo de energía solar y el cuidado ambiental, mismos que son poco difundidos en el mercado. Sin embargo, el problema radica en que son pocas las empresas que fabrican esos equipos y además se encuentran dirigidos hacia grandes consumidores como Hoteles, Hospitales, etcétera. Esta situación representa una oportunidad para cubrir una necesidad básica con la fabricación de estos equipos, proponiendo a la Heroica Ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca para llevar a cabo la idea, puesto que ahí no existe ninguna empresa dedicada a este giro, lo que representaría un impulso a la economía local de la zona; por involucrar un producto, a diferencia de otras empresas, dirigido al alcance de las familias, mismo que les permitirá tener un ahorro considerable en el uso de energéticos para calefacción de agua, sin mencionar la creación de fuentes de empleo en la zona.

De conformidad con lo anterior, la idea nos lleva a buscar la respuesta de muchas preguntas que surgen para delimitar la investigación. A saber:

- ¿Qué recursos son necesarios para cubrir una necesidad de este tipo?

- ¿Cuál será el giro principal de un negocio de este tipo y su característica ante el mercado?
- ¿A quién va dirigido el producto?
- ¿Cómo se producirán los artículos y que lineamientos seguirán los servicios que se presten?
- ¿Qué estado de la República Mexicana podría ser el beneficiario de este producto?
- ¿Qué tipo de precio sería accesible a la población?
- ¿En qué casos de podría financiar el producto?

El objetivo principal de la presente investigación, es demostrar la necesidad que existe entre la población del Municipio de Huajuapán de León, Oaxaca, de contar con los calentadores solares que les permita ahorrar combustible y cuidar el ambiente de su localidad a muy bajo costo.

Objetivos Específicos

Determinar que el municipio de la Heroica Ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca es una zona viable para la introducción en el mercado del producto, así como identificar a los clientes potenciales y cuantificar la demanda que éstos representan; es decir, el segmento de mercado.

Especificar los requerimientos necesarios tanto en equipo como en infraestructura para el desarrollo adecuado de las operaciones de fabricación, así como la determinación del tiempo y los costos involucrados en el proceso fabril.

Comprobar financieramente la forma más adecuada de la aplicación de los recursos disponibles para obtener un beneficio real hacia las familias oaxaqueñas.

En la presente investigación, se consideró manejar una hipótesis condicional, que tendría la intención de comprobar el beneficio que representa el introducir un producto con bajo costo y en zonas marginadas con clima frío. A saber: Si en el Municipio de Huajuapán de León, Oaxaca, se insertaran los colectores solares a bajo precio, entonces la comunidad elevaría su calidad de vida.

En dicha hipótesis, la variable dependiente corresponde al municipio en cuestión, que será investigado para determinar sus cualidades y

características que influirán en la viabilidad del proyecto. Mientras tanto, su variable independiente obedecerá a la magnitud de la inversión que se realice, en los colectores solares tomando en consideración los tipos de financiamientos que se pretenden ofertar.

El hecho de haber escogido al Municipio de la Heroica Ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca, como el lugar de operaciones para establecer una empresa que fabrique calentadores solares de agua, representa una oportunidad de beneficio a la comunidad, al estar ubicada geográficamente en un región de clima generalmente frío y con una población económicamente activa superior a otras regiones a su alrededor, donde además la comunidad se encuentra sensibilizada con el uso de la tecnología en pro del medio ambiente gracias a la difusión que la Universidad Tecnológica de la Mixteca, que radica en dicho municipio, ya que ha difundido el uso de la energía solar, además de otras características que se mencionan en el estudio de mercado; en tal virtud se justifica la presente investigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con el objetivo, se ha determinado el costo que implica fabricar un colector solar plano en el cual no intervenga ninguna maquinaria especial para fabricarlo; así como la aceptación que éste tendría entre determinadas personas de una región del estado de Oaxaca, y a su vez se ha desarrollado una metodología que implica un estudio técnico-económico; donde en la parte técnica se ha diseñado con metodologías bien conocidas, (Duffie y Beckman, 1991), y fabricado un colector solar plano con materiales económicos, empleando equipo y herramienta propios de un taller de soldadura y realizado un número de mediciones necesarias para determinar el rendimiento del equipo; mientras que en el estudio económico se ha elaborado una encuesta sobre la población a la que se dirige el estudio, determinando el nivel de interés, la disponibilidad adquisitiva de las personas de dicha zona y el costo de fabricación del CSP. La metodología de cada uno de estos estudios se muestra por separado en esta sección.

Estudio Técnico

El diseño del colector solar plano se ha realizado siguiendo el procedimiento mostrado a continuación. La energía demandada y el área

del colector se han determinado de la siguiente forma: (Ristinen y Kraushaar, 1999).

$$\dot{Q}_D = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_o - T_i) \quad (1)$$

$$A_c = \frac{\dot{Q}_D}{I_T \cdot \eta_c} \quad (2)$$

En donde el flujo másico de agua depende de la cantidad de agua que utilizan las personas y el número de personas que habitan una vivienda. El área del colector se determina considerando una eficiencia del colector de 50%. El coeficiente de eficiencia del colector F' y el coeficiente de remoción de calor del colector F_R se determinan de:

$$F' = \frac{1}{\frac{W \cdot U_L}{\pi \cdot D \cdot h} + \frac{W}{D + (W - D) \cdot F}} \quad (3)$$

$$F_R = \frac{\dot{m} \cdot C_p}{A_c \cdot U_L} \left[1 - \exp \left(- \frac{A_c \cdot U_L \cdot F'}{\dot{m} \cdot C_p} \right) \right] \quad (4)$$

En tanto que el calor útil del colector se determina mediante:

$$\dot{Q}_u = F_R A_c [S - U_L (T_i - T_a)] \quad (5)$$

El coeficiente global de pérdidas del colector U_L y la radiación solar absorbida S se determinan como lo muestran Duffie y Beckman. La temperatura media de la placa T_p , se determina mediante un proceso iterativo usando los coeficientes de eficiencia y de remoción de calor del colector junto con la siguiente ecuación:

$$T_p = T_i + \frac{\dot{Q}_u / A_c}{F_R \cdot U_L} (1 - F_R) \quad (6)$$

La eficiencia del colector se determina mediante la ecuación (2) cambiando Q_D por Q_u .

Estudio Económico

Para el estudio económico primero se ha delimitado el área de investigación hacia una población en donde fue posible realizar las encuestas, para así obtener información específica sobre su interés hacia los CSP; en segundo lugar, los datos generados de las encuestas fueron analizados con el fin de obtener el valor presente del

ahorro en Gas LP y su variante cuando un CSP es adquirido con financiamiento. Finalmente, la interpretación de los resultados ha sido llevada a cabo. La metodología empleada en este estudio se muestra en esta sección.

Obtención de la información

Como primer paso, se buscó determinar la ubicación de una zona en el país a la cual dirigir el estudio y que cumpliera tres principales aspectos; el primero que fuera una zona donde se requiera el uso de agua caliente, situación que descartaba los estados del norte donde sus temperaturas son extremas y se asume que el agua caliente no es requerida. Segundo, que no existieran fabricantes o distribuidores de equipos de energías renovables en dicha zona, para que esta presencia no influyera en la opinión de los encuestados con la imagen de algún fabricante ya conocido. Tercero, que la zona tuviera habitantes de bajos recursos. Bajo tales aspectos para el estudio económico, el municipio de la Heroica Ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca fue elegida por cumplir con los tres aspectos antes mencionados.

El estado de Oaxaca está localizado en la Región Sureste del Pacífico Mexicano: limita al norte con Puebla y Veracruz, al este con Chiapas y al oeste con Guerrero. La superficie territorial de la entidad es de 95 mil 364 kilómetros cuadrados; lo que representa el 4.8% del total nacional. Por su extensión, Oaxaca ocupa el quinto lugar del país después de los estados de Chihuahua, Sonora, Coahuila y Durango. La entidad posee una superficie náutica de 11 mil 351 kilómetros cuadrados y está ubicado a mil 558 metros sobre el nivel medio del mar. Por su conformación política, económica y social, Oaxaca cuenta con 8 regiones geoeconómicas: Cañada, Costa, Istmo, Mixteca, Papaloapan, Sierra Norte, Sierra Sur y Valles Centrales. El estado se divide en 570 municipios y en más de 9 mil localidades que gozan de variados microclimas que benefician las actividades productivas de la entidad. Aquí se lleva a cabo un importante movimiento comercial en torno a la palma y sus derivados y se cuenta con sitios arqueológicos como el Cerro de las Minas, el Sombrero y Malinaltepec. Su clima durante todo el año es frío y se sabe que existen 11,443 viviendas habitadas en el año 2000. (INEGI, 2008)

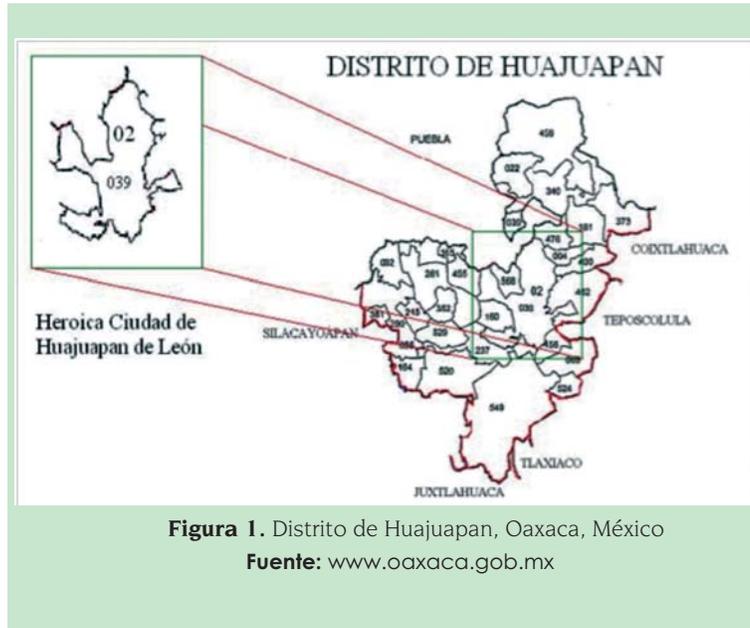


Figura 1. Distrito de Huajuapán, Oaxaca, México
Fuente: www.oaxaca.gob.mx

Una vez definida la zona de estudio, se determina el nivel de aceptación que pueden alcanzar los colectores solares entre los habitantes de dicha zona, por lo que fue necesario llevar a cabo una encuesta a cada una de las casas seleccionadas en el municipio para saber que tanto conocimiento tienen del equipo y que tanto les interesaría obtener los beneficios que este brinda. Partiendo del dato obtenido del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2008) en cuanto al número de viviendas, se decidió realizar una encuesta con base en un muestreo probabilístico, donde el tamaño de la muestra se calculó con las siguientes consideraciones: para obtener una muestra razonable de la población en estudio, se determinó un nivel de confianza del 95% y margen de error del 5% sobre un marco muestral de 11,443 casas habitadas en el municipio. También se obtuvo una lista de las colonias aledañas al centro de la ciudad y se enumeró con el fin de organizar el levantamiento de la encuesta. El método de muestreo utilizado es aleatorio simple sin reemplazo, con la ecuación siguiente: (Kerlinger, 2003):

$$n = \frac{Z^2 pqN}{Ne + Z^2 pq}$$

Como resultado del muestreo, se obtuvo una muestra de 371 encuestas, mismas que se delimitaron a 350 por razones de presupuesto y en vista de que la diferencia era poco significativa. El modelo de encuesta se diseñó como sigue:

ENCUESTA APLICADA A LOS POBLADORES DE HUAJUAPAN DE LEÓN, OAXACA

Buenos días: estamos representando a un grupo de maestros y estudiantes del Instituto Politécnico Nacional, cuya investigación está relacionada con la adquisición y uso de los calentadores solares instalados en climas fríos de este municipio.

Esta encuesta es anónima y tiene el propósito de proporcionar los resultados de un trabajo de investigación relacionado con los calentadores solares.

¿En qué colonia reside? _____ Fecha _____

1.- ¿Su vivienda cuenta con algún o algunos de los siguientes servicios?

- | | | |
|---|---|-----------------------------------|
| a) <input type="checkbox"/> Agua entubada | d) <input type="checkbox"/> Drenaje | g) <input type="checkbox"/> Gas |
| b) <input type="checkbox"/> Agua de pozo | e) <input type="checkbox"/> Fosa Séptica | h) <input type="checkbox"/> Otros |
| c) <input type="checkbox"/> Agua de acarreo | f) <input type="checkbox"/> Energía eléctrica | |

2.- ¿Cuántas personas habitan en su casa?

- | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| a) <input type="checkbox"/> De 1 a 2 | c) <input type="checkbox"/> De 5 a 6 | e) <input type="checkbox"/> De 9 a 10 |
| b) <input type="checkbox"/> De 3 a 4 | d) <input type="checkbox"/> De 7 a 8 | f) <input type="checkbox"/> Más de 11 |

3.- ¿Generalmente qué utiliza para calentar el agua con que dispone para bañarse?

- | | | |
|---|------------------------------------|--|
| a) <input type="checkbox"/> Boiler | c) <input type="checkbox"/> Estufa | e) <input type="checkbox"/> Otro |
| b) <input type="checkbox"/> Resistencia eléctrica | d) <input type="checkbox"/> Leña | f) <input type="checkbox"/> No utiliza |

4.- ¿Cómo describiría el producto que actualmente usa para calentar el agua?

- | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| a) <input type="checkbox"/> Excelente | c) <input type="checkbox"/> Muy bueno | e) <input type="checkbox"/> Bueno |
| b) <input type="checkbox"/> Regular | d) <input type="checkbox"/> Malo | f) <input type="checkbox"/> Pésimo |

5.- ¿Nunca ocupa agua caliente o la ocupa solo en invierno?

- | | |
|---|---|
| a) <input type="checkbox"/> Sólo en invierno o cuando hace frío | b) <input type="checkbox"/> Nunca (termina la encuesta) |
|---|---|

6.- ¿Le interesaría conocer otro tipo de producto que le brinde agua caliente sin necesidad de consumir gas, ni energía eléctrica, sin quemar leña y que sólo necesite el calor del sol?

- | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| a) <input type="checkbox"/> Sí | b) <input type="checkbox"/> No | c) <input type="checkbox"/> No sé. |
|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|

7.- ¿Ha oído de los calentadores solares para agua?

- | | |
|---|--------------------------------|
| a) <input type="checkbox"/> Sí ¿en dónde? _____ | b) <input type="checkbox"/> No |
|---|--------------------------------|

8.- En resumen un calentador solar para agua no consume energía durante su vida útil y el costo sería exclusivamente por la compra del mismo.

¿Cuánto es lo máximo que podría pagar por este producto en pesos?

- | | | |
|---|--|---|
| a) <input type="checkbox"/> De 0 a 2,000 | c) <input type="checkbox"/> De 4,001 a 6000 | e) <input type="checkbox"/> De 8,001 a 10,000 |
| b) <input type="checkbox"/> De 2,001 a 4000 | d) <input type="checkbox"/> De 6,001 a 8,000 | f) <input type="checkbox"/> De 10,001 o más |

9.- ¿Cómo preferiría pagar este producto? (el encuestador debe explicar por cada opción)

- a) Recursos propios ¿cuántos pagos? _____ b) Financiamiento
- c) Otro (especifique) _____

10.- ¿Le gustaría una demostración del producto?

- a) Sí b) No c) No sé

11.- ¿De qué días dispone para que se le muestre el producto? (M = mañana T = tarde)

- a) Lunes M T d) Jueves M T g) Domingo M T
- b) Martes M T e) Viernes M T
- c) Miércoles M T f) Sábado M T

Muchas gracias por su participación.

¿Le gustaría contar con los resultados de esta investigación? _____

Por lo que se refiere a la muestra de colonias a encuestar, se ubica en la Tabla 1 que 14 grupos sociales fueron elegidos por las facilidades que se tuvieron para llegar a las familias, pues en ocasiones la geografía agreste y los escasos medios de comunicación impedían llegar de manera óptima hacia la población.

Tabla 1. Clasificación de las colonias a encuestar

Clave	Colonia	Clave	Colonia
0	No especifico	15	Narciso Mendoza
1	Del Carmen	16	Providencia
2	Fraccionamiento INFONAVIT	17	Sta. María
3	Agencia del Carmen	18	San Rafael
4	Aviación 1º Sección	19	Rosario
5	Reforma	20	Sta. Isabel
6	Fraccionamiento Antonio de León (FOVISSSTE)	21	Calvario
7	San Isidro Oriente	22	La Merced
8	Santa Cruz	23	Tepeyac
9	Del maestro	24	Juárez
10	Centro	25	Agencia la Estancia
11	Santa Teresa	26	Sta. Rosa
12	Altavista de Juárez	27	San Antonio
13	San Miguel	28	Las Animas
14	Espantepec	29	Lázaro Cárdenas

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2008.

Entre las preguntas de la encuesta, cabe destacar que se solicitó información sobre el número de personas que habitan la vivienda, los equipos que utilizan para calentar el agua, su interés por conocer otro tipo de producto que le brinde agua caliente y cuánto estaría dispuesto a pagar por este

equipo, entre otros. A continuación, se presentan algunos datos representativos correspondientes a las respuestas que la población dio, una vez aplicada la encuesta de referencia. A saber:

Tabla 2. ¿Su vivienda cuenta con alguno o algunos de los siguientes servicios?

Servicios	SI		NO		TOTAL	
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
a) Agua Entubada	336	96%	14	4%	350	100%
b) Agua de Pozo	1	0%	349	100%	350	100%
c) Agua de acarreo	11	3%	339	97%	350	100%
d) Drenaje	323	92%	27	8%	350	100%
e) Fosa Séptica	19	5%	331	95%	350	100%
f) Energía eléctrica	334	95%	16	5%	350	100%
g) Gas	343	98%	7	2%	350	100%
h) Otro	0	0%	350	100%	350	100%

En esta tabla se puede apreciar que se cuenta con los servicios públicos básicos siendo una zona semiurbana, donde hay los suministros necesarios para instalar los colectores solares al ser un 96% de viviendas que cuentan con agua entubada.

Tabla 3. ¿Generalmente qué utiliza para calentar el agua con que dispone para bañarse?

Servicios	SI		NO		TOTAL	
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
a) Boiler	177	51%	173	49%	350	100%
b) Resistencia eléctrica	8	2%	342	98%	350	100%
c) Estufa	124	35%	226	65%	350	100%
d) Leña	24	7%	326	93%	350	100%
e) Otro	3	1%	347	99%	350	100%
f) No utiliza agua caliente	18	5%	332	95%	350	100%

Aquí puede observarse que, de la población, 51% tiene boiler y 35% emplea la estufa, lo que significa que 86% emplea gas para el calentamiento del agua, lo que apoyaría el ahorro del consumo de gas que brindan los calentadores solares. Es posible representar posteriormente una comparación del ahorro que representa el consumo de gas contra el precio del equipo solar y los beneficios que proporciona económicamente. De igual forma, no hay que perder de vista que 5% de los encuestados dijo no ocupar agua caliente, entre algunas razones, la mayoría coincidía que en verano calentaban su agua exponiéndola en recipientes destapados al sol.

Como se observa, se recibió una tendencia muy favorable donde 89% de la población está interesada en conocer un equipo que le propor-

cione agua caliente cuyos insumos son gratis, aunque ésto podría ser mera curiosidad; por ello se prosiguió con otra pregunta más directa sobre los calentadores solares.

Tabla 4. ¿Le interesaría conocer otro tipo de producto que le brinde agua caliente, sin necesidad de consumir gas, ni energía eléctrica, sin quemar leña; y que sólo necesita el calor del sol?

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
a) Si	311	89%
b) No	25	7%
c) No sé	7	2%
d) No respondió	7	2%
Total	350	100%

En esta parte de la encuesta, la pregunta va encaminada a pensar el nivel de conocimiento de la población sobre el equipo que puede brindar los beneficios antes mencionados; este dato es de gran importancia debido a que de ello depende el tipo de promoción empleado para el equipo por si es necesario educar a la gente sobre lo que significa usar energías renovables que no contaminan y que representan avances en la tecnología o simplemente que al mencionar dicho equipo la población lo identifique sin problema alguno, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 5. ¿Ha oído hablar de los calentadores solares para agua?

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
a) Si	119	34%
b) No	206	59%
d) No respondió	25	7%
Total	350	100%

Ante la existencia de 59% de desconocimiento del calentador solar de agua, es necesario implementar promociones que estimulen el conocimiento de los equipos y sus beneficios para facilitar su comercialización.

Tabla 6. ¿Cuánto es lo máximo que podría pagar por este producto?

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
a) De 0 a \$2,000	104	30%
b) De \$2,001 a \$4,000	62	18%
c) De \$4,001 a \$6,000	64	18%
d) De \$6,001 a \$8,000	27	8%
e) De \$8,001 a \$10,000	14	4%
f) De \$10,001 a más	22	6%
g) No respondió	57	16%
Total	350	100%

Se puede observar a partir de esta tabla, que la población sin conocer mucho del equipo y por la breve explicación otorgada por el entrevistador, estimó con base a sus recursos e imaginación el posible precio que un equipo de ciertas características puede costar. En primer lugar, se estima en un rango de \$0.00 a \$2,000.00 lo que podría resultar obvio ante quien no tiene un punto de referencia con otro equipo similar o que lo compara con una convencional como un boiler.

En segundo lugar, el rango de \$2,001.00 a \$4,000.00 se ve muy a la par con el de \$4,001.00 a \$6,000.00; lo que significa que 126 de los encuestados calculan un costo más real por la conciencia de que existen materiales distintos y tecnología especial, representando 36% entre ambos rangos, superando el 30% del primer rango. Lo que a simple vista significaría que la población se inclina por lo más económico, pero en cuestión de porcentajes se demuestra que ligeramente hay una inclinación más pronunciada hacia el 2° y 3° rango de la tabla, lo que puede ser un buen indicio de aceptación de un precio dentro de dichos rangos. Sin embargo, para complementar la pregunta anterior, fue necesario saber que tan viable le parece a la población pagar las cantidades que ellos mismos propusieron, los resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 7. ¿Cómo preferiría pagar este producto?

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
a) Recursos Propios	236	68%
b) Financiamiento	36	10%
c) Otro	0	0%
d) No respondió	78	22%
Total	350	100%

Como dato interesante se obtuvo que 68% de la población encuestada prefiere pagar el equipo en un momento dado con recursos propios y evitar complicaciones de los financiamientos, mientras que 22% se reservó a responder quizá por no quererse comprometer a la posible compra de algún equipo o por falta de interés en el supuesto.

Con base a los resultados obtenidos y tomando en cuenta el mayor número de respuestas de la encuesta, se tiene el siguiente resumen de información:

- De los servicios públicos básicos que requiere una población, la muestra encuestada cuenta con 96% de viviendas que tienen agua entubada, lo que facilita la colocación de los calentadores solares; 92% cuenta con drenaje, 95% con energía eléctrica y 98% con gas, lo que indica que podemos considerarla una zona semiurbana, y que por sus características se puede contribuir en el ahorro del consumo de gas.

- Entre los encuestados, 71% de la muestra indica que hay un rango de 3 a 6 habitantes por vivienda, lo que contribuye a delimitar las capacidades y dimensiones del calentador solar dentro de su estudio técnico.
- Un 86% de la muestra encuestada ocupa gas para calentar el agua de su aseo personal, empleando equipos como el boiler y la estufa, lo que significa que el calentador solar para agua influiría directamente en el ahorro que representa de gas.
- Ante la situación anterior, los encuestados consideran favorable el uso del boiler en 73% de quienes cuentan con él; lo que pondría a este equipo en la mira del competidor indirecto número uno a vencer. Sin embargo, existió 5% de los encuestados que mencionaron no ocupar agua caliente, ante lo cual la pregunta a seguir fue con qué frecuencia la llegaban a ocupar y 33% respondió que ocasionalmente, mientras que 67% conformados de la gente que respondió que no o que se negó a responder, nos indican un cierto grado de apatía al tema o al ser encuestados, por lo cual les fue suspendida la encuesta como lo indican las instrucciones del cuestionario.
- A la gente que continuó con el mismo, se le preguntó si deseaba conocer un equipo que brindaba servicios de calefacción de agua sin costo alguno de combustible y otros beneficios sin mencionar que se trataba de un calentador solar, a lo cual se recibió una tendencia muy favorable de 89% de interesados de todos los encuestados.
- Por consiguiente, era necesario saber quiénes de los encuestados ya tenía conocimiento de los calentadores y sus beneficios y, sorprendentemente, 59% aún desconocía su existencia, pese a que se encontraba en esta ciudad un distribuidor de la competencia de calentadores solares. Un 34% afirmaba conocerlos refiriéndose a ellos como parte de los productos que llevaba la Expo-feria que organiza la ciudad anualmente.
- Una de las preguntas clave, en vista de que los encuestados ahora sabían del producto y sus beneficios, fue la de censar qué precio pagarían ellos por un producto así, y se obtuvo dos observaciones muy interesantes: en primer lugar, 30% de la muestra escogió el rango de \$0.00 a \$2,000.00, quizá en comparación con un equipo tradicional como el boiler.
- En segundo lugar, se escogieron las opciones de 18% para cada opción \$2,001.00 a \$4,000.00 y de \$4,001.00 a \$6,000.00, lo que en

conjunto significaría una aceptación de 36% en un rango de \$2,001.00 a \$6,000.00, cantidad que fija una referencia ante la posible demanda futura.

- Como consecuencia de la pregunta anterior, también se les preguntó a los encuestados sobre la forma de pago de su agrado, y 67% prefirió manejar sus recursos propios; inclusive, mencionaron el manejo en pagos pero no con financiamiento.
- Ante la sugerencia de una demostración, 86% de la muestra optó por tener una demostración del equipo. De lo anterior, 64% prefirió el fin de semana para acudir a ver dicha demostración.

Gracias a la información proporcionada por la encuesta, ahora se puede definir a los consumidores, quienes tendrían las siguientes características:

1. Familias entre 3 a 6 integrantes (preferentemente).
2. Que cuenten con servicio de agua entubada o similar.
3. Cuyos ingresos sean aptos para manifestar un compromiso serio en caso de crédito.
4. Con base a su aceptación se promovería su venta a pequeños negocios.
5. En el caso de las familias sin posibilidad de adquisición, se apoyarían del subsidio que el propio Gobierno del estado de Oaxaca pudiera dar a esta parte de la sociedad.

Una vez obtenida la información de la zona de estudio, se realizó el análisis del costo de fabricación del CSP obtenido en el estudio técnico, que fue comparado con el valor presente neto (VPN) del ahorro en gas que se obtendría al usar este equipo. Posteriormente, se hizo un análisis del precio calculado del CSP contra el precio esperado por las personas encuestadas, con la finalidad de analizar la diferencia y encontrar la forma de hacer más accesible el CSP. De los materiales de fabricación del CSP, cabe destacar que el cobre es un elemento principal, cuyo precio está directamente relacionado con la inflación del país. El CSP estudiado tiene un precio de \$7,764 y una vida útil estimada en 20 años, como se observa en tabla 8. Una vez obtenido el precio del equipo, resulta interesante comparar que el precio de un calentador convencional cuyo valor va desde los \$1,359 hasta los \$4,870, según se muestra en un estudio de Granados (2006) de

la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO), contra un CSP de \$7,765 subraya la dificultad de que muchas personas puedan acceder al mismo. Sin embargo, la principal ventaja del CSP estriba en que el ahorro del gas que deja de usarse para calentar agua; así que el principal problema está en cubrir el precio del equipo.

En el estudio, el combustible ahorrado es el Gas LP debido a que en la zona encuestada no se cuenta con gas natural, así mismo, según dicha encuesta, las familias están integradas de 3 a 6 personas, lo que representa un consumo de Gas LP de 30.27 kg al mes aproximadamente, según CONAE (2006), mismo que en la zona de estudio tiene un precio de \$9.31/Kg, como se observa en PEMEX (2009); es decir, un pago mensual de \$281.81 por consumo de Gas LP usado en el calentamiento de agua. Para determinar las amortizaciones correspondientes al ahorro del consumo de gas en comparación con la inversión realizada en la compra del CSP, se ha empleado la fórmula de Valor Presente Neto (VPN) siguiente:

$$VPN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n} \quad (8)$$

Para dicho cálculo, fueron usadas diferentes tasas de descuento para estudiar la tendencia del VPN, obteniendo una tasa de interés efectiva anual i para los años de 2004 a 2008 como se muestra en la tabla 10, mismas que se obtuvieron con la ecuación (9) (Desideri *et al.*, 2009), donde la tasa de interés real por año está representada por el promedio de CETES a 28 días por año, y el incremento anual del precio del Gas LP, Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (2009).

$$i = r - \Delta pe \quad (9)$$

Finalmente, se ha analizado el precio del CSP con financiamiento, para pagar el equipo en mensualidades y hacer más fácil su adquisición mediante la ecuación:

$$A = P \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (10)$$

RESULTADOS

Estudio técnico. Diseño

Para el estudio técnico las ecuaciones de (1-11), han sido programadas en la versión académica del software de programación para procesos

térmicos, Engineering Equation Solver, EES, esto con el fin de analizar la eficiencia de un colector solar plano, variando diversos parámetros.

Los materiales elegidos para el absorbedor y la red de tuberías han sido el cobre debido a su alta conductividad térmica. Para el aislamiento, la fibra de vidrio ha sido elegida debido principalmente a su alta resistencia térmica, a que es ligera y que puede conseguirse fácilmente. Para el gabinete se ha propuesto material galvanizado por su resistencia a la intemperie y a su bajo costo. Como primer análisis, el espesor del aislante, la separación y el diámetro de los tubos y el espesor de la placa del absorbedor han sido variados. Los resultados de la variación de estos parámetros se muestra en la figura 3, en donde se observa que la eficiencia disminuye 2.9% si se usa una pulgada de aislante respecto a 2 pulgadas. Respecto a los demás parámetros la variación es inapreciable. El segundo análisis consistió en variar la temperatura del agua a la entrada del CSP a una temperatura ambiente y radiación solar determinadas. Los resultados para una y dos cubiertas de vidrio se muestran en la figura 4, en donde se observa que con una cubierta, la eficiencia es 11% menor que si tuviera dos cubiertas de vidrio.

Fabricación

Una vez observado que con una cubierta de vidrio el valor de la eficiencia del CSP puede ser aceptable, el siguiente paso fue la fabricación del colector, mediante los materiales propuestos y usando principalmente equipo común de un taller de soldadura. Para el proceso de fabricación se ha utilizado una planta de soldar marca Miller. Una prensa sencilla se ha fabricado para

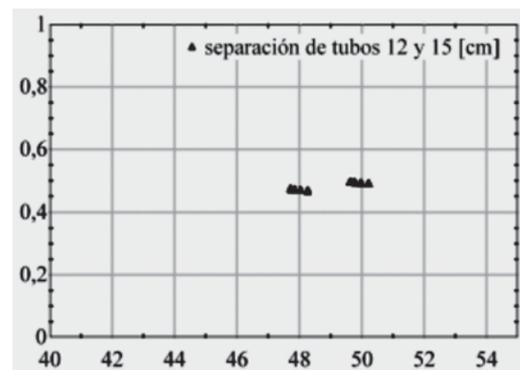


Figura 3. Eficiencia respecto de la temperatura de la placa con dos espesores de aislante y separación de los tubos.

el estampado del tubo en la lámina del absorbedor. Los costos de fabricación del CSP se muestran en la tabla 8, los cuales son utilizados para el análisis económico.

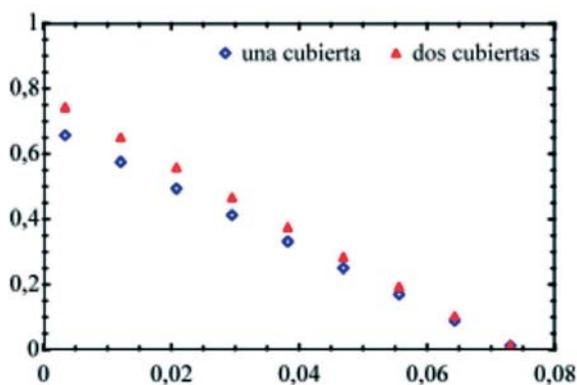


Figura 4. Eficiencia normalizada con una y dos cubiertas de vidrio.

Acerca del absorbedor, antes de sellar la cubierta de vidrio, ocho termopares de contacto tipo T fueron colocados en tubos alternos a una distancia de 20 cm desde cada cabezal. Un termopar del mismo tipo a la entrada y otro a la salida del agua fueron colocados para medir la temperatura del agua en dichos puntos. La temperatura ambiente fue medida con un termopar tipo T. Todos los termopares fueron conectados a un indicador de temperatura, de donde fueron guardados los datos. El caudal fue calculado midiendo el volumen ocupado en un tiempo determinado. Todos los datos fueron registrados y guardados. El CSP fabricado fue fijado mediante un soporte de metal a una inclinación y ángulo azimut de 45° y 15° respectivamente. El equipo instalado puede observarse en la figura 5, en donde puede apreciarse el acabado del CSP, los termopares colocados y el equipo registrador de temperaturas.

Prueba del equipo

Para reforzar el estudio técnico del CSP, se han realizado mediciones de temperatura y de caudal volumétrico con el colector instalado en un día soleado y un día nublado. Los datos de temperatura y de caudal volumétrico medidos fueron usados para determinar la eficiencia instantánea del colector, como se muestra en la Tabla 9, en donde se observan los resultados de eficiencia y de calor útil del colector. De la tabla puede apreciarse que el colector solar plano analizado ha proporcionado una eficiencia de 75% con los materiales utilizados.

Tabla 8. Costo unitario de fabricación del CSP

Descripción	Costo
Colector Solar Plano	
Gabinete	900.06
Cabezal-absorbedor	2,818.48
Aislamiento	91.54
Ensamble	548.51
Subtotal	4,358.89
Termo-tanque	
Tanque interno	813.82
Aislante	70.67
Acabados	729.51
Subtotal	1,614.00
Gastos indirectos	1,791.80
Total	\$7,764.69



Figura 5. Colector solar plano fabricado e instalado en los techos de las casas.

Tabla 9. Eficiencia del CSP para un día nublado

Descripción	Valor
Materiales	
Ti	25
To	60
Tpm	77
Ta	25
m [kg/min]	0.15
Qu [J]	580
Eficiencia	75

Estudio económico

Se han estudiado los resultados de la encuesta donde, en la población analizada, 71% de la muestra indica que hay un rango de 3 a 6 habitantes por vivienda, esto sugiere delimitar la capacidad y dimensión del calentador solar a familias con este número de miembros. Por

otra parte, 86% de los habitantes de la muestra ocupa gas LP para calentar el agua de su aseo personal, empleando equipos como el boiler y la estufa; esto significa que el calentador solar para agua influye directamente en el ahorro de gas. Otro aspecto importante para el presente análisis, es que 89% de todos los encuestados está interesado en conocer un equipo que brinde servicios de calentamiento de agua sin que consuma combustibles. Es importante mostrar que 59% de la población en el momento de realizar las encuestas no sabía de la existencia de los calentadores solares, en tanto que 34% afirmaba conocerlos a través de una expo-feria que en la ciudad se organiza anualmente. En vista de que un importante porcentaje de los encuestados conocían el producto y sus beneficios, la siguiente pregunta fue conocer qué precio estarían dispuestos a pagar por un producto que cumpliera con la necesidad del calentamiento de agua sin consumir combustibles. De esta pregunta se conoció que 30% de los encuestados podría pagar hasta \$2,000, quizá influenciados por el costo de un equipo tradicional como el boiler, en tanto que 36% estaba dispuesto a pagar entre \$2,000 y \$6,000. Todos estos resultados son mostrados en la figura 6.

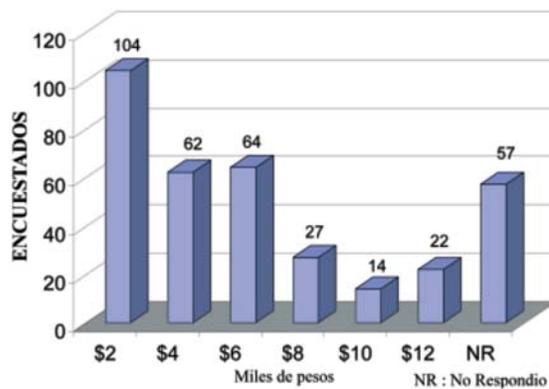


Figura 6. Gráfica de los precios estimados del colector.

Con respecto al análisis económico sobre el precio del equipo y el ahorro en el consumo de gas, se calculó que a través de la vida útil del equipo de 20 años, y con diferentes tasas de interés efectivas (tabla 10), con la tasa media de 3.24%, correspondiente al año 2006, se puede alcanzar un ahorro de \$39,794 traducido en un beneficio a una razón de 5 veces la inversión inicial más sus costos de mantenimiento.

Tabla 10. Tasas de interés efectivas

Año	Tasa de interes anual efectiva (i)
2004	1.72%
2005	5.98%
2006	3.24%
2007	3.57%
2008	1.39%

Puede observarse en la figura 7 que, aunque el CSP sea evaluado con diferentes tasas de interés, con un precio de \$7,764 la recuperación de la inversión siempre se alcanza al segundo año y 5 meses. Por otra parte, puede verse en la figura 8, la propuesta de financiar la venta de los equipos, considerando un financiamiento para tarjetas de crédito bancarias -de 41.78% anual, Banco de México (2008) a 2 años, con un pago inicial de \$1,000 y amortizando el resto del precio del CSP en mensualidades de \$420.45 que no superan por mucho el precio ahorrado del gas.

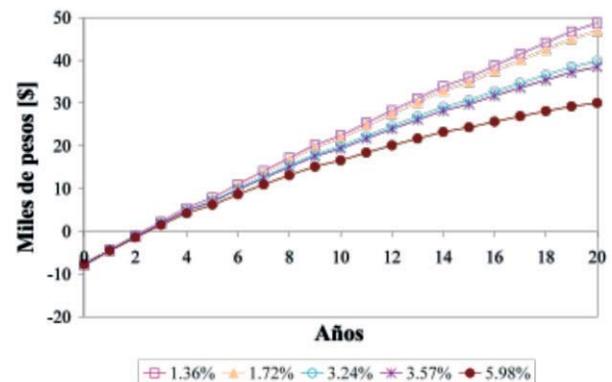


Figura 7. VPN en el CSP y el ahorro de Gas LP.

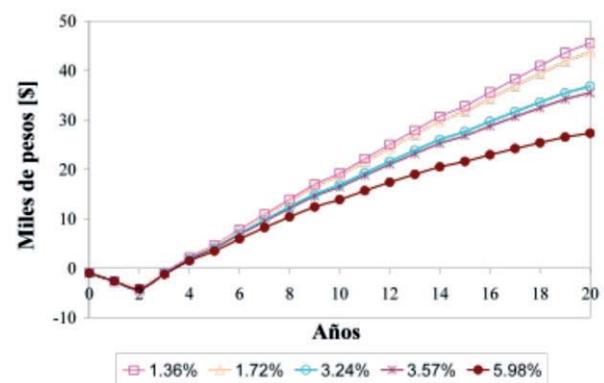


Figura 8. VPN con financiamiento.

De esta forma, se obtiene una clara comparación en cuanto al período de recuperación de la inversión; es decir, en el primer caso la recuperación de la inversión se alcanza al segundo año con 5 meses; mientras que considerando la misma tasa de interés efectiva de 3.24% la inversión se recupera en 3 años 4 meses y puede alcanzarse un ahorro de \$37,801 traducido en un beneficio a una razón del 3.85 veces la inversión inicial más sus costos de mantenimiento.

DISCUSIÓN

Al inicio de la investigación, se propuso realizar un estudio que determinará la posibilidad de instrumentar un proyecto que se destinara al grupo social de la Heroica Ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca, empleando una metodología que tuviera como resultado el beneficio directo a los pobladores, proporcionándoles un colector solar que les permitiera contar con agua caliente sin tener que gastar en gas o en algún otro recurso natural como pudiera ser la madera.

Una vez avanzado en el proyecto, se observó que era necesario considerar la unión de esfuerzos entre profesionistas para la creación de mejores alternativas, de alta calidad y muy competitivas. En tal virtud y para que especialistas en cada una de estas áreas de estudio previo pudieran emitir un juicio con un criterio aceptable sobre la proyección de esta investigación, nos dimos a la tarea de conjuntar los conocimientos de varios profesionistas, en primer lugar, para proponer una energía alternativa para el caso de los colectores solares; en el caso de las proyecciones financieras, los contadores públicos que participaron en el mismo, proporcionaron un estudio muy completo sobre las alternativas de financiamiento que permitiría al Municipio de Huajuapán de León, contar los recursos necesarios para la obtención de los colectores; por otro lado, las profesionistas que participaron en el levantamiento y análisis de los datos y que son especialistas en mercadotecnia, nos dieron los elementos necesarios para darle viabilidad al proyecto; finalmente, el haber contado con un líder de proyecto que nos permitió planear la investigación de acuerdo a un tiempo y espacio, que en este caso fue un Municipio del estado de Oaxaca.

Al final del presente trabajo, se demuestra que los proyectos de este tipo, con energías alternas y con un carácter multidisciplinario, permiten obtener una planeación adecuada de las actividades a desarrollar pues, aunque el Municipio de Huajuapán de León requerirá de financiamiento para llegar a la obtención del colector solar, se pretende que en la extensión de esta investigación se promueva la obtención del producto a través de las instituciones gubernamentales como la Secretaría de Desarrollo Social y el DIF, que podrían subsidiar los colectores a aquellas familias cuyos recursos financieros sean escasos.

CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio técnico y económico de un colector solar plano dirigido a la mayor parte de la población, de una de las regiones del estado de Oaxaca en México. Del estudio técnico se ha reconocido que usar cobre y fibra de vidrio, principalmente para la fabricación de colectores solares planos, ofrece importantes ventajas aún, y que los demás materiales incluidos en el resto del equipo sean materiales comunes de un taller de soldadura. En cuanto al estudio económico, se puede concluir que 89% de las personas encuestadas del Municipio de la Heroica Ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca, están interesadas en tener un Calentador Solar Plano, pero a un precio que les sea accesible, en donde el pago hasta de \$6,000 por un equipo les resulta adecuado. Sin embargo, considerando su disponibilidad de pago y las cantidades de ahorro en Gas LP que se obtienen del uso de un CSP de las características aquí mencionadas; el equipo puede ser más accesible, aun con un financiamiento en mensualidades sobre el precio del equipo, cuya diferencia en el beneficio reportado para el usuario es de \$1,993 debido a que la recuperación de la inversión se alcanza con una diferencia de 11 meses. En resumen, se ha observado que es conveniente usar un financiamiento no superior a 2 años para adquirir dichos equipos. Asimismo, resulta conveniente estudiar posteriormente si al usar o sustituir algunos materiales de fabricación como el cobre, que está sujeto a la inflación del país, podría reducir el costo de los equipos para ser más accesibles a la mayor parte de la población, aun sin financiamiento y así contribuir a mejorar la calidad de vida de los pobladores de esta zona.

NOMENCLATURA

A : área [m^2]
 Δp_e : incremento real en el precio de la energía
 C_p : calor específico, [$kJ/kg\ K$]
 D : diámetro exterior del tubo [m]
 e : error probabilística
 F : factor de eficiencia de la aleta
 i : tasa de interés
 I : inversión inicial
 I_r : radiación total horaria [MJ/m^2]
 \dot{m} : caudal másico [kg/s]
 n : tamaño de la muestra, periodo de tiempo considerado
 N : población, número de periodos considerados
 p : probabilidad en contra, precio actual

q : probabilidad a favor
 Q_u : calor útil [kW]
 Q_n : flujos de efectivo
 r : tipo de interés, Tasa de interés real
 S : radiación absorbida [MJ/m^2]
 T : temperatura [$^{\circ}C$]
 U_L : coeficiente total de pérdidas [$W/m^2\ K$]
 W : ancho del colector, [m]
 Z : valor de 1.96 en Tabla de distribución normal

Subíndices

a : ambiente
 c : colector
 D : demanda
 i_o : entrada, salida
 p : placa

REFERENCIAS

- DESIDERI U., PROIETTI S., SDRINGOLA P., Solar-powered cooling systems: Technical and economic analysis on industrial refrigeration and air-conditioning applications; *Applied Energy*, Vol. 86, pp. 1376-1386, 2007.
- DUFFIE J.A. y BECKMAN W.A. *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons, New York, USA, 1991.
- FLORES A., *Proyecto de Inversión para la Creación de una empresa dedicada a la fabricación de Calentadores Solares para agua en el Estado de Oaxaca, Tesis nivel Licenciatura*, ESCA Santo Tomás, Instituto Politécnico Nacional, México, 2006.
- Heliocol de México (2007).
- KERLINGER, Fred. *Investigación del Comportamiento*, Interamericana, México, 2003.
- RISTINEN R.A. and KRAUSHAAR J.J., *Energy and the environment*, John Wiley & Sons, New York, 1999.
- Banco de México. De: www.banxico.org.mx, mayo 2009.
- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas de la H. Cámara de Diputados. De: www.cefp.gob.mx, mayo 2009.
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. De: www.conae.gob.mx, marzo 2008.
- GRANADOS, L., *Calentadores de Agua, Brújula de compra de Profeco*. De: www.profeco.gob.mx, octubre, 2006.
- HOBBI A. y SIDDIQUI K., Experimental study on the effect of heat transfer enhancement devices in flat-plate solar collectors, *Int. Journal of Heat and Mass transfer*, doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2008.03.018.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. De: www.inegi.org.mx, abril 2006.
- Petróleos Mexicanos, PEMEX. De: www.gas.pemex.com, mayo 2009.

Diccionario de topografía

- Asociación Nacional de Energía Solar. De: www.anes.org, marzo 2008.