

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Tesis previa a la obtención del
Título de “Ingeniero Mecánico”

“DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y MONITOREO DE
CALENTADORES HÍBRIDOS CON ENERGÍA SOLAR-GLP
Y ENERGÍA SOLAR-CALENTADORES ELÉCTRICOS
PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA CALIENTE
SANITARIA.”

AUTORES:

Juan Carlos Jiménez Patiño

Hernán Patricio Llivichusca Chacha

DIRECTOR:

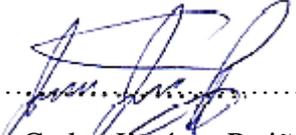
Ing. John Ignacio Calle Sigüencia, M. Sc

Cuenca, Octubre del 2014

DECLARACION

Nosotros, Juan Carlos Jiménez Patiño y Hernán Patricio Llivichusca Chacha, declaramos bajo juramento que el presente trabajo es de nuestra autoría, que no ha sido presentado previamente para ningún tema de grado o calificación personal y que hemos consultado todas las referencias bibliográficas que se adjuntan en el presente documento.

Cedemos los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de tesis, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, para fines educativos


.....
Juan Carlos Jiménez Patiño

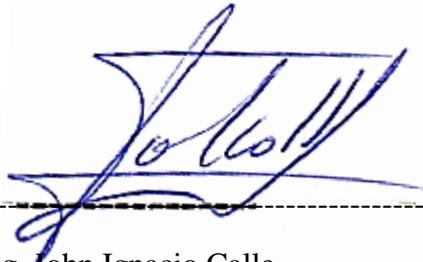

.....
Hernán Patricio Llivichusca Chacha

Cuenca, Octubre del 2014

Ing. John Ignacio Calle Sigiencia, M. Sc

CERTIFICA:

Haber dirigido y revisado cada uno de los capítulos de la presente tesis realizada por los alumnos: Juan Carlos Jiménez Patiño, Hernán Patricio Llivichusca Chacha

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'John Ignacio Calle', is written over a horizontal dashed line. The signature is stylized and cursive.

Ing. John Ignacio Calle

DIRECTOR.

DEDICATORIA

El presente proyecto es dedicado a personas de gran importancia en mi vida tales como mis padres al Ing. Juan Llivichusca y la Señora Concepción Chacha, por ser las personas que me apoyaron y me enseñaron los valores y la realidad de la vida, a la Señora Viviana Ortega mi querida esposa por ese apoyo incondicional en el día a día para lograr cada una de mis metas, a los niños Julián y Victoria Llivichusca mis hermosos hijos quienes son mi más grande tesoro y fuente de motivación.

A cada una de estas personas dedico este proyecto por el apoyo que me brindaron para la culminación de mi carrera universitaria pese a las todas adversidades.

Hernán.

Dedico este proyecto a todas las personas que aportaron de una u otra manera en mi formación académica, a mi madre por su apoyo incondicional y sus consejos, a mi esposa quien con paciencia y cariño ha sido mi inspiración para seguir adelante con esta meta.

Juan

AGRADECIMIENTO

Queremos extender nuestros más sinceros agradecimientos a todos y cada una de las personas que nos brindaron su apoyo para que el estudio de nuestro proyecto se lleve a cabo, a las familias que nos abrieron las puertas de sus domicilios para realizar el emplazamiento de los equipos.

Al Ing. John Calle quien fue nuestro director de tesis, por su guía y conocimientos aportados al desarrollo del proyecto, además al Economista Fernando Vivar, por un gran aporte al análisis técnico-financiero de nuestro proyecto.

ÍNDICE

CAPITULO I

DIAGNÓSTICO DE LA REALIDAD ACTUAL DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y GLP PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA PARA UNA FAMILIA PROMEDIO EN LA CIUDAD DE CUENCA.

1.1 Generalidades	1
1.2 Análisis de campo para establecer el nivel de consumo de energía eléctrica y GLP para obtener ACS en la Ciudad de Cuenca.....	2
1.2.1 Descripción y análisis de la muestra de la población	2
1.2.2 Toma de datos.....	4
1.3 Tabulación de datos.....	8
1.3.1 Análisis de datos	22
1.4 Demanda de agua caliente sanitaria	23
1.4.1 Consumo de Energía eléctrica para ACS en vivienda unifamiliar.	24
1.4.2 Consumo de GLP para ACS en vivienda unifamiliar.....	25

CAPITULO II

ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE EN SISTEMAS HÍBRIDOS CON ENERGÍA SOLAR UTILIZADOS PARA AGUA CALIENTE SANITARIA.

2.1 Captación de la energía solar.....	30
2.1.1 Unión europea.....	30
2.1.2 Estados Unidos	32
2.1.3 Australia.....	33
2.1.4 Japón.....	34
2.1.5 China.....	34
2.1.6 India	35
2.1.7 Israel.....	36
2.1.8 América Latina.	36
2.2 Calentadores solares.	38
2.2.1 Calentador solar de placa plana	39
2.2.2 Calentadores solares de tubos de vacío.....	41
2.2.2.1 Calentador solar de tubos de vacío (baja presión)	41
2.2.2.2 calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor (alta presión)...	43
2.3 Calentadores de paso que utilizan GLP como combustible.	44
2.4 Calentador solar híbridos de tubos de vacío - calentador de paso.....	45
2.4.1 Conexión híbrida de calentador solar de tubos de vacío y calentador de paso, conexión en serie.	45

2.4.2 Conexión híbrida de calentador solar de tubos de vacío y calentador de paso, conexión en paralelo.	47
2.5 Conexión híbrida de calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor y calentador eléctrico.....	48

CAPÍTULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA PARA UNA FAMILIA PROMEDIO EN LA CIUDAD DE CUENCA.

3.1 Localización del proyecto.....	49
3.2 Evaluación de la demanda de agua caliente sanitaria en los lugares de emplazamiento.....	49
3.3 Calculo de la demanda energética de ACS.....	50
3.4 selección del calentador solar	53
3.4.1 Calentador solar de tubos de vacío (no presurizado).....	54
3.4.1.1 Calculo de la eficiencia del calentador solar de tubos de vacío	55
3.4.1.1.1 Calculo de las pérdidas por radiación en los tubos de vacío	57
3.4.1.1.2 Cálculo de las pérdidas de calor por conducción en el tanque de almacenamiento.....	60
3.4.1.1.3 Pérdidas por conducción en la periferia del tanque.....	61
3.4.1.1.4 Pérdidas por conducción en las tapas del tanque.....	63
3.4.1.1.5 Perdidas por convección en el tanque de almacenamiento	65
3.4.1.1.6 Perdidas por radiación en el tanque de almacenamiento.....	67
3.4.2 Calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor (Presurizado).....	69
3.4.2.1 Calculo de la eficiencia del calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor.....	70
3.5 Selección del calentador de paso.....	73
3.6 Selección de la resistencia eléctrica	74
3.7 Diseño de los calentadores híbridos para la obtención de ACS.....	77
3.8 Calculo de la eficiencia de los sistemas híbridos	77
3.8.1 Eficiencia sistema hibrido calentador solar de tubos de vacío – calentador de paso (calefón).....	78
3.8.2 Eficiencia sistema hibrido calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor – calentador eléctrico.....	78
3.9 Implementación de los sistemas híbridos de calentamiento.....	79
3.9.1 Sistema hibrido, calentador solar de tubos de vacío – calentador de paso (calefón).....	79
3.9.1.1 Disposición del sistema hibrido.	81

3.9.2 Sistema híbrido, calentador solar de tubos de vacío – calentador de paso (calefón).....	83
---	----

CAPÍTULO IV

MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CALENTAMIENTO HÍBRIDOS IMPLEMENTADOS.

4.1 Tabulación de datos obtenidos	88
4.1.1 Temperatura ambiente.	88
<i>Figura 4.1 Temperatura ambiente promedio</i>	88
4.1.2 Temperatura en el tanque acumulador.....	89
4.1.3 Temperatura de ingreso del agua de la red	90
4.2 Eficiencia real y teórica del calentado solar de tubos de vacío.	91
<i>Figura 4.4 Eficiencia calentador solar de tubos de vacío</i>	91
4.3 Eficiencia real y teórica del calentado solar de tubos de vacío con tubo de calor.	92
4.4 Eficiencia real y teórica del sistema híbrido, Calentador solar de tubos de vacío – Calentador de paso	93
4.5 Eficiencia real y teórica del sistema híbrido, Calentador solar de tubos de vacío – Calentador eléctrico.....	94

CAPITULO V

ANÁLISIS TÉCNICO FINANCIERO

5.1 Análisis del sistema híbrido de calentador solar de tubos de vacío - calentador de pasos.	96
5.1.1 Inversión inicial.	96
5.1.1.1 calentador solar de tubos de vacío	96
5.1.1.2 Calentador auxiliar.	98
5.1.1.3 Materiales del sistema hidráulico para la conexión del sistema híbrido	98
5.1.2 Costos de operación.....	100
5.1.2.1 Costo de consumo de GLP en el calentador de paso	100
5.1.2.2 Consumo de energía eléctrica.	101
5.1.2.3 Costo por mantenimiento.	101
5.1.2.4 Costo por depreciación.....	101
5.2 Análisis del calentador convencional o calentador de pasos (calefón).	102
5.2.1 Inversión inicial.	102
5.2.1.1 Calentado de paso	102
5.2.1.2 sistema hidráulico.....	103
5.2.2 Costos de operación.....	104

5.2.2.1 Costo por consumo de GLP	104
5.2.2.2 Costo por mantenimiento.	105
5.2.2.3 Costo por depreciación.....	105
5.3 Evaluación económica del sistema híbrido de calentamiento, calentador solar de tubos de vacío – calentador de paso	107
5.4 Análisis del sistema híbrido de calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor - calentador eléctrico.	109
5.4.1 Inversión inicial.	109
5.4.1.1 Calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor.....	110
5.4.1.2 Calentador auxiliar (Calentador eléctrico)	111
5.4.1.3 Materiales para el sistema hidráulico.....	111
5.4.2 Costos de operación.....	112
5.4.2.1 Costo por consumo de energía (Kw/h).....	112
5.4.2.2 Costo por mantenimiento.	112
5.4.2.3 Costo por depreciación.....	112
5.5 Análisis del calentador convencional (calentador eléctrico.)	113
5.5.1 Inversión inicial.	113
5.5.1.1 Calentador eléctrico.	113
5.5.1.2 Sistema hidráulico.....	114
5.5.2 Costos de operación.....	114
5.5.2.1 Costo por consumo de energía (Kw/h).....	114
5.5.2.2 Costo por mantenimiento.	115
5.5.2.3 Costo por depreciación.....	115
5.6 Evaluación económica del sistema híbrido de calentamiento, calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor – calentador eléctrico.....	116
CONCLUSIONES.....	119
RECOMENDACIONES.....	122
BIBLIOGRAFÍA.....	123
ANEXOS	126
Anexo A.....	126
Anexo B.....	129

CAPÍTULO I

DIAGNÓSTICO DE LA REALIDAD ACTUAL DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y GLP PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA PARA UNA FAMILIA PROMEDIO EN LA CIUDAD DE CUENCA.

1.1 Generalidades

Los calentadores de agua convencionales tienen la capacidad de calentar volúmenes constantes de agua en un lapso de tiempo muy corto y de manera constante, para ello necesitan de una fuente de energía, dicha fuente de energía puede ser electricidad, GLP, o gas natural.

En la actualidad pese a las prohibiciones del gobierno de turno de la importación de calefones de agua que utilicen GLP como combustible, existe un gran número de la población que utiliza dichos calentadores, teniendo como consecuencia el aumento del consumo de GLP de uso doméstico a una tasa de crecimiento anual del 6%. [1]

Ecuador destina un alto porcentaje de su gasto público a subsidios entre los cuales está al GLP, Los precios de producción e importación del GLP son altamente superiores a los precios de venta interna, por lo que el gas tiene un subsidio muy alto; pues el cilindro de 15 kilogramos se vende a US\$1,60 mientras que el costo real es de US\$12, lo que equivale a un subsidio del 650% frente a su precio real. [2]

Otra de las formas comunes de calentamiento de agua para uso sanitario es mediante el uso de las llamadas duchas eléctricas las cuales utilizan como fuente de energía la electricidad, estos dispositivos de calentamiento consumen altos niveles de energía, en su nivel de calentamiento máximo alcanzan un consumo de 5,5 [KW].

La investigación de campo de la realidad actual de consumo de energías no renovables GLP y energía eléctrica se la va a realizar mediante un muestreo de la población. Por otra parte se va a investigar y recopilar datos de fuentes primarias como el inec, la dirección de hidrocarburos y la empresa eléctrica, los cuales serán tabulados para la obtención de resultados específicos de consumo de energía

1.2 Análisis de campo para establecer el nivel de consumo de energía eléctrica y GLP para obtener ACS en la ciudad de Cuenca

Para la obtención de la muestra es necesario definir la población, el escenario sobre el cual se va a trabajar, el sector y los segmentos, a los cuales se los va a clasificar de la siguiente manera:

Población: Ciudad de Cuenca

Segmentación: Vivienda familia promedio (5 miembros)

-Vivienda Unifamiliar

-Condominios o Apartamentos

1.2.1 Descripción y análisis de la muestra de la población

La exactitud de los datos obtenidos por las encuestas realizadas a los consumidores de GLP y energía eléctrica dependerá en gran manera de la muestra apropiada de la población, para ello es necesario definir de manera exacta estas dos variables, esto se va a lograr mediante la obtención de datos de fuentes primarias como el inec

Número de habitantes del cantón Cuenca: **505.585** hab.

Número de habitantes en la zona Urbana: **331.888**hab.

Según el INEC En la ciudad de Cuenca en la Zona urbana existen 68.117 hogares, como se muestra en la tabla 1.1 [3]

Provincia	Número de Hogares Zona Urbana
Quito	376.054
Guayaquil	442.762
Cuenca	68.117
Machala	51.088

Tabla 1.1 Número de hogares Zona urbana [4]

Con los datos obtenidos de la población como siguiente paso nos queda calcular el tamaño de la muestra, para lo cual se va a utilizar formula estadística 1 [5]

$$n = \frac{Z^2 pqN}{E^2(N - 1) + Z^2 pq} \quad (1.1)$$

Donde:

Z= Nivel de Confianza

p= Probabilidad de éxito

q= Probabilidad de fracaso

N= Población

E= Limite de error

Límite de Error (E)

%	valor
10	0,1
9	0,09
8	0,08
7	0,07
6	0,06

Nivel de confianza (z) [6]

$1-\alpha$	90%	92%	94%	95%	96%	97%	98%	99%
α	10%	8%	6%	5%	4%	3%	2%	1%
$z_{\alpha/2}$	1,645	1,751	1,881	1,960	2,054	2,170	2,326	2,576
z_{α}	1,282	1,405	1,555	1,645	1,751	1,881	2,054	2,326

Siendo:

$1-\alpha$ = Nivel de confianza
 α = Nivel de significación

Probabilidad de éxito (p), fracaso (q)

p	q	
0,9	0,1	1
0,8	0,2	1
0,7	0,3	1
0,6	0,4	1
0,5	0,5	1
0,4	0,6	1
0,3	0,7	1
0,2	0,8	1
0,1	0,9	1

Tomando los valores tabulados procedemos a reemplazar en la formula estadística 1

$$n = \frac{2.17^2 * 0.5 * 0.5 * 68.117}{0.06^2 * (66000 - 1) + 2.17^2 * 0.5 * 0.5} = 325.4$$

El tamaño de la muestra que se obtiene es de 325, siendo este el número de viviendas a ser encuestadas dentro de la zona urbana de la ciudad de Cuenca.

1.2.2 Toma de datos

Para el levantamiento de datos se elaboró una encuesta considerando los puntos que a continuación se detallan:

Objetivo General

- ❖ Diagnosticar la realidad actual de consumo de energía eléctrica y GLP para el calentamiento de agua sanitaria para una familia promedio en la ciudad de Cuenca.

Objetivo Especifico

- ❖ Determinar el tipo de Vivienda
- ❖ Determinar el número de habitantes por vivienda
- ❖ Determinar el consumo de tanques de GLP al mes
- ❖ Determinar el consumo de energía eléctrica al mes
- ❖ Determinar el tipo de medio de calentamiento de agua
- ❖ Determinar el tipo de cocina
- ❖ Determinar la frecuencia y tiempo de baño de los habitantes de la vivienda

Población a ser encuestada

- ❖ Habitantes de la zona residencial de la ciudad de Cuenca

Escenario a Evaluar

- ❖ Viviendas unifamiliares de la zona residencial de la ciudad de Cuenca

Técnica de recolección de datos

- ❖ De opción múltiple

Para la obtención de datos reales y su posterior tabulación será necesario encuestar de manera directa a los usuarios de GLP y energía eléctrica en el escenario antes mencionado para lo cual surge la necesidad de la elaboración de una encuesta cuyo formato se muestra a continuación:

Encuesta

La presente encuesta tiene por objeto recolectar datos que permitan interpretar la realidad actual del consumo de GLP y Energía eléctrica para la producción de agua caliente sanitaria en la ciudad de Cuenca. Los datos recolectados serán utilizados para el desarrollo de un proyecto de grado de la carrera de Ingeniería Mecánica en la UPS, con el fin de propiciar el uso de energía solar para el calentamiento de agua sanitaria.

Le solicitamos responda con la mayor veracidad posible a las siguientes preguntas.

1. Tipo de vivienda (marque con X)

Unifamiliar..... Departamento

2. Número de Habitantes

Uno..... Dos..... Tres..... Cuatro.... Cinco..... Otro....

3. Tipo de sistema de distribución de gas de su domicilio.

Tipo	Consumo Mensual
Tanques de 15 Kg (número de tanques)
Sistema Centralizado (dólares)

4. Qué tipo de calentador de agua ocupa en su vivienda

Calefón a gas..... Ducha Eléctrica..... Solar.....

5. Qué tipo de cocina tiene usted en su vivienda

Cocina a gas..... Cocina Eléctrica..... Otro.....

6. Cuál es el consumo promedio mensual de Energía Eléctrica en su vivienda

.....(Dólares)

7. **Indique la frecuencia de consumo de Energía Eléctrica en su casa**

	Frecuencia (Horas por día)
Refrigerador	
Microondas	
Licuadaora	
Plancha	
Televisión	
Computadora	

8. **Con que Frecuencia utiliza agua caliente en las siguientes actividades:**

Aseo personal

NIÑOS		
	Veces por día	Tiempo estimado (minutos)
Ducha		
Lavamanos		
ADULTOS		
	Veces por día	Tiempo estimado (minutos)
Ducha		
Lavamanos		

Usos Domésticos

	Uso domestico	
Uso	Veces por día	Tiempo estimado (minutos)
Lavado de vajilla		
Lavadora		

9. **Estaría usted dispuesto a cambiar su convencional sistema de calentamiento de agua por un sistema hibrido que utilice energía solar**

Si..... No.....

Argumente su respuesta

1.3 Tabulación de datos

Luego de la aplicación de las encuestas en los diferentes hogares de la ciudad de Cuenca se tabula, los datos obtenidos para su interpretación.

1. Tipo de vivienda

	Frecuencia	Porcentaje
Unifamiliares	192	59%
Departamento	133	41%
Total	325	100%

Tabla 1.2 Tipo de vivienda

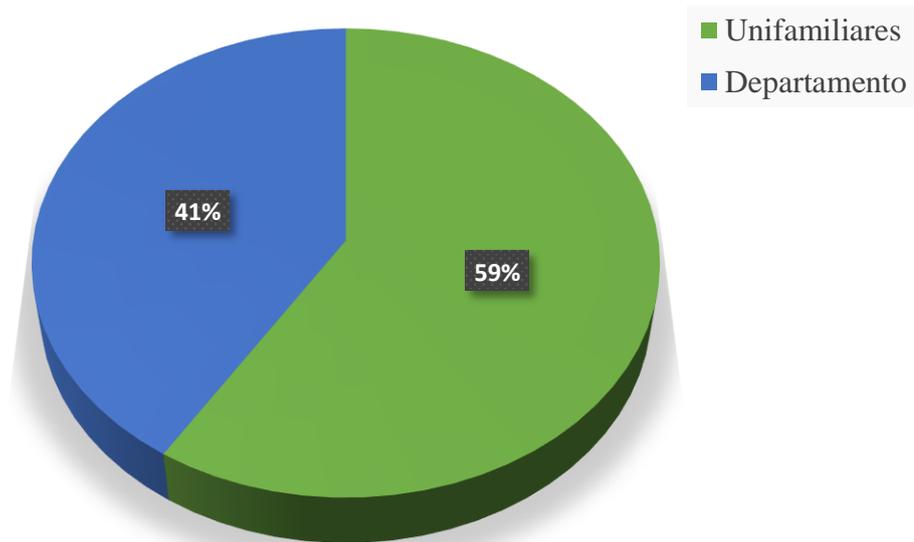


Figura 1.1 Tipo de vivienda

2. Número de Habitantes

	Frecuencia	Porcentaje
Uno	21	6%
Dos	45	14%
Tres	71	22%
Cuatro	96	30%
Cinco	82	25%
Otro	10	3%
Total	325	100%

Tabla 1.3 Número de habitantes

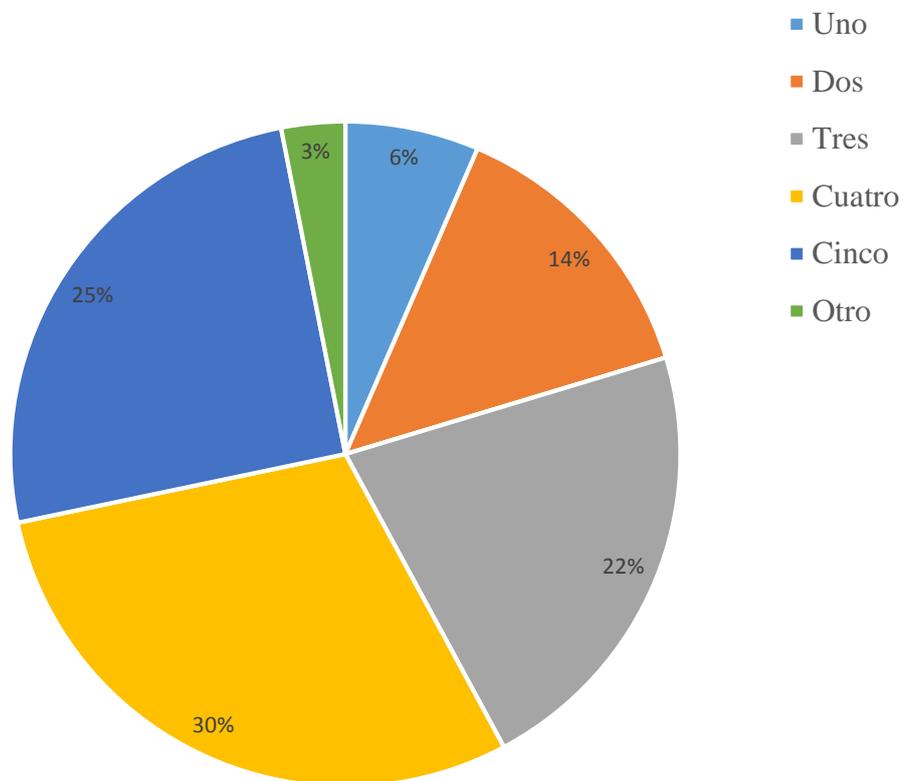


Figura 1.2 Número de habitantes por vivienda

3. Tipo de sistema de distribución de GLP del domicilio.

	Frecuencia	Porcentaje
Tanque de 15kg	301	93%
Sistema Centralizado	24	7%
Total	325	100%

Tabla 1.4 Sistema de distribución de gas

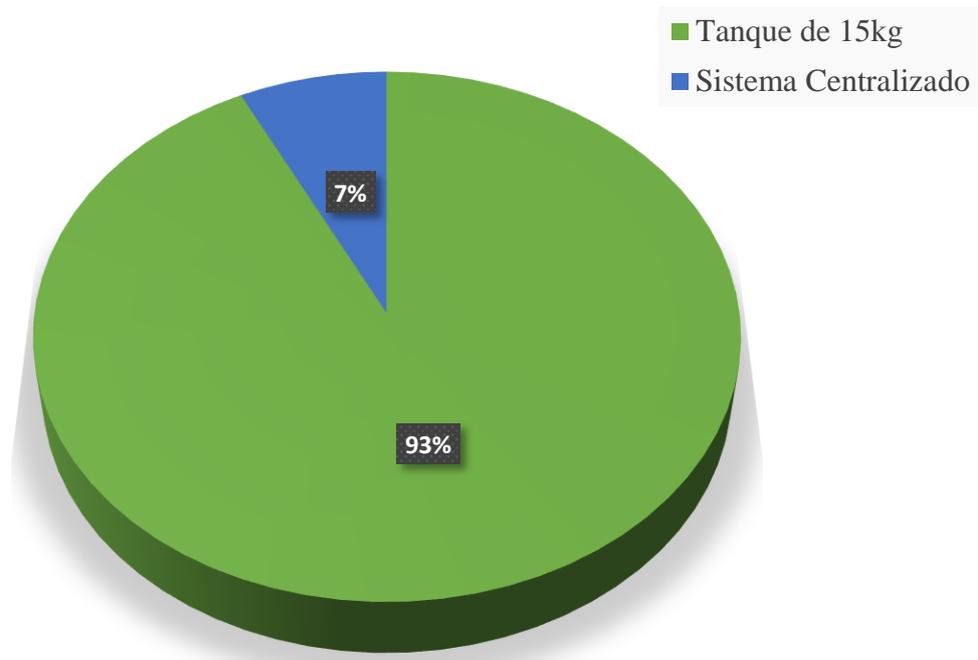


Figura 1.3 Tipo de sistema de distribución de gas

Consumo promedio mensual de tanques de gas.

	Frecuencia	Porcentaje
Uno	64	20%
Dos	157	48%
Tres	48	15%
Cuatro	40	12%
Cinco	16	5%
Total	325	100%

Tabla 1.5 Consumo de tanques de gas

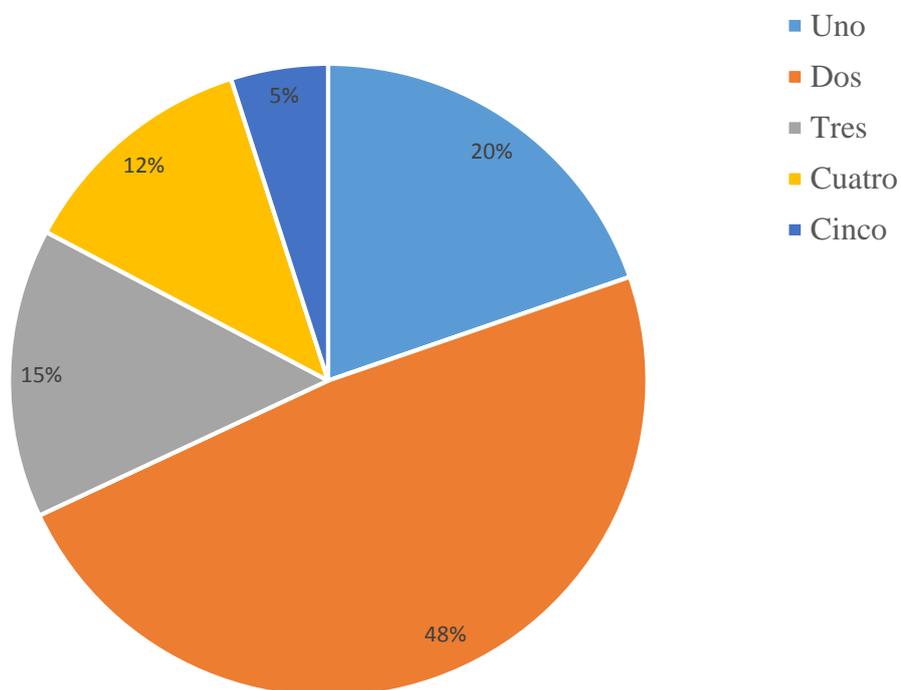


Figura 1.4 Consumo de tanques de gas

4. Qué tipo de calentador de agua ocupa en la vivienda

	Frecuencia	Porcentaje
Calefón	277	85%
Ducha Eléctrica	45	14%
Solar	3	1%
Total	325	100%

Tabla 1.6 Tipo de calentador de ACS

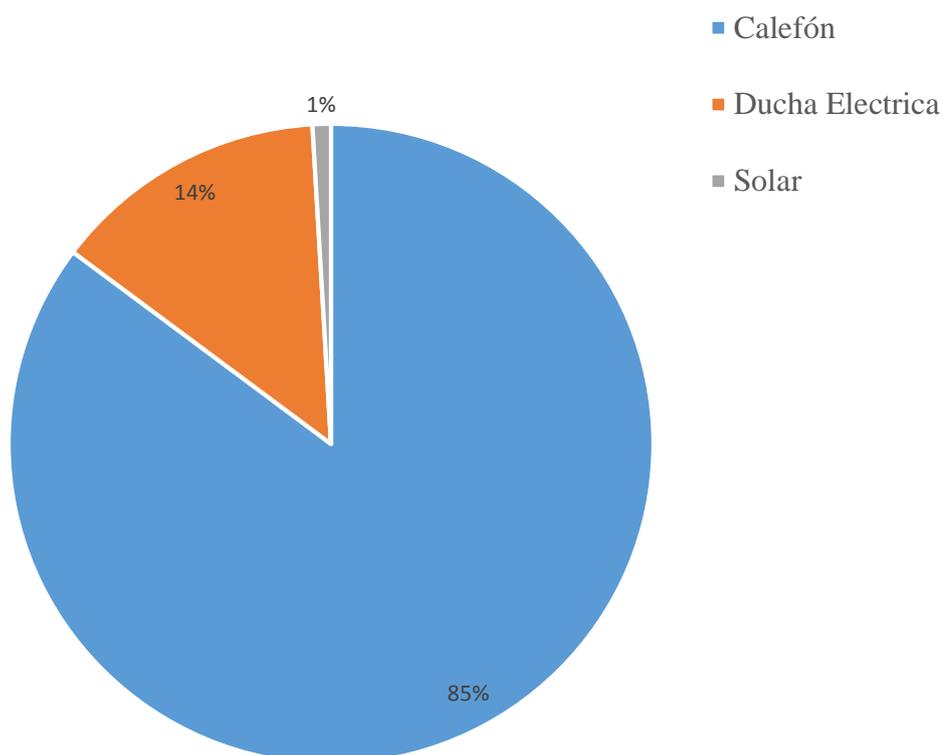


Figura 1.5 Tipo de calentadores de ACS

5. Qué tipo de cocina tiene en la vivienda

	Frecuencia	Porcentaje
Cocina a Gas	319	98%
Cocina eléctrica	6	2%
Total	325	100%

Tabla 1.7 Tipo de vivienda

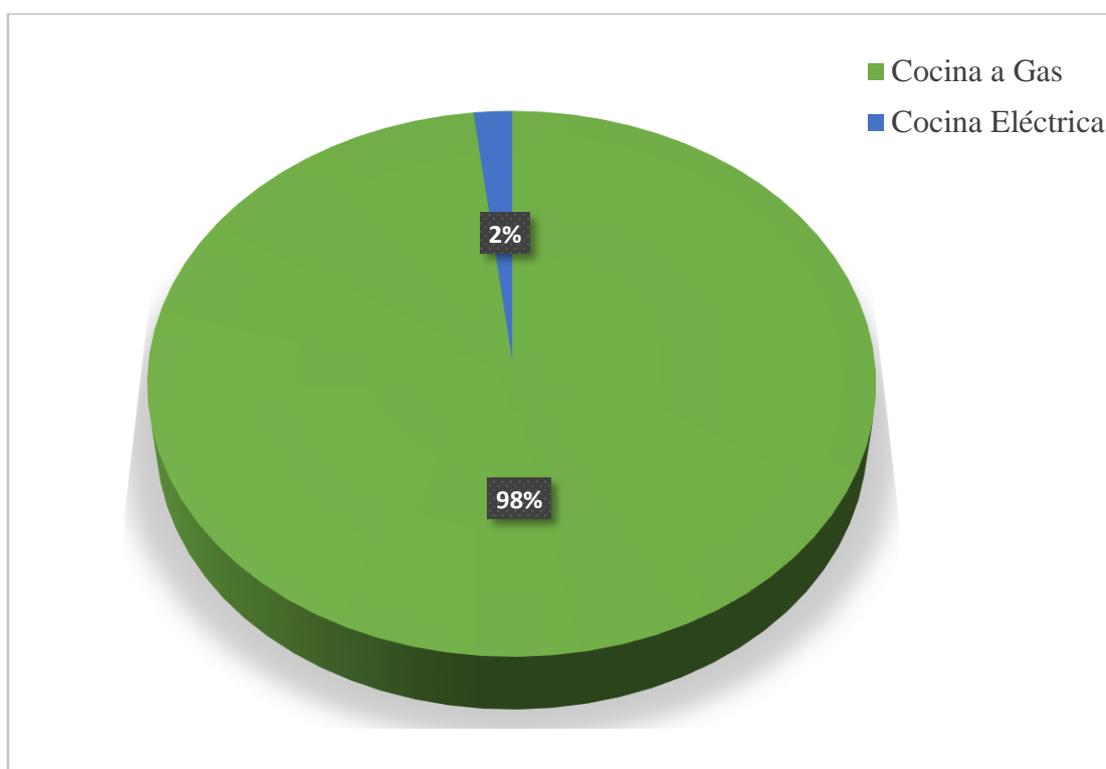


Figura 1.6 Tipo de vivienda

**6. Consumo promedio mensual de energía eléctrica en la vivienda
(dólares \$)**

	Frecuencia	Porcentaje
5 a 10	12	4%
10 a 15	87	27%
15 a 20	104	32%
20 a 25	48	15%
25 a 30	41	13%
30 a 35	22	7%
35 a 40	11	3%
Total	325	100%

Tabla 1.8 Consumo mensual de energía

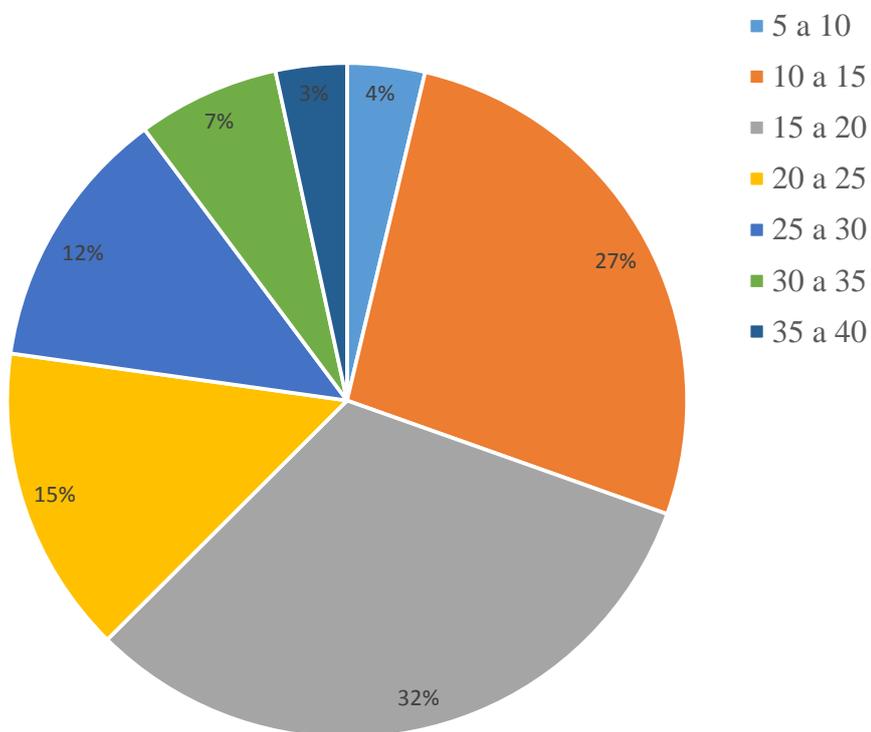


Figura 1.7 Consumo mensual de energía

7. Frecuencia de uso de agua caliente en aseo personal (duchas)

Veces por semana:

	Frecuencia	Porcentaje
2	34	11%
3	97	26%
4	76	22%
5	51	15%
6	30	7%
7	37	11%
Total	325	100%

Tabla 1.9 Frecuencia de uso de ACS por semana

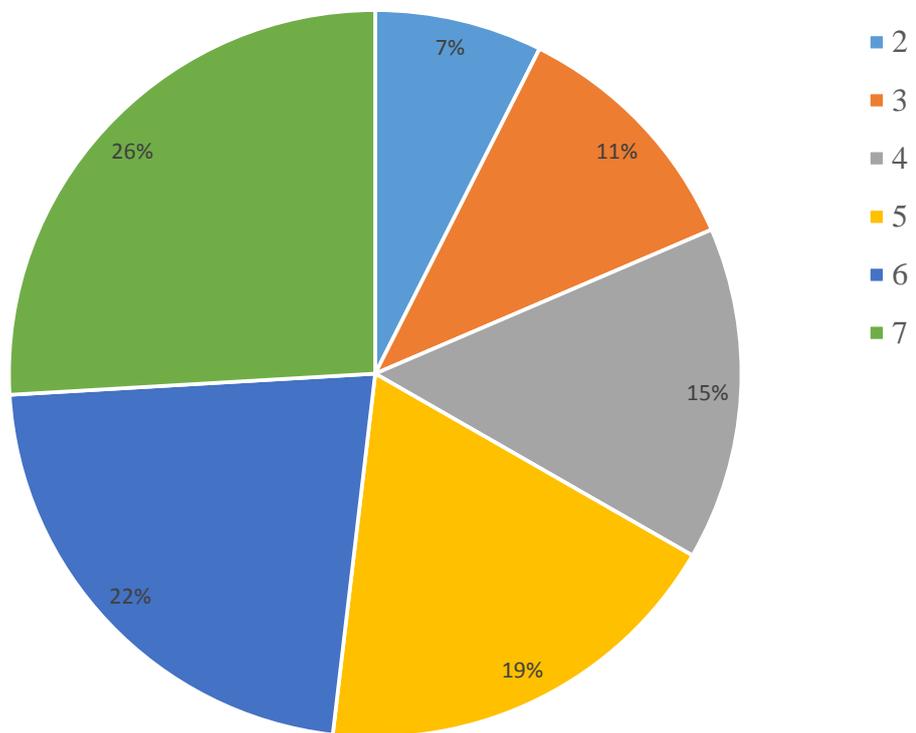


Figura 1.8. Frecuencia de uso de ACS por semana

Tiempo estimado:

	Frecuencia	Porcentaje
5 a 10	281	87%
10 a 15	33	10%
15 a 20	11	3%
Total	325	100%

Tabla 1.10 Tiempo estimado de uso del ACS en duchas

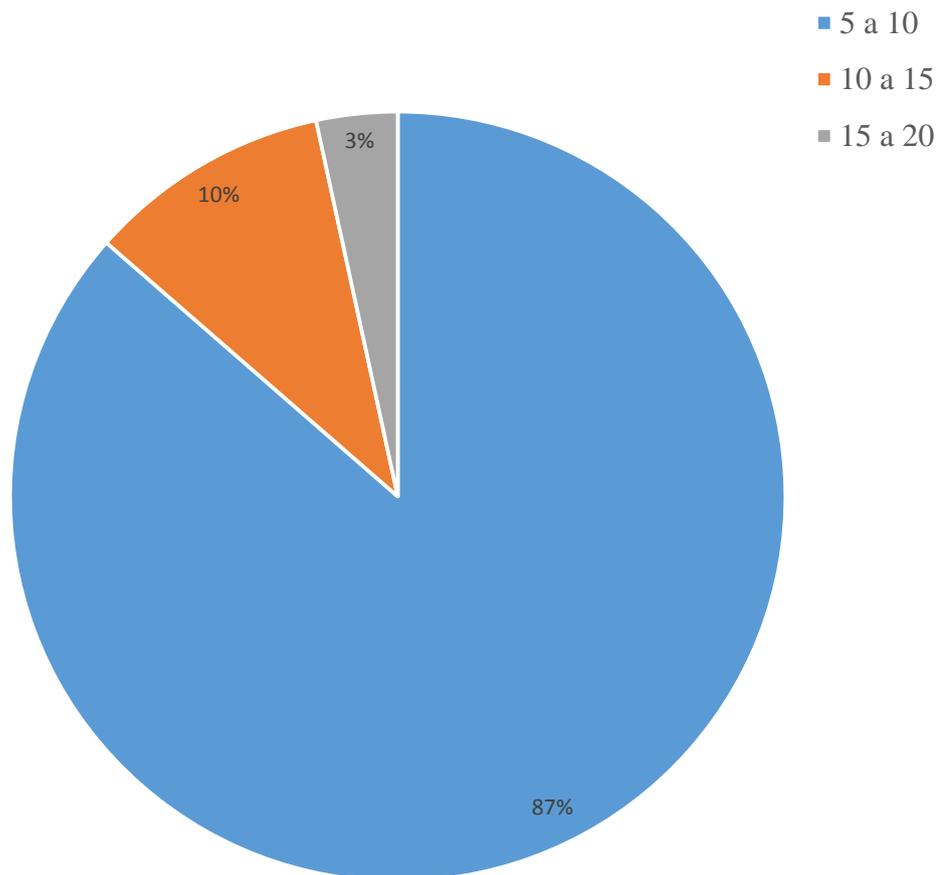


Figura 1.9. Tiempo estimado de uso de ACS en duchas

8. Frecuencia de uso de agua caliente en uso personal (lavamanos)

Veces por día

	Frecuencia	Porcentaje
1	198	61%
2	69	21%
3	3	1%
No utiliza	55	17%
Total	325	100%

Tabla 1.11 Frecuencia estimada de uso de ACS lavamanos

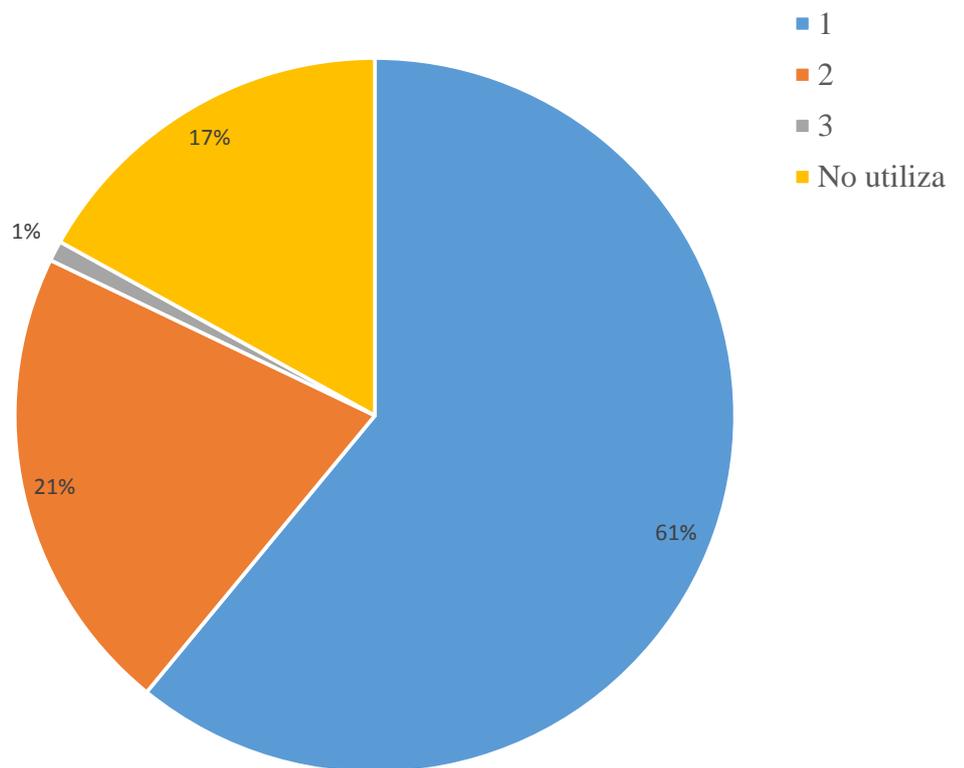


Figura 1.10 Frecuencia estimada de uso de ACS lavamanos

Tiempo estimado:

	Frecuencia	Porcentaje
1 a 3	242	74%
3 a 5	28	9%
No utiliza	55	17%
Total	325	100%

Tabla 1.12 Tiempo estimado de uso del ACS

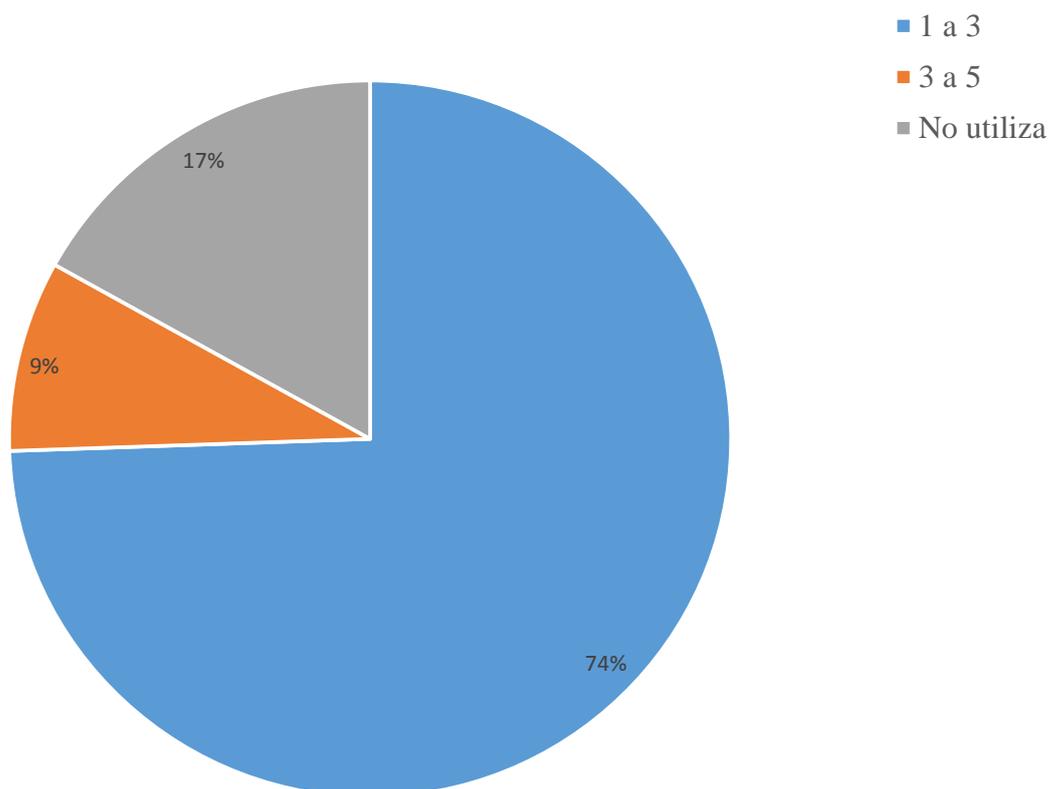


Figura 1.11 Tiempo estimado de uso de ACS lavamanos

9. Frecuencia de uso de agua caliente en uso doméstico.

Veces por día

	Frecuencia	Porcentaje
1	125	38%
2	112	34%
3	23	7%
No utiliza	65	20%
Total	325	100%

Tabla 1.13 Uso doméstico del ACS por día

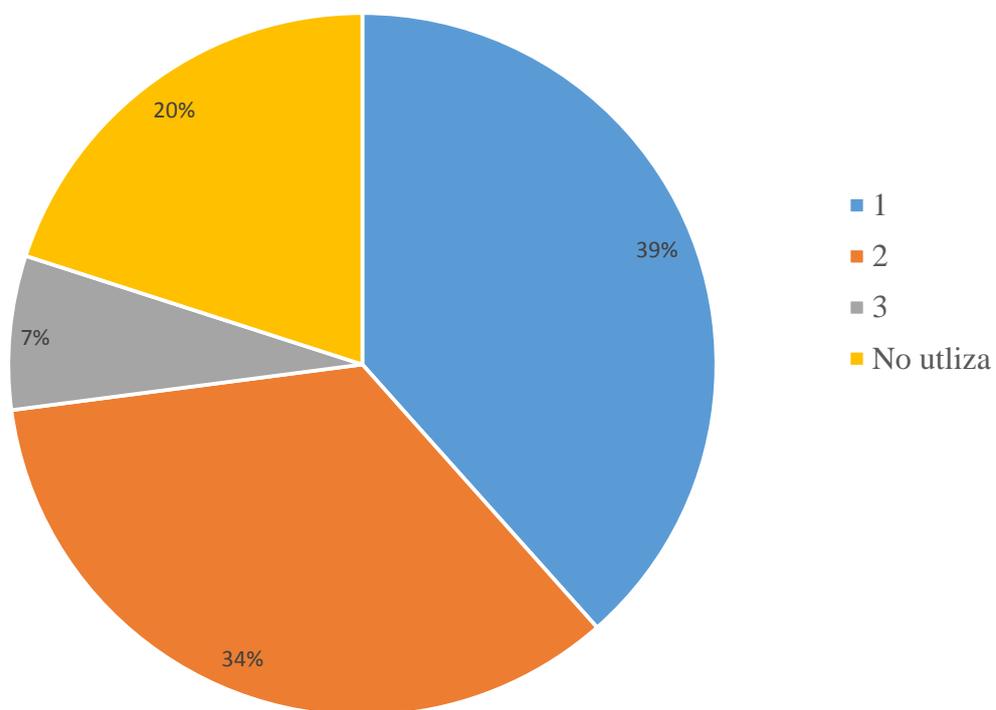


Figura 1.12 Uso doméstico del ACS por día

Tiempo estimado:

	Frecuencia	Porcentaje
1 a 3	78	24%
3 a 5	97	30%
5 a 10	85	26%
No utiliza	65	20%
Total	325	100%

Tabla 1.14 Tiempo estimado de uso del ACS uso doméstico

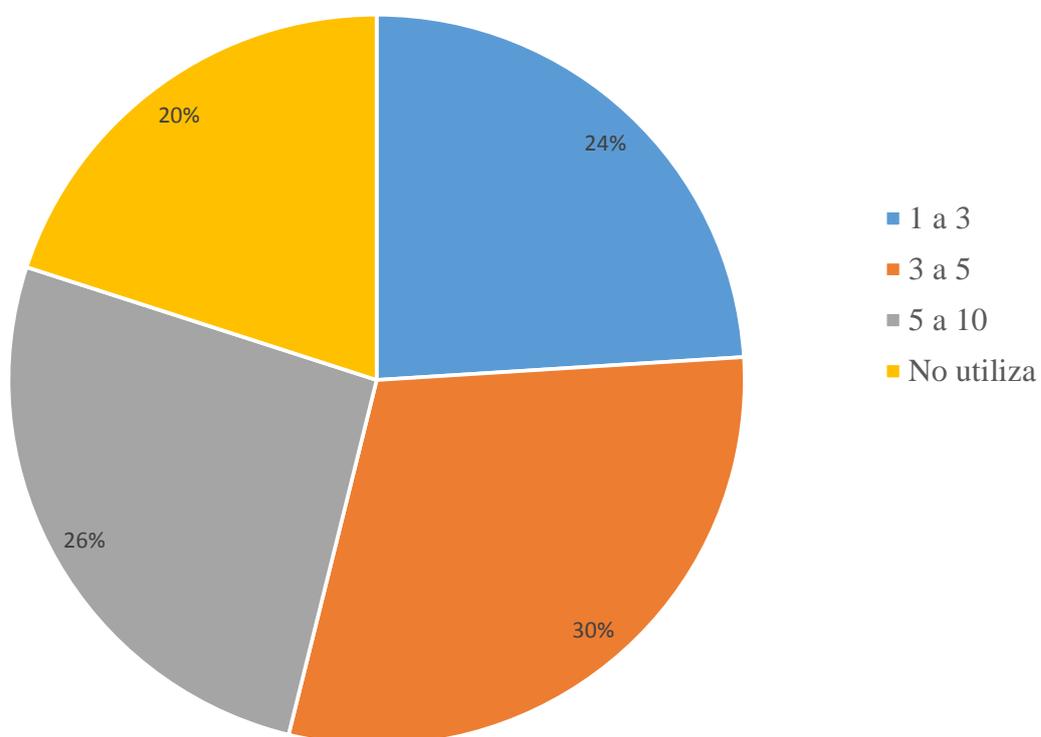


Figura 1.13 Tiempo estimado de uso de ACS uso doméstico

10. Estaría usted dispuesto a cambiar su convencional sistema de calentamiento de agua por un sistema híbrido que utilice energía solar

	Frecuencia	Porcentaje
Si	317	98%
No	8	2%
Total	325	100%

Tabla 1.15 Nivel de aceptación de calentador solar

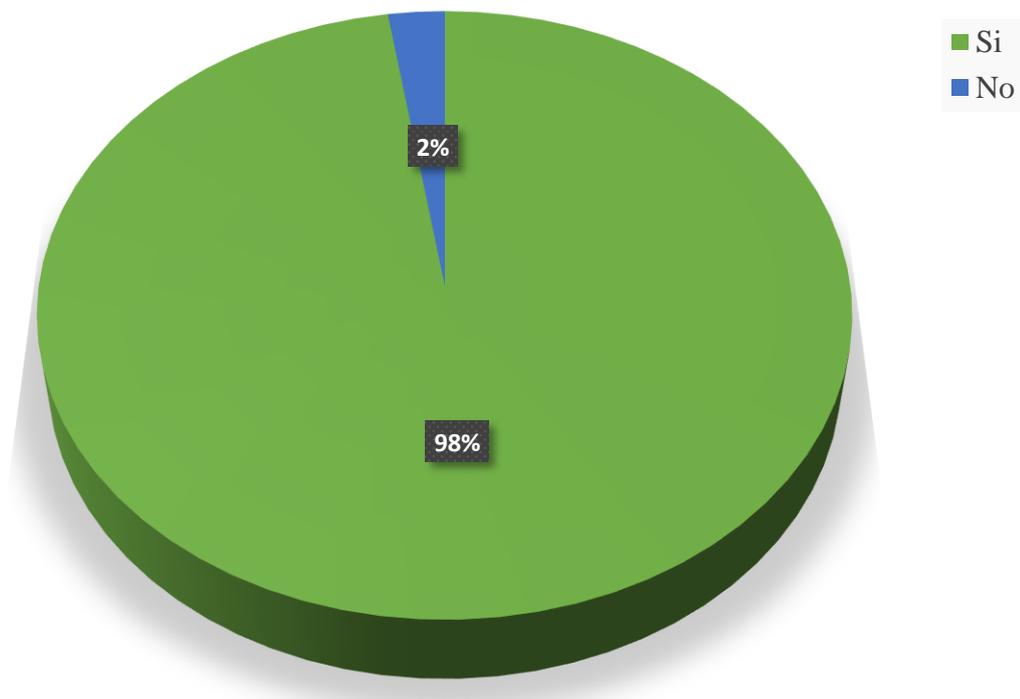


Figura 1.14 Nivel de aceptación calentador solar

1.3.1 Análisis de datos

El mayor número de viviendas en el sector urbano de la ciudad de Cuenca es unifamiliar con el 59% de la muestra, el 41% corresponde a viviendas divididas en departamentos.

El número de habitantes por vivienda en la zona urbana alcanza un valor del 30% que corresponde a 4 habitantes por vivienda, siendo este el valor más alto, el 25% corresponde a cinco habitantes por vivienda

Un 93% de viviendas ocupa un tanque de GLP de 15 Kg para la distribución de gas en sus hogares, mientras que un 7% cuenta con sistema centralizado, el sistema centralizado, se lo encuentra únicamente en las viviendas de departamentos, el consumo de tanques de GLP de 15 Kg varía en gran manera dependiendo del número de habitantes de la vivienda, el número de tanques con mayor frecuencia de consumo es de dos tanques al mes que corresponde al 48% de la muestra, mientras que un 20% de la muestra ocupa un tanque al mes.

Los calentadores de paso o calefones que utilizan GLP como fuente de combustible son ocupados por la gran mayoría de las viviendas con un 85% de la muestra, las duchas eléctricas son utilizadas por un 14% de viviendas, mientras que los calentadores solares son ocupados apenas por un 1% de la muestra,

Las cocinas a gas son utilizadas por la mayoría de las viviendas con un 98% de las viviendas, solo el 2% ocupa cocinas eléctricas, esto debido a su alto consumo de energía, mismo que varía en gran medida esto debido a la cultura de consumo de las personas, un 32% de las viviendas consume un valor promedio de entre quince a veinte dólares americanos al mes, siendo este el valor mayor de consumo, el 27% de las viviendas consume un valor de entre diez a quince dólares americanos al mes.

Para el aseo persona, el uso de ACS en duchas se tiene valores de frecuencia de tres veces por semana con un promedio del 26% que es la frecuencia de mayor uso, seguido del 22% que corresponde a un valor de frecuencia de 4 veces por semana

El tiempo estimado que se utiliza para el aseo personal en la ducha es del 87% para la mayoría de viviendas, este valor corresponde a la frecuencia de entre cinco a diez

minutos, la frecuencia de entre diez y quince minutos tiene un porcentaje del 10%, mientras que un 3% lo hace en un tiempo de entre 15 a 20 minutos.

El uso de ACS en los lavamanos es muy común hoy en día debido a las bajas temperaturas, el 61% de la muestra de la población utiliza ACS por lo menos una vez al día, el 21% lo hace dos veces al día, en la mañana y en la noche, el 1% ocupa tres veces al día ACS en los lavamanos, el 17% no utiliza agua caliente en los lavamanos, debido a que solo cuentan con agua caliente en las duchas, el tiempo estimado de uso de ACS en los lavamanos es menor al tiempo utilizado en las duchas, el 74% de las viviendas de la muestra lo hacen en un tiempo de uno a tres minutos, el 9% de las viviendas ocupa un tiempo de entre tres a cinco minutos.

El ACS para uso doméstico en los lavavajillas, en donde se puede observar valores de frecuencia de una vez al día con un porcentaje del 39% mientras que con un valor muy cercano esta el 34% con una frecuencia de dos veces al día, un 7% de las viviendas ocupan el ACS para lavavajilla con una frecuencia de tres veces por día, el tiempo estimado que utilizan el ACS para lavavajilla es de uno a tres minutos con un 30% de viviendas, el 36% de las viviendas lo hace en un tiempo de entre tres a cinco minutos, un 34% de las viviendas se demora de cinco a diez minutos para lavar la vajilla.

Con un porcentaje del 98% de las viviendas de la muestra está de acuerdo en cambiar su sistema tradicional por uno solar, solamente el 2% no está de acuerdo por desconocimiento de los mismos.

1.4 Demanda de agua caliente sanitaria

Con los datos obtenidos de la encuesta realizada en la zona urbana de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay se calcula el consumo promedio de energía en las viviendas en las cuales se encuentran emplazados los calentadores.

La cantidad de agua caliente sanitaria que se utiliza por día en las viviendas está dado por la tabla 1.16

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C
Viviendas unifamiliares	30 por persona
Viviendas multifamiliares	22 por persona
Hospitales y clínicas	55 por cama
Hotel ****	70 por cama
Hotel ***	55 por cama
Hotel/Hostal **	40 por cama
Camping	40 por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35 por cama
Residencia (ancianos, estudiantes,...)	55 por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15 por servicio
Escuelas	3 por alumno
Cuarteles	20 por persona
Fábricas y talleres	15 por persona
Administrativos	3 por persona
Gimnasios	20 a 25 por usuario
Lavanderías	3 a 5 por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10 por comida
Cafeterías	1 por almuerzo

Tabla 1.16 Cantidad de agua ACS por persona. [7]

1.4.1 Consumo de Energía eléctrica para ACS en vivienda unifamiliar.

Para establecer el consumo de energía eléctrica, para la obtención de agua caliente sanitaria es necesario tomar en cuenta algunas consideraciones:

- La energía eléctrica para la obtención de ACS es utilizada únicamente en los calentadores de punto o duchas
- El consumo de energía de las duchas eléctricas depende del tiempo estimado que se ocupe el agua caliente en la ducha.
- El consumo de energía también varía dependiendo de la marca de la ducha, y su potencia, existen en el mercado duchas desde 1500W hasta 5000W.

Tomando en cuenta estas consideraciones y los valores obtenidos en las encuestas se calcula la demanda energética diaria, la misma que esta expresada por la siguiente fórmula.

$$Co_p = t * C * Co \quad (1.2)$$

Donde:

(t) Tiempo aproximado de uso de agua caliente por persona al día: 15 minutos.

(C) Costo del KW-h ($0,127 \frac{\text{Dolares}}{\text{Kw-h}}$).

(Co) Potencia de consumo de las duchas eléctricas (4000W)

Reemplazando los valores en la ecuación nos queda:

$$Co_p = 15 \text{ minutos} * 0,127 \frac{\text{Dolares}}{\text{Kw-h}} * 5\text{Kw} * \frac{1\text{h}}{60 \text{ minutos}}$$

$$Co_p = 0,16 \frac{\text{dolares}}{\text{persona - dia}}$$

El valor obtenido es de 0,16 dólares por persona al día, este valor al ser multiplicado por el número de habitantes promedio de una vivienda de la ciudad de Cuenca que es de alrededor de cinco personas, nos da un valor de 0,80 dólares al día por vivienda, por lo tanto para el calentamiento de ACS en una familia promedio se pagaría un valor mensual de 24 dólares.

1.4.2 Consumo de GLP para ACS en vivienda unifamiliar.

Para el cálculo del consumo de GLP que se utiliza para el calentamiento de agua sanitaria es necesario estimar el caudal de gas utilizado, para lo cual se utiliza la siguiente expresión:

$$Q = \frac{\text{Potencia nominal total}}{P C S} \quad (1.3)$$

De donde PCS es el poder calorífico superior del GLP que tiene un valor de 11900 [Kcal/Kg]. Para la obtención de la potencia nominal total necesitamos saber el consumo calorífico de los calentadores de paso o calefones, este valor se muestra en la tabla 1.17

Artefacto	Cantidad	Consumo calorífico		
		BTU/h	Kcal/h	kW
Cocina	1	48000	12000	14
Secadora de Ropa	1	20800	5200	6
Calefón	1	39904	10000	11,6
Calentador de Agua	1	120056	30000	34,9

Tabla 1.17 Consumo calorífico de artefactos [8]

La potencia nominal se calcula mediante el uso del consumo calorífico multiplicado por un factor de simultaneidad, el cual nos sirve para calcular la potencia de cálculo de varias instalaciones en una vivienda, el fs para una vivienda unifamiliar que cuenta con calefón y cocina en nuestro caso es de 1, como se muestra en la tabla 1.18.

$$Potencia\ nominal\ total = 10000 \frac{Kcal}{h}$$

Con este valor se procede a reemplazar en la ecuación 1.3

$$Q = \frac{10000 \frac{Kcal}{h}}{11900 \frac{Kcal}{Kg}} = 0,84 \frac{Kg}{h}$$

FACTORES DE SIMULTANEIDAD				
Abreviatura: C = Calefactor; Ca = Calefón y Co = Cocina				
Cantidad de instalaciones interiores	Co	Ca - Co	Ca - Co - C	Otros
1	1,00	1,00	1,00	1,00
2	0,50	0,82	0,84	0,93
3	0,73	0,63	0,57	0,76
4	0,64	0,54	0,59	0,66
5	0,58	0,43	0,54	0,61
6	0,54	0,43	0,49	0,57
7	0,50	0,40	0,46	0,54
8	0,43	0,38	0,45	0,51
9	0,46	0,36	0,43	0,49
10	0,44	0,34	0,41	0,48

Tabla 1.18 Factor de simultaneidad [8]

De las encuestas realizadas se toma el valor de 15 minutos que es el tiempo aproximado que una persona ocupa el ACS por día, al multiplicar este valor por el obtenido en la ecuación 3, se obtiene el caudal total de GLP por persona al día.

$$Q = 0,84 \frac{Kg}{h} * \frac{1h}{60 minutos} * \frac{15 minutos}{dia} = 0,21 \frac{Kg}{dia - persona}$$

Para saber el valor monetario del kilogramo de GLP se divide el precio estándar que es de 1,60 dólares para los 15 kg que contiene un tanque estándar.

$$Precio Kg = \frac{1,60\$}{15Kg} = 0,10 \frac{\$}{Kg}$$

Nuestro estudio se basa en una vivienda unifamiliar con cinco miembros por lo que el valor de caudal se debe multiplicar por cinco, y por el precio de kilogramo de GLP para obtener el costo diario de ACS como se muestra a continuación.

$$Consumo total de GLP = 0,10 \frac{\$}{Kg} * 5 personas * 0,21 \frac{kg}{dia - persona} = 0,105 \frac{\$}{dia}$$

Por lo tanto el valor diario necesario por vivienda con una cantidad de cinco miembros es de 0,105 dólares, si multiplicamos este valor por treinta días de un mes obtenemos un valor de 3,15 dólares lo cual representa un consumo de 1,96 tanques de gas de 15 kg.

CAPÍTULO II

ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE EN SISTEMAS HÍBRIDOS CON ENERGÍA SOLAR UTILIZADOS PARA AGUA CALIENTE SANITARIA.



Debido al rápido y continuo crecimiento poblacional, las reservas de combustibles fósiles comienzan a disminuir a un ritmo acelerado, surge entonces la necesidad de un plan de ahorro energético que permita la utilización de combustibles alternativos, como la energía solar.

Las acciones en materia de ahorro y eficiencia energética, implantación de energías renovables, cumplen un doble papel en tanto que contribuyen a la reducción del desequilibrio medio ambiental y socioeconómico.

En primer lugar mitigan los efectos y riesgos climáticos, previniendo la contaminación en el aire, al reducir las emisiones de CO₂, el segundo en lo relacionado al desequilibrio socioeconómico al disminuir el consumo de combustibles fósiles y de electricidad, generando así un ahorro en la factura energética

El uso de energías renovables ha experimentado un incremento en desarrollo tecnológico siendo cada vez más fiables y con un alto rendimiento, lo que ha llevado

a que su producción, comercialización e implementación aumente constantemente tanto para uso doméstico como para la industria.[9]

2.1 Captación de la energía solar

En la década de los 70 se empezó a utilizar la energía solar como una de las principales opciones para el uso en beneficio de las personas, países como Estados Unidos, Francia, Alemania, España, presentan gran atención al uso de la energía solar con fines térmicos y fotovoltaicos e introducen importantes porcentajes de generación energética mediante esta fuente.

2.1.1 Unión europea

Hasta el año 2010, en Europa se instalaron 3.753.644 m² de colectores solares térmicos, equivalente a 2.160 MW, lo que significó un crecimiento del 44% sobre el año anterior, como se muestra en la figura 2.1

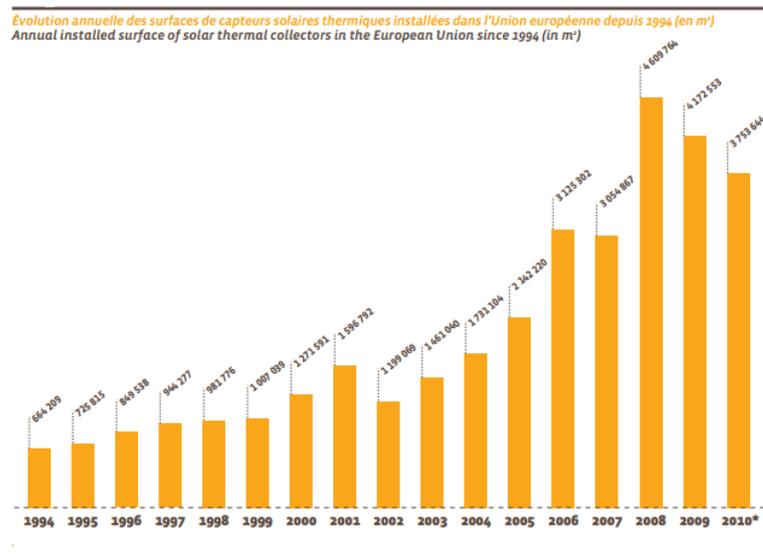


Figura 2.1 Colectores solares térmicos instalados en la Unión Europea (m²)[10]

Este crecimiento se explica por la crisis energética que enfrenta actualmente Europa y por la voluntad política de algunos países para desarrollar el sector. [10]

En la figura 2.2 se muestra que un 86,5% los colectores planos con cubierta representan la componente principal de la energía solar térmica del mercado Europeo, los colectores de tubos de vacío representan el 9,3%, mientras que los colectores sin cubierta, sólo poseen el 4,2% del mercado. [10]

Répartition par technologie du marché solaire thermique de l'Union européenne en 2010
Breakdown by technology of the European Union solar thermal market in 2010

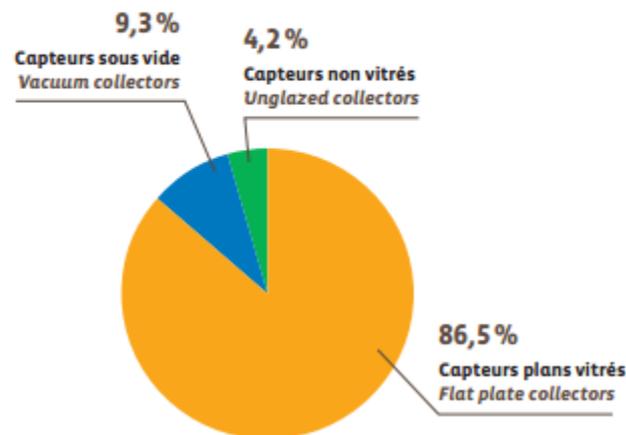


Figura 2.2 Porcentajes de uso de los tipos de colectores [10]

Aproximadamente un 5 % de los hogares alemanes utilizan energía solar térmica. En el 2005 se instalaron 980.000 m² y 1,5 millones de m² en el 2006. El aumento de la demanda de los particulares (instalaciones domiciliarias) hace posible que las autoridades establezcan un mecanismo de mayor apoyo para las grandes instalaciones colectivas y privadas, cuyo potencial se ha explotado muy poco hasta ahora.

El año pasado, el Gobierno alemán decidió disminuir las subvenciones a la energía solar térmica: de € 105 a € 40 por m² y para sistemas solares combinados (agua caliente y calefacción), las subvenciones han disminuido de €135 a €70 por m². Actualmente, la subvención sólo cubre el 15% del costo.

Francia sigue siendo el país líder en términos de crecimiento. Con un mercado de energía solar térmica superior a 300.000 m² (incluidos los 75.000 m² en regiones de ultramar), en el 2006 creció un 83% más que en el 2005.

La simplicidad del sistema de crédito fiscal francés, les permite a los particulares recuperar el 50% del precio del equipo por su simple declaración.

Para el año en curso, se espera un notable crecimiento en los negocios españoles, ya que la introducción de una nueva legislación para la construcción con obligaciones solares provocará un verdadero auge en el uso de la energía solar térmica en la península ibérica.

En la figura 2.3 puede observarse la evolución de la instalación de sistemas solares térmicos en la ciudad de Barcelona debido a la Ordenanza solar térmica que regula la incorporación de sistemas de captación y utilización de energía solar activa de baja temperatura (placas solares térmicas) para producir agua caliente sanitaria en edificios y construcciones dentro del término municipal. La Ordenanza fue aprobada en julio de 1999 y entró en vigor en agosto de 2000. La Ordenanza solar de Barcelona fue la primera normativa de este tipo que se aprobó en una gran ciudad europea.

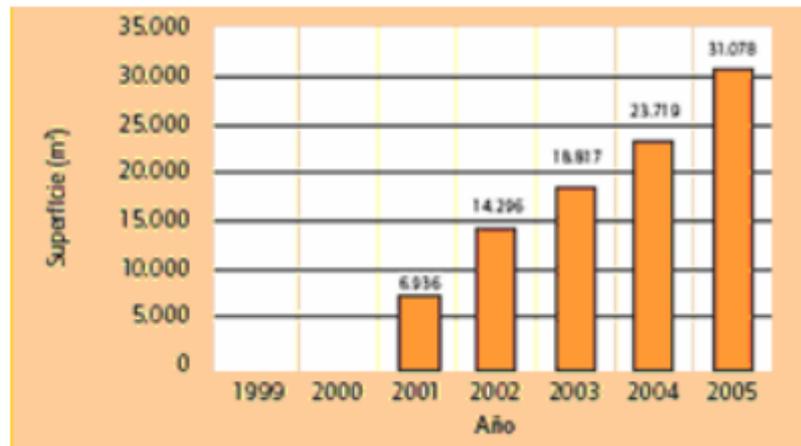


Figura 2.3 Crecimiento de la superficie de captación solar térmica obligada por la Ordenanza (1999-2005) [10]

2.1.2 Estados Unidos

En los EE.UU. el mercado solar térmico está dominado por sistemas de baja temperatura que se utilizan para acondicionamiento del agua de piscinas de uso particular. Como consecuencia, el mercado de los colectores sin cubierta (más de 900.000 m² anuales – cifra al año 2003) es de entre quince y veinte veces más grande que el mercado de estos mismos en Europa. El mercado de colectores de cubierta puede considerarse insignificante [11].

Algunos estados ofrecen subsidios a la energía solar térmica, pero generalmente para aplicaciones especiales. El bajo nivel de los subsidios, junto con los precios muy bajos de los combustibles convencionales, reducir la competitividad de los sistemas de energía solar térmica. La situación podría mejorar si la energía solar térmica se

beneficia con el sistema de fondos de apoyo que como en la actualidad se hace con la fotovoltaica.

Durante el 2006 se instalaron en el país 1814,54 miles de m², de Colectores Solares Térmicos domiciliarios, lo que significó un crecimiento del 33% respecto a la capacidad instalada durante el año 2005 figura 2.4

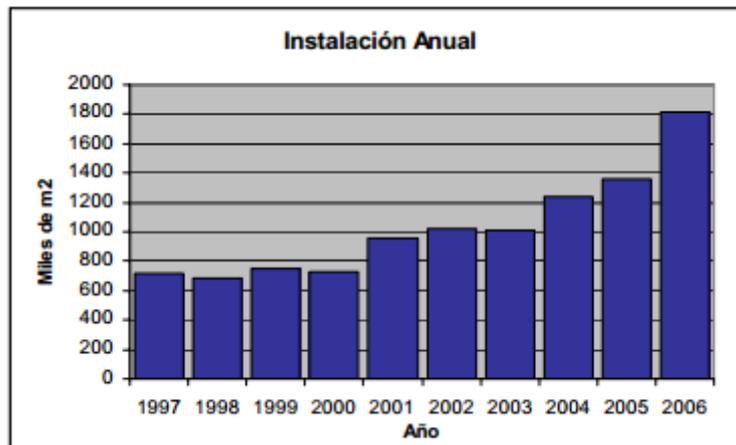


Figura 2.4 Instalación Anual Interna de Colectores Solares Térmicos Domiciliarios [11]

En la figura 2.5 puede verse que este tipo de equipos son utilizados en los estados que poseen índices de radiación elevados, como ser California, Florida, Nevada, etc.).

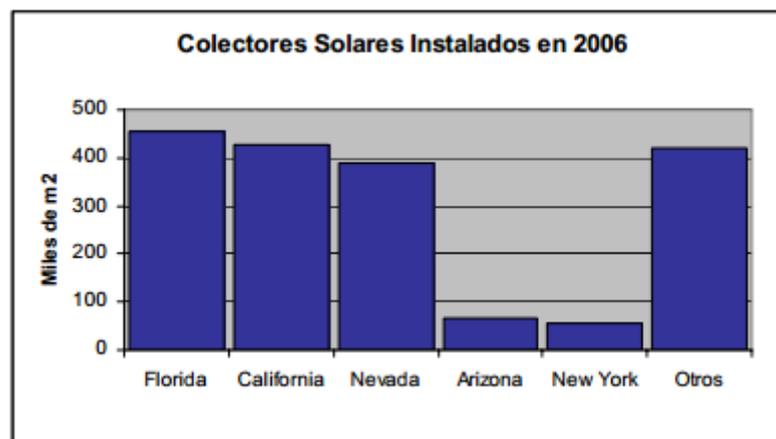


Figura 2.5 Colectores Solares Térmicos Domiciliarios Instalados en 2006, [12]

2.1.3 Australia

A raíz de la primera crisis del petróleo, la energía solar térmica creció rápidamente en Australia. El mercado actual está muy concentrado, en manos de unos pocos

fabricantes. Algunas empresas son capaces de compensar la disminución del mercado australiano con el aumento de las exportaciones. El agua caliente sanitaria (ACS) domiciliaria es la principal aplicación de la energía solar térmica en Australia. Existen varias instalaciones grandes, pero este segmento aún no ha ganado una cuota de mercado significativa. Durante el 2004 y 2005, el mercado australiano se mantuvo estático en un escaso 154 MWt. [13]

2.1.4 Japón

En 2001, se instalaron en Japón 314.000m² de superficie de colectores solares térmicos. El mercado se redujo considerablemente después que el gobierno terminó las subvenciones para equipos solares de ACS domiciliaria en 1997. Hoy en día, los subsidios sólo se conceden para ampliar la escala de la energía solar térmica en instalaciones de edificios públicos y comerciales. Aun así, 90% del área instalada de colectores se utiliza para ACS en casas de una sola familia. Aproximadamente el 15% de los hogares japoneses están equipadas con estos sistemas solares [13].

Existen en el país un conjunto de normas para los equipos de energía solar térmica, pero no son obligatorios, sin embargo, todos los miembros de la Asociación para el Desarrollo de Sistemas Solares tienen sus sistemas certificados por un funcionario autorizado por el instituto de pruebas.

2.1.5 China

China es el mayor mercado de la energía solar térmica en todo el mundo. En 2001, el mercado se estimaba en 5,5 millones de m² de colectores, la mayoría de los colectores son de vacío. El 75% de los sistemas están instalados en casas residenciales, el 20% son sistemas colectivos utilizados conjuntamente por varias casas de familia y el 5% son utilizados en comercios e industrias.

Más de 1.000 fabricantes producen y venden sistemas de energía solar térmica. Los 33 más grandes emplean a 50.000 personas, con 100.000 adicionales que trabajan en la comercialización, la instalación y los servicios posventa [13].

Los fabricantes chinos han ampliado significativamente su volumen de negocios por más de la tasa de crecimiento del mercado chino. Esto es una clara ilustración del

fortalecimiento de las actividades de exportación las cuales han observado en China por una serie de años [13].

Si bien el gobierno no subvenciona la instalación de sistemas de energía solar térmica, apoya firmemente la Investigación y Desarrollo en energía solar térmica, incluida en una lista de las principales prioridades nacionales a ser abordadas.



Figura 2.6 Calentadores solares instalados en China.

2.1.6 India

Con 50.000 m² de superficie de colectores instalados en 2001, el mercado de la energía solar térmica en la India todavía es muy pequeño en relación con el tamaño del país.

El gobierno apoya activamente la instalación de sistemas de energía solar térmica. Los consumidores nacionales pueden obtener préstamos comerciales e industriales a bajo interés y los consumidores, que actualmente representan el 80% de los colectores instalados, recibirán beneficios fiscales para la instalación de sistemas de energía solar térmica. La baja proporción de los usuarios domésticos se debe a la falta de conciencia y a los canales de distribución: 90% de los sistemas todavía los vende directamente el fabricante al consumidor final [12].

En los últimos años, en este país, se registró un aumento del 100% del mercado [13]. El Ministerio de las Fuentes de Energías no convencionales, ha fijado una meta ambiciosa para el futuro desarrollo de la energía solar térmica: un adicional de 5 millones de m² a instalarse antes del 2012.

2.1.7 Israel

El uso de la energía solar térmica en Israel es una verdadera historia de éxito: hoy, aproximadamente 80% de los edificios residenciales en Israel están equipadas con sistemas de energía solar térmica, casi todos ellos para ACS.

El éxito se debe en parte a que existe una reglamentación desde hace 20 años que exige, con la construcción de cada nuevo edificio de una altura menor a 27m, debe tener un sistema de energía solar térmica en el techo. La gran parte de los sistemas actuales (85%) están instalados en los edificios existentes, y por lo tanto voluntariamente. Con un promedio de radiación solar de 2.000kWh/m² por año, la instalación de un sistema solar para ACS es una inversión económica sensata que permite al usuario ahorrar aproximadamente 175 euros de los combustibles convencionales por año [12].

2.1.8 América Latina.

Cuba, México, Brasil y República Dominicana se encuentran entre los países que ponen cada vez más atención al calentamiento de agua con energía solar. En el año 2000 existían en México 373.000 m² de colectores solares instalados, y en el último año llegaron a instalarse más de 100.000 m²

. En el año 2005 la CONAE (Comisión Nacional para el Ahorro de Energía) que es un organismo del Gobierno Federal, que tiene la función de promover la utilización de las energías renovables y el uso racional de los recursos energéticos con los que cuenta el país, lanzó un programa piloto de tres años, para promover la venta de calentadores solares de agua en el sector doméstico y realizar un seguimiento de los ahorros en combustible que obtengan los usuarios. Los resultados del programa servirán de base para diseñar una estrategia de venta de calentadores solares de agua a escala nacional, para así masificar su uso [14]

En abril de 2006 la Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, México, estableció una “Norma Ambiental para el Distrito Federal que establece las especificaciones técnicas para el aprovechamiento de la energía solar en el calentamiento de agua en albercas, fosas de clavado, regaderas, lavamanos, usos de cocina, lavandería y tintorerías” [15]

Al año 2002, el área total de colectores solares instalados Brasil era de 2,1 millones de m²; en los tres últimos años su mercado nacional tuvo un crecimiento estable y posee un área de colección de 1,2 m² cada 100 habitantes [16]

Este año se instalaron 500.000 m² y es por lejos el mayor mercado sudamericano. En noviembre de este año, se estableció una norma, por la cual, los edificios públicos que se construyan en Sao Paulo (estado más poblado de Brasil, con 40 millones de habitantes) deberán contar con energía solar para calentar al menos 30% de su agua.

En Brasil, ya hay siete ciudades con normas similares, incluyendo dos capitales estatales, Belo Horizonte y Porto Alegre.

El uso de los colectores solares térmicos tiene antecedentes relativamente masivos en Cuba desde la década del 80. En el país se fabrican calentadores solares de diferentes capacidades, especialmente diseñados para escuelas, hospitales, círculos infantiles, hogares de ancianos, y otros sitios de interés social. Los colectores de fabricación nacional son muy sencillos, eficientes para el clima tropical y de bajo costo a pesar de estar contruidos con materiales de alta calidad. Más recientemente se ha incrementado el uso de estos sistemas solares en instalaciones hoteleras.

La fabricación local de calentadores solares de agua es la tecnología solar más antigua y de mayor desarrollo y diseminación en el Perú. Se estima que hoy hay entre 25.000 y 30.000 termas solares (equipos solares para ACS), instaladas en Arequipa, Ayacucho, Lima, Puno y Tacna entre otros. Existen alrededor de 20 fabricantes y en el 2006 se ha constituido la “Asociación de Empresas Peruanas de Energía Solar” (AEPES) que producen mensualmente alrededor de 600 m² de colectores solares para termas solares [17]

2.2 Calentadores solares.

En el verano de 1909, en una pequeña tienda al aire libre de un suburbio de Los Ángeles, un ingeniero llamado *William J. Bailey* comenzó a vender, un colector solar para la producción de agua caliente domiciliaria, el cual se puede considerar como uno de los primeros calentadores solares de la historia, tal y como los conocemos ahora. Una de las novedades de este calentador era que no sólo suministraba agua caliente durante el día, sino que también lo hacía por la noche.

Antes de instalarse en el oeste en busca de una cura para su tuberculosis, Bailey había trabajado con la Carnegie Steel en Pennsylvania. Pronto descubrió que su médico, el doctor Remington, experimentaba con calentadores solares de agua en su clínica. Para ello, separaba el calentador solar en dos partes o unidades: un colector de calor solar, y un depósito de acumulación de agua. 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, para pasar a un depósito convencional situado en la cocina

Para mejorar la retención del calor aisló el depósito mediante polvo de piedra caliza, que lo separaba de una caja de madera que lo contenía. El serpentín del colector era de cobre y descansaba sobre una lámina metálica negra. La caja del colector estaba aislada con fieltro. [18]

Para garantizar suficiente agua caliente en épocas de mal tiempo o períodos de mucho uso, Bailey recomendaba a los clientes añadir un calentador auxiliar.

Instalando el acumulador en un punto más alto que el colector, evitaría tener que poner una bomba para impulsar el agua entre el colector y el depósito acumulador, aprovechando el efecto termosifón (el agua caliente es menos densa que el agua fría, y por tanto tiende a elevarse por sí sola por las tuberías).

El éxito del modelo fue tal que las ventas de la compañía le permitieron convertirse en sociedad anónima en 1911, sólo dos años después de que Bailey vendiera su primer equipo. Aunque el descubrimiento de una gran bolsa de gas en Los Angeles restó ventas a la compañía, la cual fabricaba su última serie de calentadores en 1941. [19]

2.2.1 Calentador solar de placa plana

La historia de los calentadores solares de placas planas comienza en Estados Unidos, al dejar contenedores pintados de negro expuestos al sol para que se calentasen, sin embargo para obtener agua caliente suficiente se requería de días muy soleados, y en cuanto llegaba la noche el agua se enfriaba muy rápidamente.

El investigador Clarence M. Kemp en el año de 1891 planteo un dispositivo que combinaba la vieja práctica de la exposición de depósitos metálicos pintados de negro al sol con el principio de la caja caliente, incrementando así la capacidad del depósito para captar y retener la energía del sol, a este dispositivo lo llamo el “Climax”, este se convirtió en el primer colector solar de agua. [20]

En el año de 1898 Frank Walker patenta el calentador Walker el cual contaba solo con uno dos depósitos de doce litros, su principal ventaja era que se podía conectar a la línea de suministro de agua caliente, garantizando de esa manera un flujo de agua caliente constante.

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 solamente 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.

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.

Hottel y Whillier en la década de 1950, desarrollaron el calentador solar de placa plana que se compone de una placa plana absorbidora de energía solar, la energía calorífica almacenada en el absorbedor es transmitida hacia el fluido caloportador, el cual se encuentra circulando a través de un serpentín de cobre unido a una placa metálica, la cubierta de vidrio tiene la finalidad de conservar el aire calentado por la radiación solar que se encuentra entre la cubierta y el absorbedor, logrando de esta manera el efecto invernadero, el aislamiento que generalmente es de Poliuretano o espuma de Polietileno disminuye las pérdidas por convección hacia el medio. [21]

Desde ese entonces los calentadores solares de placas planas siguen utilizando el mismo principio de funcionamiento se basa en el efecto invernadero, combinado con el efecto de cuerpo negro, su principal objetivo es absorber la mayor cantidad de calor como se muestra en la figura 2.7

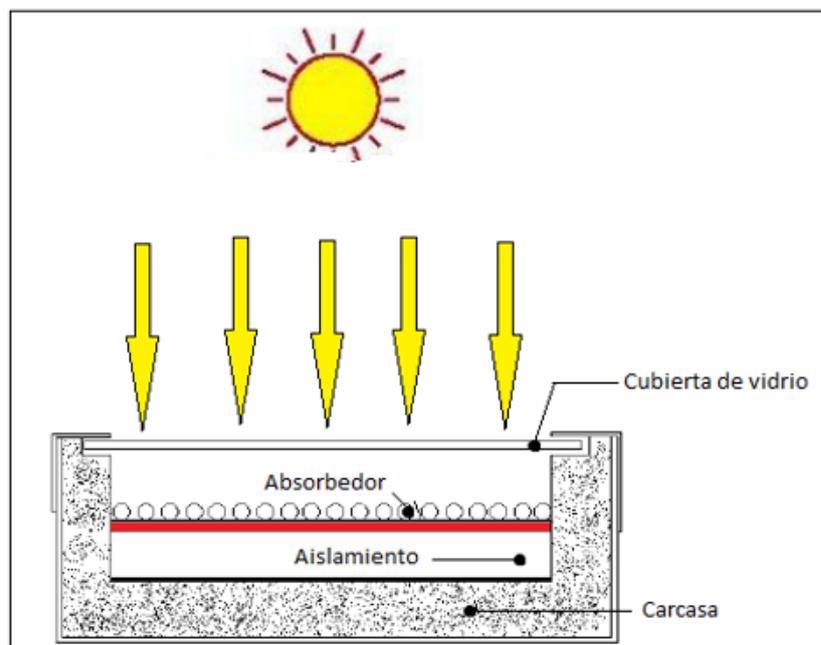


Figura 2.7. Esquema de un calentador solar de placa plana.

2.2.2 Calentadores solares de tubos de vacío.

Los tubos de vacío fueron diseñados por primera vez por la universidad Qing Hua en Beijing en la década de los ochenta, con una construcción de prueba en 1985. Para el año de 1988 el volumen anual de tubos fabricados alcanzo 30.000 unidades, para el año de 1996 con la ayuda financiera del gobierno Chino Qing Hua alcanzó una producción anual de 2 millones de tubos. La mayoría de los tubos fueron utilizados para satisfacer la demanda local, un pequeño porcentaje fue vendido al resto del mundo

Con el desarrollo de los tubos surgen los sistemas de calentamiento de agua mediante tubos de vacío, la adición de un tanque acumulador, una base para los tubos y toda la valvulería necesaria.

La calidad de los tubos y los tanques construidos no satisfacía los estándares de calidad en la unión europea por lo que los calentadores fueron en su gran mayoría vendidos en la China y su producción y venta crecía muy rápido.

En 1988 Qing Hua tenía el 70% de las ventas de los calentadores solares de tubos de vacío, con el rompimiento de algunos miembros importantes de Qing Hua Solar la protección de la patente fue rota y otra compañías chinas empezaron a producir tubos de vacío, la maquinaria y la materia prima para construir los tubos fue la misma, por esta razón todos los tubos producidos en la China son los mismos.

En la actualidad en los países de la Unión Europea los tubos son Construidos en países como Alemania en donde se maneja estándares de calidad muy altos, de igual manera el tanque acumulador es construido de acuerdo a los estándares de calidad exigidos por los diferentes países. [22]

2.2.2.1 Calentador solar de tubos de vacío (baja presión)

El calentamiento de agua sanitaria mediante la utilización de calentadores solares de tubos de vacío, es una tecnología que ha sido utilizada desde hace años atrás por países como la China y Alemania que son los pioneros en lo que respecta al uso de tubos de vacío para el calentamiento de agua sanitaria, posteriormente se amplió su uso a todo el mundo, los calentadores solares de tubos de vacío pueden alcanzar temperaturas de hasta 60 °C, con una eficiencia superior al 70% es por ello que es considerado como

una de las mejores opciones para el calentamiento de agua sanitaria y de otros líquidos.[23]

Los calentadores solares de tubo de vacío de baja presión atrapan la energía calorífica de la radiación solar y la transfieren al agua, misma que se encuentra circulando por los tubos de vidrio. Mediante el efecto termosifón el agua caliente al tener menor densidad que el agua fría sube hacia el depósito de almacenamiento logrando de esta manera una circulación natural del agua como se puede observar en la figura 8.

Debido a que la radiación solar solo está presente por 12 horas, y el agua caliente sanitaria se la puede utilizar las 24 horas del día, el calentador solar de tubos de vacío cuenta con un acumulador que permite almacenar el agua caliente para ser utilizada a cualquier hora del día o la noche. Para garantizar que el agua se mantenga caliente el acumulador está construido por: el tanque interior, una capa de poliuretano para permitir el aislamiento térmico y por una capa superficial de chapa metálica que la proteja del medio ambiente, como se muestra en la figura 2.8

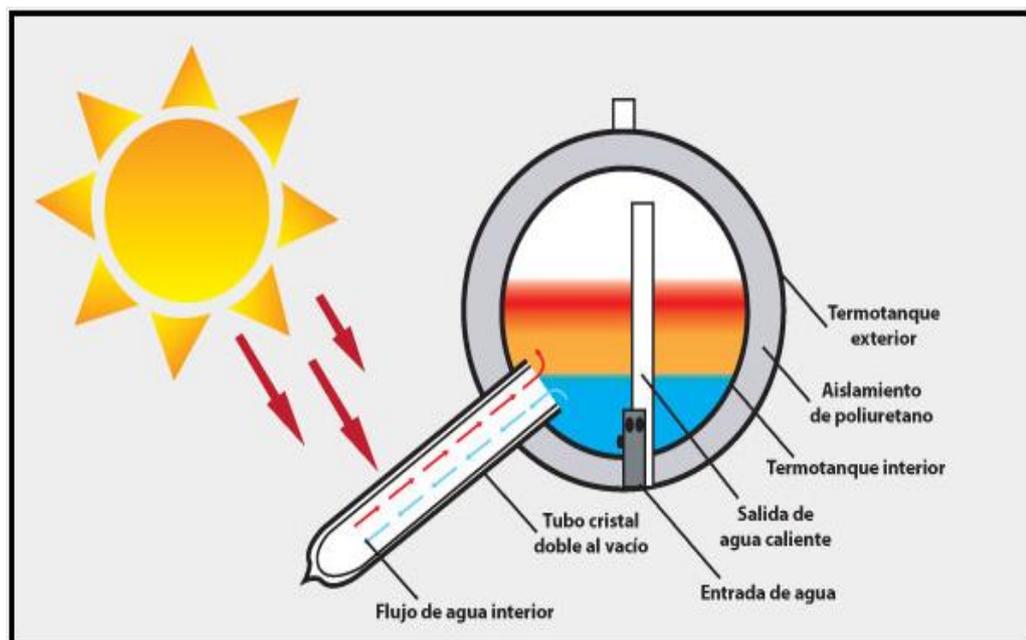


Figura 2.8 Calentador solar de tubos de vacío de baja presión [24]

2.2.2.2 calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor (alta presión)

Al igual que el calentador solar de tubos de vacío de baja presión estos calentadores también ocupan tubos de vidrio, la diferencia está en que los tubos del calentador solar de alta presión en su interior se encuentra un tubo de cobre (Tubo de calor) sostenido por dos aletas de aluminio insertadas a todo el largo del tubo, las aletas de cobre están moldeadas al diámetro del tubo para optimizar la transferencia de calor, el tubo de cobre está lleno de acetona debido a que es un compuesto químico que se evapora con facilidad. [25]

La energía solar es absorbida por el tubo de calor, el incremento de la temperatura hace que la acetona se vaporice, y a su vez se eleve a la parte alta del tubo (condensador) figura 2.10. Este calor es transferido del condensador al agua que circula por el colector múltiple de calor. Lo anterior permite calentar el agua en el interior del tanque y mantenerla a temperatura constante para estar lista al momento de demandarla como se muestra en la figura 2.9.

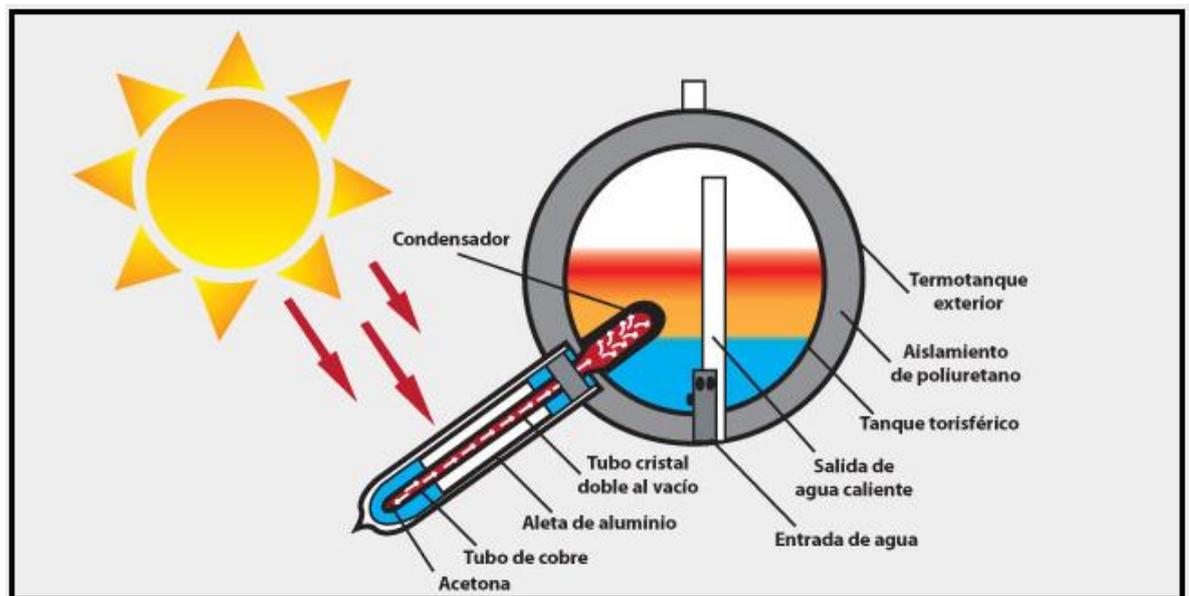


Figura 2.9 Calentador solar de tubos de vacío de alta presión [24]

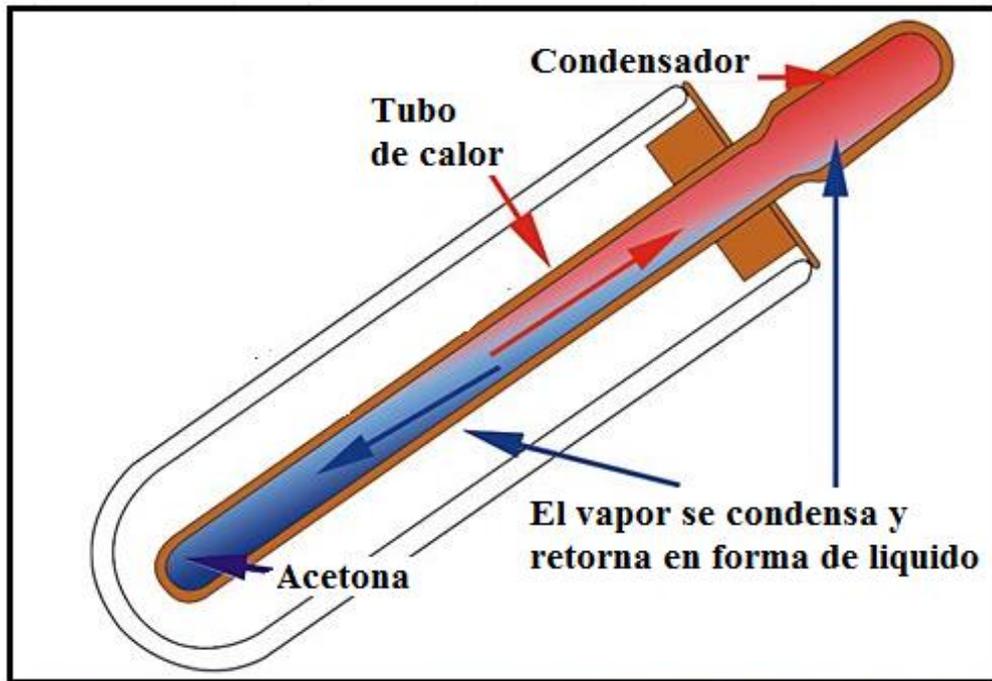


Figura 2.10 Tubo de calor [23]

2.3 Calentadores de paso que utilizan GLP como combustible.

Los calentadores de paso o “calefones” como son conocidos comúnmente en nuestro medio, es un dispositivo termodinámico que tiene como finalidad elevar la temperatura del agua. Su funcionamiento es muy sencillo, tiene incorporado un sensor de flujo el cual censa la cantidad de agua que está circulando por la red, cuando el sensor de flujo se activa, permite el paso del combustible al quemador y acciona la chispa para que se dé la combustión, de esta manera se logra el calentamiento del agua de manera casi instantánea.



Figura. 2.11 Calentador de paso de uso doméstico.

Los calentadores de paso usan como combustible el GLP en algunos modelos, también existen los que utilizan como combustible el gas natural, siendo este tipo de combustible el más económico, pero menos usado. En este tipo de calentadores la mayor desventaja es el costo del combustible, mismo que es un recurso no renovable, y que en algunos casos como en nuestro país se paga un subsidio para disminuir el costo a los usuarios.

2.4 Calentador solar híbridos de tubos de vacío - calentador de paso

Como se menciona anteriormente los calentadores solares de tubos de vacío tienen altos niveles de eficiencia, el abastecimiento de ACS no siempre va a ser del 100% esto debido a algunos factores como los climáticos, la demanda excesiva de agua caliente, incorrecta ubicación del calentador solar, etc.

Para satisfacer la demanda de ACS en su totalidad surgen los sistemas híbridos, uno de los más comunes es aquel que utiliza un calentador solar de tubos de vacío y un calentador de paso o calefón, existen dos configuraciones de conexión, la una es una conexión en serie y la otra es una conexión en paralelo.

2.4.1 Conexión híbrida de calentador solar de tubos de vacío y calentador de paso, conexión en serie.

Debido a que el calentador solar de tubos de vacío y el calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor son físicamente iguales las configuraciones en serie y en paralelo pueden ser utilizadas del mismo modo para ambos tipos de calentadores.

La diferencia radica en que para ninguna de las conexiones ya sea serie o paralelo el calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor requiere el uso de una bomba, debido a que para la conexión en serie el agua que se encuentra en el tanque acumulador la misma que sirve para abastecer el calentador de paso se encuentra a la misma presión de la red principal. [26]

La conexión en serie permite economizar el consumo de GLP en el sistema auxiliar debido a que el agua que entra al calentador de paso lo hace a una temperatura superior a la del ambiente, 25 °C que es la temperatura a la cual entra en funcionamiento dicho calentador.

Debido a que la distribución del ACS desde el calentador solar se la realiza mediante gravedad, para el uso del sistema auxiliar en una conexión en serie es indispensable el uso de una bomba la cual eleve la presión al ingreso del calentador de paso, de lo contrario el piloto del calentador no se encenderá.

Para que el sistema sea independiente es necesario colocar válvulas de control electromagnéticas las cuales son comandadas por el control digital del calentador.

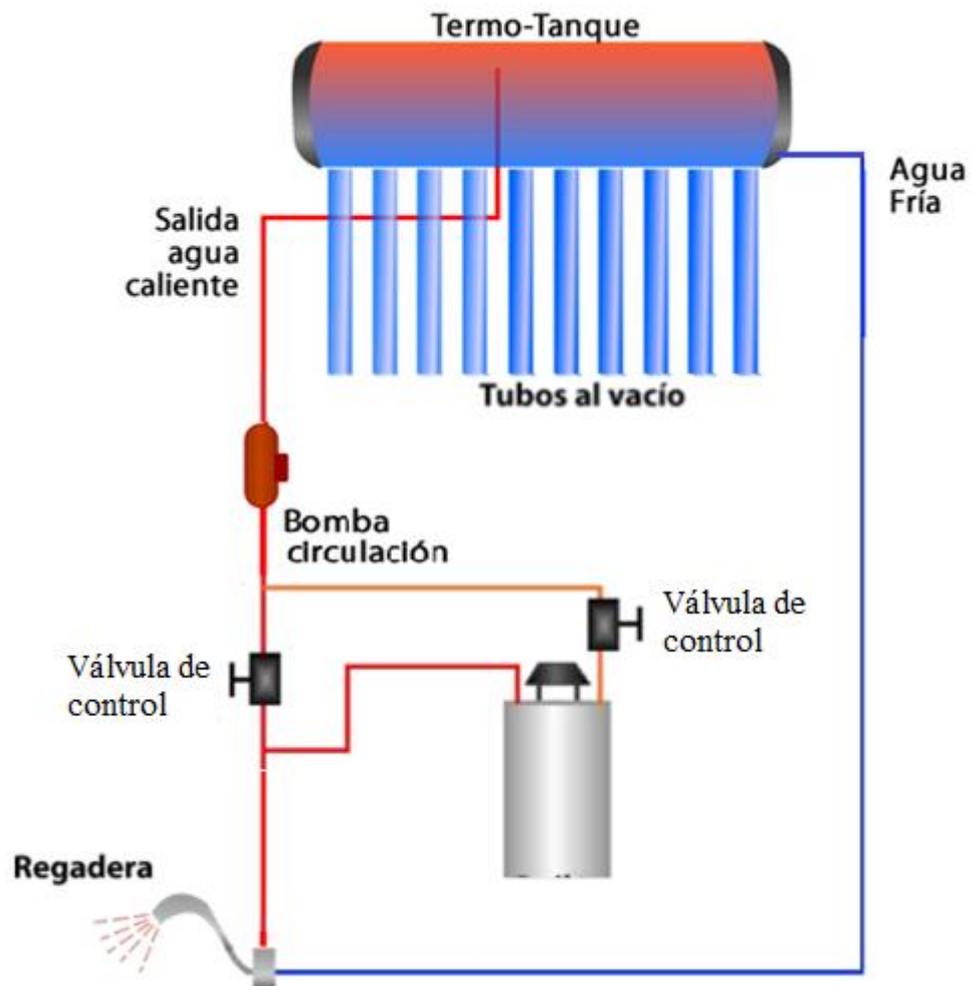


Figura 2.12 Conexión híbrida calentador solar de tubos de vacío-Calefón, conexión en serie [26]

2.4.2 Conexión híbrida de calentador solar de tubos de vacío y calentador de paso, conexión en paralelo.

Para la conexión en paralelo el ingreso del agua al calentador de paso se la realiza de manera directa de la red de agua fría por lo que no es necesario el uso de una bomba para elevar la presión de ingreso, la temperatura de ingreso es la misma de la red principal por lo tanto se presenta un mayor consumo de GLP.

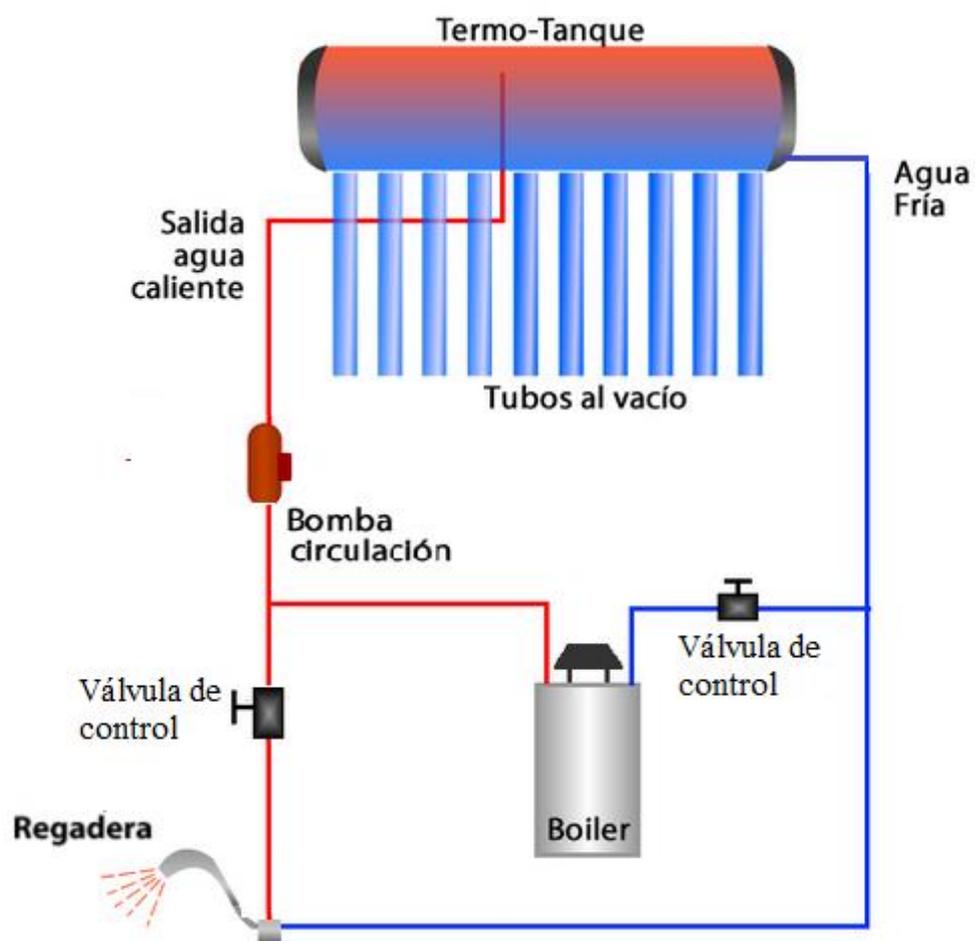


Figura 2.13 Conexión híbrida calentador solar de tubos de vacío-Calefón, conexión en paralelo [24]

2.5 Conexión híbrida de calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor y calentador eléctrico.

El desarrollo de los calentadores solares de tubos de vacío ha permitido que se logre elevar el nivel de eficiencia en los mismos, logrando de esta manera brindar confort al usuario uno de esos avances es la incorporación de una resistencia eléctrica o calentador eléctrico dentro del tanque acumulador con el objeto de servir como sistema auxiliar al calentador solar, como se muestra en la figura 2.14

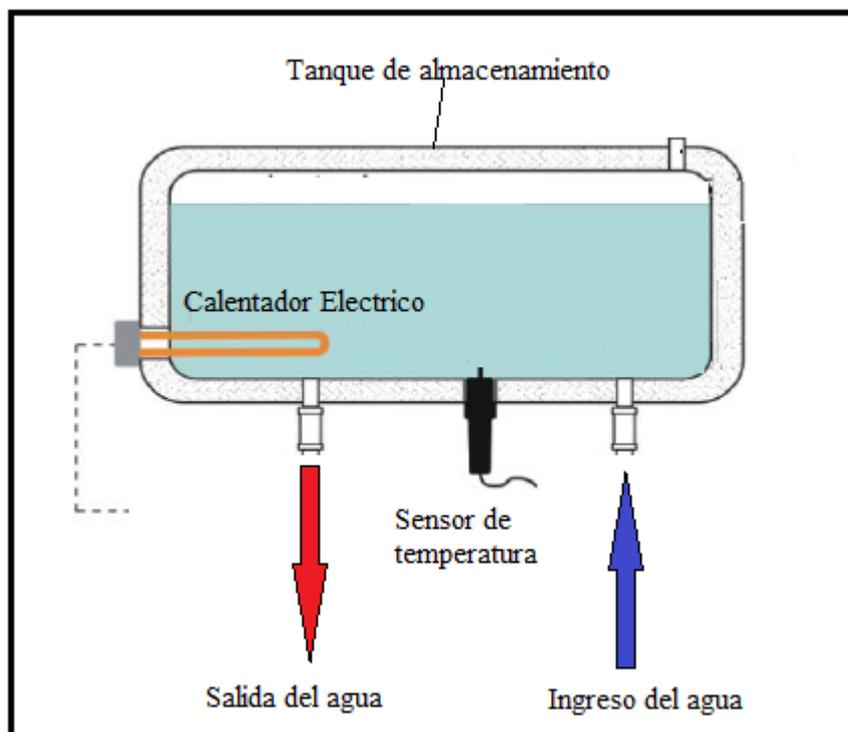


Figura 2.14 Calentador eléctrico

La resistencia eléctrica o calentador eléctrico, tiene el mismo principio de funcionamiento que el de las duchas eléctricas o de punto que se las utiliza comúnmente en los hogares para el calentamiento de ACS. El trabajo de la resistencia eléctrica en conjunto con el calentador solar da lugar al sistema híbrido de calentamiento.[27]

CAPÍTULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA PARA UNA FAMILIA PROMEDIO EN LA CIUDAD DE CUENCA.

3.1 Localización del proyecto.

El proyecto se realizara en las viviendas que se encuentran ubicadas en la zona urbana de la ciudad de Cuenca provincia del Azuay. Las viviendas fueron elegidas en base a los datos obtenidos de las encuestas realizadas previamente, en la cual se pudo observar que una familia promedio de la ciudad de Cuenca está formada por cinco miembros, basándonos en esta información, la primera vivienda se encuentra ubicada en el sector de la parroquia el Vecino, mientras que la otra vivienda se encuentra en la parroquia Baños.

Los lugares en donde van a ser emplazados los calentadores y sus sistemas auxiliares cuentan en la actualidad con calentadores tradicionales, un calentador de paso en la vivienda ubicada en la parroquia el Vecino, y un calentador eléctrico o ducha eléctrica para el caso de la vivienda ubicada en la parroquia Baños.

3.2 Evaluación de la demanda de agua caliente sanitaria en los lugares de emplazamiento.

Dentro del diseño de los calentadores solares híbridos, se debe tomar en cuenta el análisis de la realidad actual de consumo de las viviendas en donde serán emplazados dichos sistemas, el factor más importante es la cantidad de ACS por día.

De la tabla 16 se puede obtener los valores mínimos de consumo de ACS requeridos para una vivienda unifamiliar cuyo valor promedio esta entre **22 - 30 litros de ACS/persona-día**, a una temperatura de 60°C.

Por lo tanto para nuestro caso tenemos que abastecer a cinco personas, el consumo total será de:

$$V_{ACS} = 5personas * \frac{30L}{persona * dia} = 150L/dia$$

Este valor puede aumentar o disminuir dependiendo de los factores climáticos de la zona, o que los habitantes de las viviendas no estén por cierto periodo de tiempo. [28]

En la figura 3.1 se puede determinar de manera gráfica el volumen necesario de agua, dependiendo de la cantidad de habitantes en una vivienda, y el volumen de consumo diario de ACS por persona.

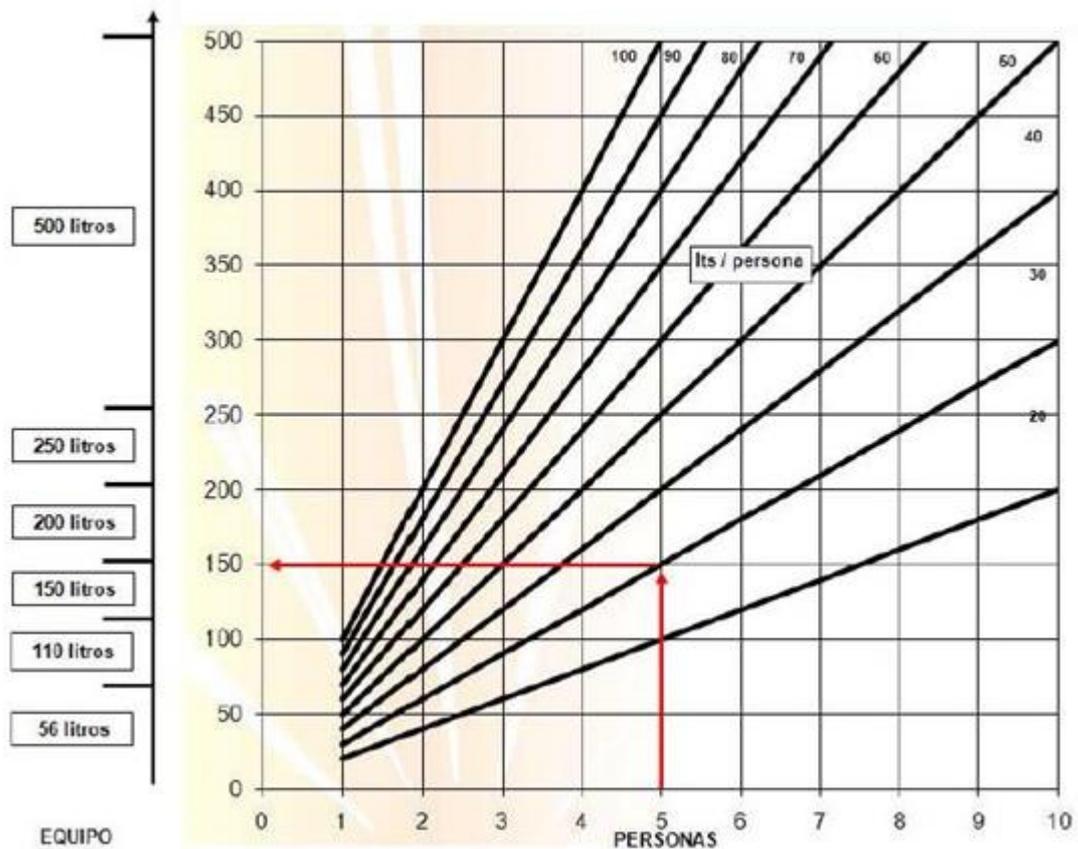


Figura 3.1 Tabla de selección del volumen necesario de ACS en base al número de personas.

3.3 Cálculo de la demanda energética de ACS

Para realizar el cálculo de la demanda energética es necesario tomar en cuenta la temperatura a la cual ingresa el agua de la red principal, cuyos valores se expresan en las siguientes tablas, los valores fueron obtenidos del monitoreo realizado desde el mes de febrero del año 2014 hasta julio del mismo año.

Temperatura de ingreso del agua de la red principal [C]		
Mes	Temperatura Parroquia el Vecino	Temperatura Parroquia Baños
Febrero	7	5
Marzo	5	3
Abril	4	4
Mayo	6	5
Junio	5	4
Julio	5	5

Tabla 3.1. Temperatura de ingreso del agua de la red principal parroquia El Vecino, Parroquia Baños.

Con los datos antes mencionados se procede a calcular la demanda energética mensual para cada una de las viviendas, para lo cual se utilizara la siguiente expresión:

$$D_{ACS} = V_{ACS} * \rho_a * C_p * (T_{uso} - T_{red}) \quad (3.1)$$

Donde:

$$D_{ACS} = \text{Demanda de ACS [MJ]}$$

$$V = \text{volumen de consumo de ACS } \left[\frac{m^3}{mes} \right]$$

$$\rho_a = \text{densidad del agua } 1000 \frac{Kg}{m^3}$$

$$C_p = \text{Calor especifico del agua } \left(4187 \frac{J}{Kg * C} \right)$$

$$T_{uso} = \text{temperatura de consumo } [^{\circ}C]$$

$$T_{red} = \text{temperatura de la red } [^{\circ}C]$$

Los valores de la cantidad de energía mensual requerida se muestran en la tabla 3.2 a continuación:

Demanda energética mensual		
Mes	Parroquia El Vecino [MJ/mes]	Parroquia Baños [MJ/mes]
Febrero	715,9771	753,6601
Marzo	753,6601	791,3431
Abril	772,5015	772,5015
Mayo	734,8185	753,6601
Junio	753,6601	772,5015
Julio	753,6601	753,6601

Tabla 3.2. Demanda energética mensual

Para el desarrollo del estudio es necesario también, contar con datos meteorológicos y de temperatura de los sectores emplazados tales como velocidad del viento, radiación solar, humedad relativa y temperatura ambiente, para lo cual se toma la información del proyecto “Métodos para el control de calidad y complementación de datos faltantes en parámetros meteorológicos relacionados con la utilización de energías renovables - desarrollo de mapas eólico y solar del cantón Cuenca” desarrollado por la UPS y el INER, las estaciones consideradas son las que están en el sector de Baños y en los predios de la UPS. En la parroquia el Vecino. Los resultados de la media de los diversos factores requeridos se muestran en la tabla 3.3

Radiación promedio mensual		
Mes	Estación Baños [W/m²]	Estación UPS [W/m²]
Febrero	346,80	401,25
Marzo	324,06	393,03
Abril	298,81	345,11
Mayo	285,34	332,82
Junio	280,53	341,85
Julio	220,18	289,34

Tabla 3.3 Radiación promedio mensual [29]

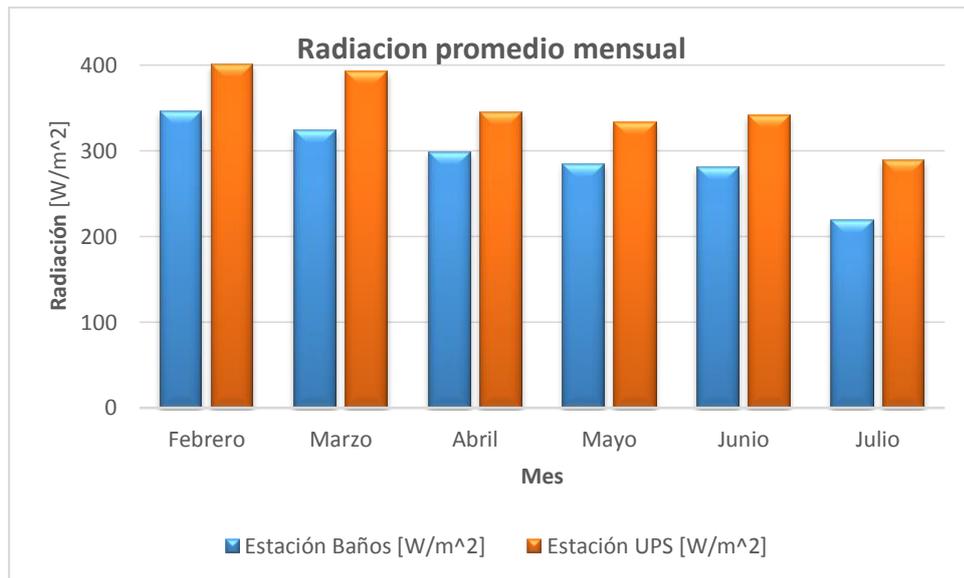


Figura 3.2. Radiación promedio mensual

Como se puede observar en la gráfica existe un mayor nivel de radiación en la zona correspondiente a la parroquia El Vecino, también se puede observar que el valor más bajo de radiación se presenta en el mes de Julio.

3.4 selección del calentador solar

En el mercado ecuatoriano existen varios tipos de calentadores solares, los cuales presentan altos niveles de eficiencia, los más comunes, son el calentador solar de placas planas, con un nivel de eficiencia del 60%, por otro lado están los calentadores solares de tubos de vacío los cuales tienen una eficiencia de hasta un 80%.

Para el presente estudio se utilizarán los calentadores solares de tubos de vacío en sus dos versiones, el calentador solar de tubos de vacío (*no presurizado*), y el calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor (*presurizado*).

3.4.1 Calentador solar de tubos de vacío (no presurizado).

Los calentadores solares de tubos de vacío tienen la capacidad de absorber la radiación solar y transmitirla de manera directa al fluido, para nuestro caso el agua, para ello utilizan los tubos de vacío como captadores de dicha energía. La cantidad de energía que es absorbida por los captadores depende de varios factores, como la ubicación del calentador, la orientación, otros factores importantes son las propiedades físicas de los tubos de vacío como la casi nula reflectividad, y la bajas perdidas por radiación debido a que están hechos de boro silicato, y la placa de nitrato de aluminio que se encuentra adherido al tubo receptor.

A continuación se presentan los datos técnicos del calentador solar de tubos de vacío.

Datos técnicos:

Calentador solar de tubos de vacío marca grüntech

Tanque acumulador:

Capacidad del tanque acumulador:	200 litros
Longitud	1730mm
Diámetro exterior	470mm
Tanque interior de acero inoxidable	2mm de espesor
Aislamiento de poliuretano	50mm de espesor
Cubierta de acero dulce	1mm de espesor

Tubos de vacío:

Número de tubos	20
Espesor	3mm
Diámetro exterior	58mm
Diámetro interior	50mm
Longitud	1800mm
Longitud útil	1750mm

3.4.1.1 Cálculo de la eficiencia del calentador solar de tubos de vacío.

Luego de la selección del tipo de calentador, y de la marca proveedora del mismo es necesario calcular la eficiencia de dicho calentador con el fin de corroborar si los valores presentados por el fabricante son los correctos.

Para el cálculo de la eficiencia del calentador solar de tubos de vacío es necesario saber la cantidad de calor incidente sobre los tubos, la expresión que se muestra a continuación nos permite encontrar dicho valor [30]

$$Q_{inc} = I_p * \alpha_s * A \quad (3.2)$$

Donde I_p es la irradiación promedio en la ciudad de Cuenca, el valor de dicha irradiación varía dependiendo de la zona, este valor es obtenido de los datos meteorológicos proporcionados por el INER, A es el área de captación de la radiación multiplicado por el número de tubos, en nuestro caso es de 20, α_s es el factor de corrección que determina el porcentaje de la radiación incidente que llega a los tubos de vacío y es determinado por:

$$\alpha_s = \frac{\tau\alpha}{1-(1-\alpha)\rho_d} \quad (3.3)$$

Donde τ es la transmisividad de los tubos de vidrio de boro silicato cuyo valor es $\tau = 0,74$ y tiene una emisividad $\varepsilon = 0,88$, α es la absorptividad de los tubos recubiertos de nitrato de aluminio y es igual a $\alpha = 0,99$ y su emisividad es de $\varepsilon_p = 0,1$, ρ_d es la reflectancia difusa la misma que para los tubos de vacío es igual a $\rho_d = 0,16$ [28]

Para el cálculo del área de incidencia se debe tomar en cuenta que la radiación solar cualquiera que sea la ubicación del sol solamente afectará la mitad de los tubos de vacío, por lo tanto solo se tomara en cuenta la mitad de la periferia.

$$A = \frac{d_i * \pi * L * 20}{2}$$
$$A = \frac{0,050 * \pi * 1,75 * 20}{2}$$
$$A = 2,74m^2$$

A continuación se procede con el cálculo del factor de corrección

$$\alpha_s = \frac{0,74 * 0,99}{1 - (1 - 0,99) * 0,16}$$

$$\alpha_s = 0,733$$

El valor de I_p en el sector de *El Vecino* en donde se encuentra emplazado dicho calentador es de $350,57 [W/M^2]$, Reemplazando estos valores en la ecuación 3.2 se tiene:

$$Q_{inc} = 350,57 * 0,7337 * 2,74$$

$$Q_{inc} = 704,764 [W]$$

Para el cálculo de las pérdidas se debe tomar en cuenta algunos aspectos físicos y constructivos del calentador solar de tubos de vacío, como primer punto se tomara en cuenta las pérdidas que presentan los tubos los cuales debido a sus características constructivas, solo presentan perdidas por radiación, mientras que el tanque acumulador presenta perdidas por conducción y por radiación, en la figura 3.3 se muestra de manera gráfica las perdida presentes en el sistema.

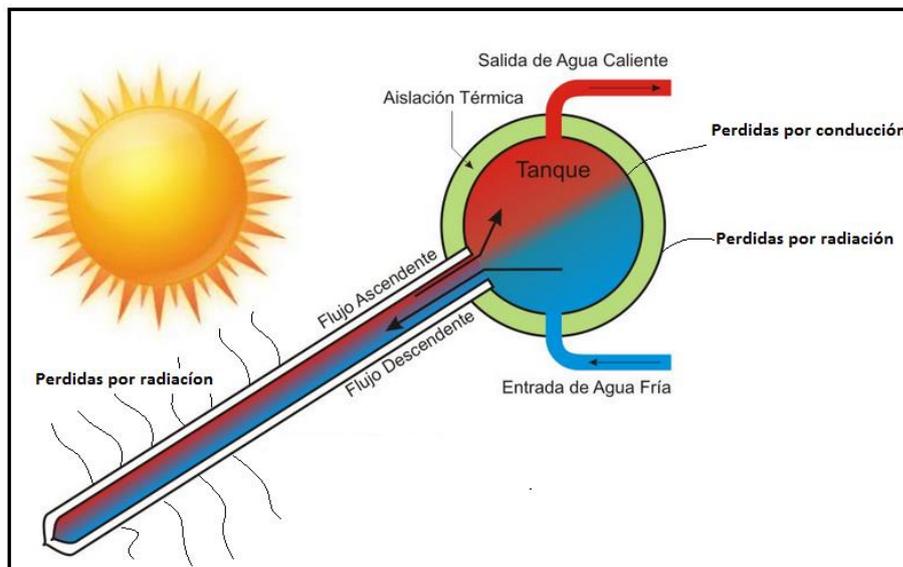


Figura 3.3 Perdidas de calor en calentador solar de tubos de vacío [31]

El total de las pérdidas está dado por la sumatoria de las pérdidas obtenidas en los tubos de vacío y las pérdidas del tanque acumulador, por lo tanto la ecuación para el cálculo de las pérdidas totales está dado por: [30]

$$Q_L = Q_{Tubos} + Q_{Tanque} \quad (3.4)$$

3.4.1.1.1 Cálculo de las pérdidas por radiación en los tubos de vacío

Como ya se mencionó anteriormente en los tubos de vacío existe perdidas por radiación únicamente, por lo que para el cálculo de las pérdidas por radiación en los tubos ocuparemos la siguiente ecuación: [30]

$$Q_{Tubos} = U_{lr} * A(T_c - T_a) \quad (3.5)$$

Donde U_{lr} es el coeficiente de pérdidas de calor por radiación de los tubos, A es el área de captación, T_c es la temperatura de la cubierta, dicha temperatura tiene un valor medio de 17 °C, T_a es la temperatura ambiente que en nuestro caso tiene un valor medio de 15 °C

El cálculo de U_{rad} se lo realizara mediante la fórmula propuesta por Duffie & Beckman Solar Engineering of Thermal Processes en la cual relacionan las pérdidas por radiación de la superficie del tubo receptor hacia el tubo de cubierta ($h_{r, r-c}$) y, las pérdidas por radiación del tubo de cubierta hacia el ambiente ($h_{r, c-a}$) como se muestra a continuación: [32]

$$U_{lr} = \left[\frac{A_r}{h_w + h_{r, c-a} * A_c} + \frac{1}{h_{r, r-c}} \right]^{-1} \quad (3.6)$$

A_r representa el área del tubo receptor, A_c es el área de la cubierta o tubo exterior, h_w es el coeficiente de convección en función del viento, para el cálculo de dicho coeficiente es necesario el cálculo del Número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu} \quad (3.7)$$

$$Re = \frac{1,16 * 0,8 * 0,058}{1,86 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 2893,76$$

En base a lo propuesto por Duffie & Beckman solar Engineering of Thermal Processes el cual propone:

$$1000 < Re < 50000$$

$$Nu = 0,30 * Re^{0,6}$$

Por lo tanto:

$$Nu = 0,30 * (2893,76)^{0,6}$$

$$Nu = 35,8096$$

Para el cálculo del coeficiente de convección se utilizara la siguiente formula:

$$h_w = Nu * \frac{K}{D}$$

$$h_w = 35,8096 * \frac{0,0265}{0,058}$$

$$h_w = 16,31 \frac{W}{m^2 * C}$$

El coeficiente de transferencia de calor entre los dos tubos concéntricos, el tubo receptor y el tubo de la cubierta no se ve atenuado por el vacío existente entre estos por lo tanto su valor será calculado mediante la fórmula: [32]

$$h_{r, r-c} = \frac{\sigma(T_r^2 + T_c^2) * (T_r + T_c)}{\frac{1 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} + \frac{(1 - \varepsilon_2) * A_r}{\varepsilon_2 * A_c}} \quad (3.8)$$

El valor de ε_1 es la emisividad del tubo receptor el cual se encuentra cubierto por una capa de nitrato de aluminio y su valor es $\varepsilon_1 = 0,91$, ε_2 es la emisividad del tubo de cubierta, mismo que esta compuesto de boro silicato, $\varepsilon_2 = 0,88$, F_{12} es el factor de visión que para nuestro caso será 1, como ya se mencionó anteriormente $T_r = 70^\circ\text{C}$ y $T_c = 15^\circ\text{C}$, por lo tanto reemplazando en la ecuación 3.8 se obtiene:

$$h_{r, r-c} = \frac{5,67 \times 10^{-8} * (343^2 + 288^2) * (343 + 293)}{\frac{1 - 0,91}{0,91} + 1 + \frac{(1 - 0,88) * 0,050}{0,88 * 0,058}}$$

$$h_{r, r-c} = 5,94 \frac{W}{m^2 C}$$

Para realizar el cálculo del coeficiente de radiación de la cubierta al ambiente, se debe tomar en cuenta que la temperatura de la cubierta T_c y la temperatura del ambiente T_a tienen una mínima variación en su valor por lo que se la toma como si fuera la misma, con esta consideración se plantea la siguiente ecuación:

$$h_{r, c-a} = \varepsilon_2 * \sigma * 4 * T_a^3 \quad (3.9)$$

Al reemplazar los valores se obtiene:

$$h_{r, c-a} = 0,88 * 5,6 \times 10^{-8} * 4 * 288^3$$

$$h_{r, c-a} = 4,7 \frac{W}{m^2 C}$$

Con los valores obtenidos procedemos a realizar el cálculo del coeficiente global de pérdidas por radiación utilizando la ecuación que plantean Duffie & Beckman

$$U_{Lr} = \left[\frac{A_r}{(h_w + h_{r, c-a}) * A_c} + \frac{1}{h_{r, r-c}} \right]^{-1} \quad (3.10)$$

$$U_{Lr} = \left[\frac{0,050}{(16,31 + 4,7) * 0,058} + \frac{1}{5,94} \right]^{-1}$$

$$U_{Lr} = 4,77 \frac{W}{m^2 C}$$

La ecuación 3.5 nos servirá para el cálculo de las pérdidas totales en los tubos

$$Q_{tubos} = 4,77 * 2,74(290 - 288)$$

$$Q_{tubos} = 26,13W$$

3.4.1.1.2 Cálculo de las pérdidas de calor por conducción en el tanque de almacenamiento

Debido a sus características físicas el tanque presenta pérdidas alrededor de su geometría, para poder determinar dichas pérdidas es necesario realizar un análisis mediante el uso de redes de resistencias térmicas, las cuales nos van a servir para obtener de manera exacta el valor de las pérdidas, en la figura 3.4 se muestra una sección del tanque, en esta sección se representa de manera gráfica las resistencias.

[30]

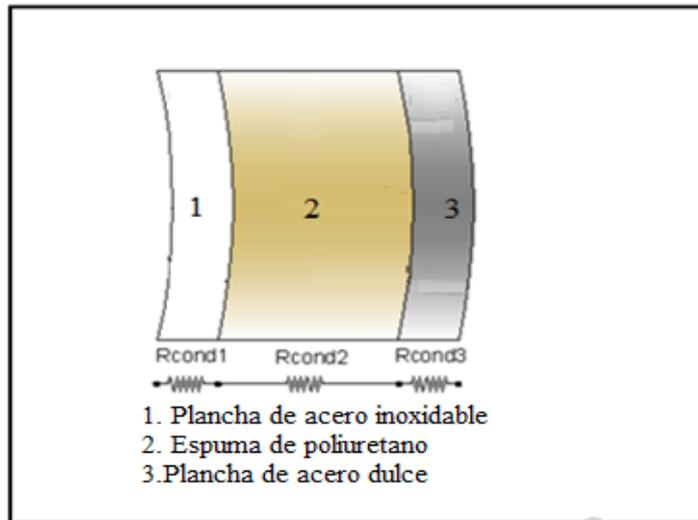


Figura 3.4 Redes de resistencias eléctricas

Las pérdidas que se producen en el tanque de almacenamiento son por conducción, convección, y por radiación, las pérdidas totales en el tanque de almacenamiento (Q_{tanque}) está dada por la siguiente expresión: [30]

$$Q_{tanque} = Q_{cond.} + Q_{conv.} + Q_{rad} \quad (3.11)$$

3.4.1.1.3 Pérdidas por conducción en la periferia del tanque

Para realizar el cálculo de las pérdidas por conducción, utilizaremos el método de red de resistencias eléctricas como se muestra en la figura 32, la ecuación que se utiliza para el cálculo de las pérdidas de calor por conducción es la siguiente:

$$Q_{Conduccion} = \frac{(T_i - T_a)}{R_{Total}} \quad (3.12)$$

Donde, T_i es la temperatura en el interior del tanque, T_a es la temperatura del ambiente, R_{Total} es la sumatoria de las resistencias térmicas por conducción en cada una de las capas en el tanque acumulador, misma que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$R_{Total} = R_{cond1} + R_{cond2} + R_{cond3} \quad (3.13)$$

Para el cálculo de cada una de las resistencias por conducción aplicaremos la ecuación que se muestra a continuación, donde D es el diámetro mayor de la capa que se esté analizando, d es el diámetro menor de la capa, L es la longitud del cilindro, y k es el coeficiente de conductividad térmica de los materiales en las capas cuyos valores se muestran en la tabla 3.4

$$R_{conduccion} = \frac{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}{2 * \pi * L * K} \quad (3.14)$$

MATERIAL	COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TERMICA k [W/m*C]
Plancha de acero inoxidable	15,75
Poliuretano expandido	0,023
Plancha negra	58,6

Tabla 3.4 Coeficiente de conductividad térmica de los materiales [30]

Reemplazando los valores en la ecuación 3.14

$$R_{conduccion\ 3} = \frac{\ln\left(\frac{0,47}{0,468}\right)}{2 * \pi * 1,730 * 58,6} = 7x10^{-6} \left[\frac{C}{W}\right]$$

$$R_{conduccion\ 2} = \frac{\ln\left(\frac{0,468}{0,368}\right)}{2 * \pi * 1,730 * 0,023} = 0,961511 \left[\frac{C}{W}\right]$$

$$R_{conduccion\ 1} = \frac{\ln\left(\frac{0,368}{0,364}\right)}{2 * \pi * 1,730 * 15,75} = 6,4x10^{-5} \left[\frac{C}{W}\right]$$

Utilizando la ecuación 3.13 procedemos a calcular el valor total de las resistencias térmicas por conducción.

$$R_{Total} = 7x10^{-6} + 0,961511 + 6,4x10^{-5}$$

$$R_{Total} = 0,9615 \left[\frac{C}{W}\right]$$

Para realizar el cálculo de las pérdidas de calor por conducción en la periferia utilizaremos la ecuación 3.12.

$$Q_{Conduccion} = \frac{(60 - 15)}{0,9615}$$

$$Q_{Conduccion} = 46,80[W]$$

3.4.1.1.4 Pérdidas por conducción en las tapas del tanque

Para realizar el cálculo de las pérdidas de calor por conducción en las tapas del tanque acumulador utilizaremos de igual manera el método de red de resistencias como se muestra en la figura 3.5

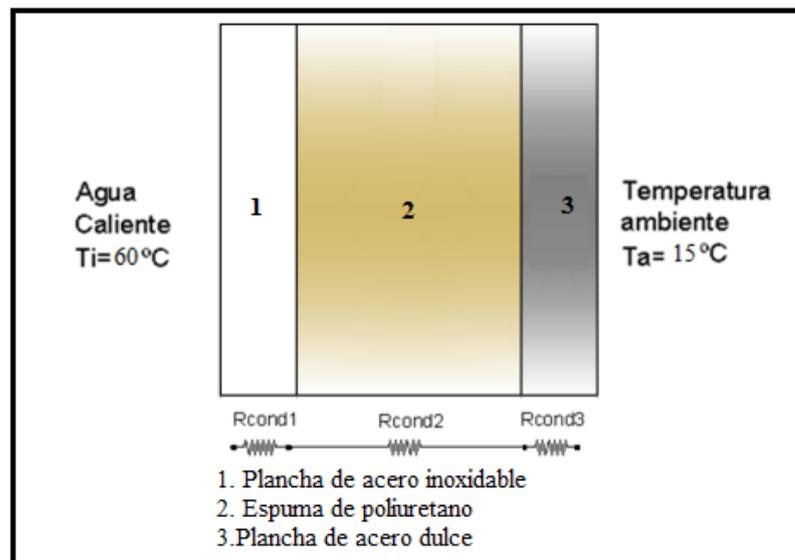


Figura 3.5 Redes de resistencias eléctricas

Por lo tanto se ocupara las mismas ecuaciones del cálculo en la periferia del tanque, con la diferencia que para el cálculo de las resistencias la formula se modifica debido a que las superficies son planas, por lo que utilizaremos la siguiente formula: [30]

$$R = \frac{e}{K * A} \quad (3.15)$$

Donde e es el espesor de las diferentes capas de aislamiento, K es el coeficiente de conductividad térmica, y A es el área de conducción de la capa de aislamiento.

El área se calcula mediante la fórmula:

$$A = \pi * r^2 \quad (3.16)$$

Por lo tanto el valor del área para las tres capas será:

$$A = \pi * 0,235^2$$

$$A = 0,1734m^2$$

Reemplazando en la ecuación 3.15 tenemos:

$$R_1 = \frac{2x10^{-3}}{15,75 * 0,1734} = 7,32x10^{-4} \left[\frac{C}{W} \right]$$

$$R_1 = \frac{0,050}{0,023 * 0,1734} = 12,53 \left[\frac{C}{W} \right]$$

$$R_1 = \frac{1x10^{-3}}{58,6 * 0,1734} = 9,8x10^{-5} \left[\frac{C}{W} \right]$$

A reemplazar los valores obtenidos previamente en la ecuación 3.13 obtenemos el valor total de la resistencia térmica de pérdidas por conducción en una de las tapas, debido a que se tiene dos tapas el valor obtenido deberá ser multiplicado por dos.

$$R_{Total} = 7,32x10^{-4} + 12,53 + 9,8x10^{-5}$$

$$R_{Total} = 12,5378 * 2 = 25,0756 \left[\frac{C}{W} \right]$$

Para saber el valor de las pérdidas de calor por conducción en las tapas laterales del tanque acumulador utilizamos la ecuación 3.12, por lo que se obtiene el siguiente valor:

$$Q_{Conduccion} = \frac{(60 - 15)}{25,0756}$$

$$Q_{Conduccion} = 1,79[W]$$

El valor total de las pérdidas de calor por conducción en el tanque de almacenamiento se da al sumar el valor de las pérdidas en la periferia más las pérdidas en las tapas laterales como se muestra a continuación:

$$Q_{CONDUCCION} = 46,80 + 1,79 = 48,59[W]$$

3.4.1.1.5 Pérdidas por convección en el tanque de almacenamiento

Para realizar el cálculo de las pérdidas por convección utilizaremos la siguiente expresión:

$$Q_{CONVECCION} = hA_t(T_t - T_a) \quad (3.17)$$

Donde, h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, A_t es el área transversal del tanque de almacenamiento, T_t es la temperatura en la superficie exterior del tanque.

Para realizar el cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección utilizaremos la siguiente expresión:

$$h = \frac{N_u * K}{D} \quad (3.18)$$

Donde N_u es el número de Nusselt, K es el coeficiente de conductividad térmica del aire y D es el diámetro exterior del tanque de almacenamiento.

El valor de A_t se calcula mediante la fórmula:

$$A_t = 2 * \pi * r * (l + r) \quad (3.19)$$

Las propiedades del aire son evaluadas en base al valor de la temperatura de película, dicho valor se calcula aplicando la expresión que se muestra a continuación: [28]

$$T_f = \frac{T_t - T_a}{2} \quad (3.20)$$

T_t es la temperatura en la superficie del tanque acumulador, T_a es la temperatura ambiente, por lo tanto reemplazando los valores se tiene

$$T_f = \frac{25 - 11}{2}$$

$$T_f = 7 [C] = 280 [K]$$

Los valores de las propiedades del aire se encuentran en la tabla 3.5 que se muestra a continuación.

Propiedades del aire		
Conductividad térmica (k)	0,02416	[W/m C]
Viscosidad Cinemática (v)	1,3996x10 ⁻⁵	[m ² /s]
Numero de Prandtl (Pr)	0,7344	

Tabla 3.5 Propiedades del aire.

El número de Nusselt para un cilindro horizontal, en nuestro caso el tanque de almacenamiento, debe ser calculado mediante la siguiente expresión:

$$N_u = \left\{ 0.6 \frac{0,387 Ra^{1/6}}{[1 + (0,559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (3.21)$$

De la ecuación 3.21 tenemos el número de Rayleigh (Ra) el cual es el producto de los números de Grashof y Prandtl y se define por la ecuación que se muestra a continuación: [28]

$$R_a = G_r Pr = \frac{g \beta (T_t - T_a) L_c^3}{\nu^2} Pr \quad (3.22)$$

Donde L_c es la longitud característica, que para nuestro caso $L_c=D$, siendo D el diámetro exterior del tanque de almacenamiento, ν es la viscosidad cinemática, β es el coeficiente de expansión volumétrica y se lo calcula mediante la fórmula:

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad (3.23)$$

Reemplazando los valores en la ecuación 3.23 se tiene:

$$\beta = \frac{1}{280}$$

$$\beta = 3,571 \times 10^{-3} [k]$$

Con los valores antes obtenidos procedemos a realizar el cálculo del número de Rayleigh

$$Ra = GrPr = \frac{9,81 * 3,571 \times 10^{-3} (298 - 284) 0,47^3}{1,3996 \times 10^{-5}} 0,7344$$

$$Ra = GrPr = 1,90 \times 10^8$$

Tomamos la ecuación 3.21 y reemplazamos los valores correspondientes encontramos el número de Nusselt como se muestra a continuación:

$$Nu = \left\{ 0.6 \frac{0,387 * 1,90 \times 10^{8^{1/6}}}{[1 + (0,559/0,7344)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu = 14,305$$

Reemplazando los valores en la ecuación 3.18 obtenemos:

$$h = \frac{14,305 * 0,02416}{0,47}$$

$$h = 0,7353 [W/m^2 * C]$$

Por lo tanto el valor de las pérdidas por convección en el tanque de almacenamiento en base a la ecuación 3.17 nos queda como se muestra a continuación:

$$Q_{CONVECCION} = 0,7353 * 2,90(25 - 11)$$

$$Q_{CONVECCION} = 29,85 [W]$$

3.4.1.1.6 Perdidas por radiación en el tanque de almacenamiento

El cálculo de las perdidas por radiación en el tanque de almacenamiento, se lo realiza utilizando la siguiente expresión:

$$Q_{radiacion} = \varepsilon \sigma A_t (T_t^4 - T_a^4) \quad (3.24)$$

Donde ε es la emisividad de la superficie del tanque, cuyo valor es $\varepsilon = 0,20$, σ es el coeficiente de Stefan Boltzman, A_t es el área transversal del tanque de almacenamiento, al reemplazar los valores en la ecuación 3.24 obtenemos

$$Q_{radiacion} = 0,20 * 5,8 \times 10^{-8} * 2,90(298^4 - 284^4)$$

$$Q_{radiacion} = 45,40[W]$$

Por lo tanto el valor total de las pérdidas en el tanque de almacenamiento en base a la ecuación 3,11 será:

$$Q_{tanque} = 48,59 + 29,85 + 45,40$$

$$Q_{tanque} = 123,84[W]$$

Con los valores totales de las pérdidas en el tanque de almacenamiento y en los tubos, utilizando la ecuación 3.4 se calcula el valor de las pérdidas en el calentador solar de tubos de vacío.

$$Q_L = Q_{Tubos} + Q_{Tanque} \quad (3.25)$$

$$Q_L = 26,13 + 123,84$$

$$Q_L = 149,97[W]$$

Para realizar el cálculo de la eficiencia es necesario, determinar el valor de la energía útil que el calentador transmite al fluido, para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_u = Q_{inc} - Q_L \quad (3.26)$$

Al reemplazar los valores se obtiene:

$$Q_u = 704,764 - 149,97$$

$$Q_u = 554,794[W]$$

La eficiencia teórica del calentador solar de tubos de vacío se calcula como se muestra a continuación: [30]

$$\eta = \frac{Q_U}{Q_{inc}} \quad (3.27)$$

Por lo tanto la eficiencia del calentador solar de tubos de vacío es:

$$\eta = \frac{554,794}{704,764}$$

$$\eta = 0.78 \approx 78\%$$

3.4.2 Calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor (Presurizado)

El principio de funcionamiento de los calentadores solares de tubos de vacío con tubo de calor, ocupa el mismo principio del efecto termosifón, la diferencia está en que la circulación es indirecta, es decir el agua no pasa directamente por los tubos como en un sistema de circulación directa. El calentamiento se da mediante el intercambio de calor de un condensador y el fluido a ser calentado, en este caso el agua.

El fluido caloportador (Acetona) se encuentra dentro de un tubo de cobre el cual lleva el nombre de tubo de calor, este tubo se encuentra concéntrico en el tubo de vacío de vidrio sujetado por aletas de aluminio, el calor es aplicado en toda la superficie del tubo de calor, haciendo que la Acetona eleve su temperatura hasta su punto de ebullición logrando de este modo su evaporación que por diferencia de densidad es llevado a la parte superior hacia el condensador, luego de transmitir su energía al agua, se condensa y desciende para ser calentado de nuevo.

3.4.2.1 Calculo de la eficiencia del calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor.

Datos técnicos:

Calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor marca grüntech

Tanque acumulador:

Capacidad del tanque acumulador:	200 litros
Longitud	1730mm
Diámetro exterior	470mm
Diámetro interior	340mm
Tanque interior de acero inoxidable	2mm de espesor
Aislamiento de poliuretano	50mm de espesor
Cubierta de aluminio	3mm de espesor

Tubos de vacío:

Numero de tubos	20
Espesor	3mm
Diámetro exterior	58mm
Diámetro interior	50mm
Longitud útil	1750mm

Tubo de calor:

Diametro del condensador	14mm
Longitud del condensador	60mm
Longitud del tubo evaporador	1750mm
Diametro del tubo de cobre	8,25mm
Espesor	1,5mm
Fluido	Acetona

El cálculo de las pérdidas de calor en este sistema es similar al del calentador solar de tubos de vacío no presurizado, con la diferencia del análisis matemático del tubo de calor, por lo tanto al ser de similares características físicas se tomarán algunos datos obtenidos en la sección anterior.

Al igual que el calentador solar no presurizado este sistema presenta pérdidas únicamente por radiación, como primer punto de análisis se obtendrá las pérdidas por radiación del tubo de calor al tubo receptor de calor de vidrio. [32]

$$h_{r, tc-r} = \frac{\sigma * 4 * T^3}{\frac{1 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1} + 1 \frac{(1 - \varepsilon_2)A_1}{\varepsilon_2 A_2}} \quad (3.28)$$

En donde ε_1 es la emisividad del cobre y tiene un valor de $\varepsilon_1 = 0,025$, ε_2 es la emisividad del tubo de vidrio y A_1 es el área del tubo de calor, A_2 es el área del tubo de vidrio, reemplazando los valores tenemos:

$$h_{r, tc-r} = \frac{5,68 \times 10^{-8} * 4 * 343^3}{\frac{1 - 0,025}{0,025} + 1 \frac{(1 - 0,091) * 00825}{0,091 * 0,050}}$$

$$h_{r, tc-r} = 0,22998 \frac{W}{m^2 C}$$

Duffie & Beckman, propusieron la ecuación para el cálculo del coeficiente de pérdidas por radiación. [32]

$$U_l = \left[\frac{A_r}{h_w + h_{r, c-a} * A_c} + \frac{1}{h_{r, r-c}} + \frac{1}{h_{r, tc-r}} \right]^{-1} \quad (3.29)$$

Al reemplazar los valores en la ecuación se obtiene el valor del coeficiente de pérdidas por radiación

$$U_L = \left[\frac{0,050}{(16,31 + 4,7) * 0,058} + \frac{1}{5,94} + \frac{1}{0,22998} \right]^{-1}$$

$$U_L = 0,21689 \frac{W}{m^2C}$$

Para el cálculo de las pérdidas totales ocuparemos la ecuación 3.5

$$Q_{tubos} = 0,21689 * 2,74(293 - 284)$$

$$Q_{tubos} = 5,25W$$

Debido a que las características físicas del tanque acumulador son las mismas del calentador solar de tubos de vacío, utilizaremos el valor de las pérdidas calculadas anteriormente, cuyo valor es:

$$Q_{tanque} = 123,84[W]$$

Por lo tanto el valor total de las pérdidas se calcula mediante la ecuación 3.25:

$$Q_L = 5,2 + 123,84$$

$$Q_L = 129,04[W]$$

El cálculo del calor de incidencia varía dependiendo de la ubicación por lo tanto es necesario su recalcular debido a que el calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor se encuentra en un lugar diferente, por ello el valor de la irradiación promedio I_p en el sector de *Baños* es de: $312,62[W/m^2]$ para el cálculo se utiliza la ecuación 3.2, donde el valor del coeficiente de corrección α_s es el mismo para ambos calentadores, y su valor es $0,73$

$$Q_{inc} = 312,62 * 0,73 * 2,74$$

$$Q_{inc} = 625,303[W]$$

La energía útil se la calcula con la ecuación 3.26 como se muestra a continuación:

$$Q_u = 625,303 - 129,04$$

$$Q_u = 496,259[W]$$

La eficiencia teórica del calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor se calcula como se muestra a continuación:

$$\eta = \frac{Q_U}{Q_{inc}}$$

Por lo tanto la eficiencia del calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor es:

$$\eta = \frac{496,259}{625,303}$$

$$\eta = 0,80 \approx 80\%$$

Como se puede observar los niveles de eficiencia en los calentadores solares varían con poca diferencia, esto se debe a factores tanto constructivos de los calentadores, como de la ubicación de los mismos.

3.5 Selección del calentador de paso

En la selección de un calentador de paso se va a definir el combustible que va a utilizar dicho calentador, que para nuestro caso será el Gas licuado de petróleo (GLP), el cual es una mezcla de diferentes hidrocarburos, extraídos del procesamiento del gas natural o del petróleo, gaseoso en condiciones atmosféricas, que se licua fácilmente por enfriamiento o compresión, constituido principalmente por propano y butano.

Dentro de los parámetros de la selección de un calentador de paso está también la presión del agua en las líneas de alimentación, dicha presión no debe ser inferior a los 8 psi, una presión menor a esta no podría encender el calentador de paso.

En la tabla 3.6 se muestra la potencia consumida por aparatos que utilizan gas como combustible, también se muestra el caudal, para el caso de los calentadores de paso o calefones, la elección del caudal del calefón depende de cantidad de agua que el usuario desee tener al momento de ocupar el ACS, para nuestro caso utilizaremos un calentador de paso con un caudal de 13L/min, el cual tiene una potencia de alrededor de 30,2 Kw.

El calentador de paso seleccionado, trabajara en conjunto con el calentador solar de tubos de vacío como calentador auxiliar.

Potencia consumida referida al PCS más habituales de los aparatos a gas de uso domestico			
Aparato	Tipo	potencia	
		kW	kcal/h
Cocina	Independiente o completa	11,6	10.000
	Solo encimera	7,0	6.000
	Solo horno-gratinador	4,0	3.400
Calentador instantáneo de agua o caldera mixta	Caudal: 5 litros/min	11,6	10.000
	Caudal: 10 litros/min	23,3	20.000
	Caudal: 13 litros/min	30,2	26.000
	Caudal: 15 litros/min	34,9	30.000
Acumulador de agua (Por cada 50 litros)	Normal	1,9	1.600
	Rápido	4,7	4.000
	Ultra-rapido	10,5	9.000
Calefacción (por cada 1.000 kcal/h de necesidades de calor de la vivienda)	Caldera de calefacción	1,5	1.300
	Caldera mixta (calef.-ACS)	1,5	1.300
	Generador aire caliente	1,5	1.300
	Radiador	1,5	1.300
Chimenea-hogar		13,0	11.180
Secadora		6,0	5.200

Tabla 3.6. Especificaciones técnicas CONAIF-SEDIGAS para la certificación de instaladores de gas. Materias comunes Tipos A, B y C

3.6 Selección de la resistencia eléctrica

Para realizar la selección de la resistencia eléctrica o calentador eléctrico, es necesario saber el consumo máximo de ACS en un día. Debido a que el consumo no es uniforme, se deberá realizar un estudio, para determinar las horas en las que se produce la punta de consumo, es decir en qué horas existe una mayor demanda de ACS.

En la figura 3.6 se puede observar la representación de la variación del caudal en un día de consumo de ACS.

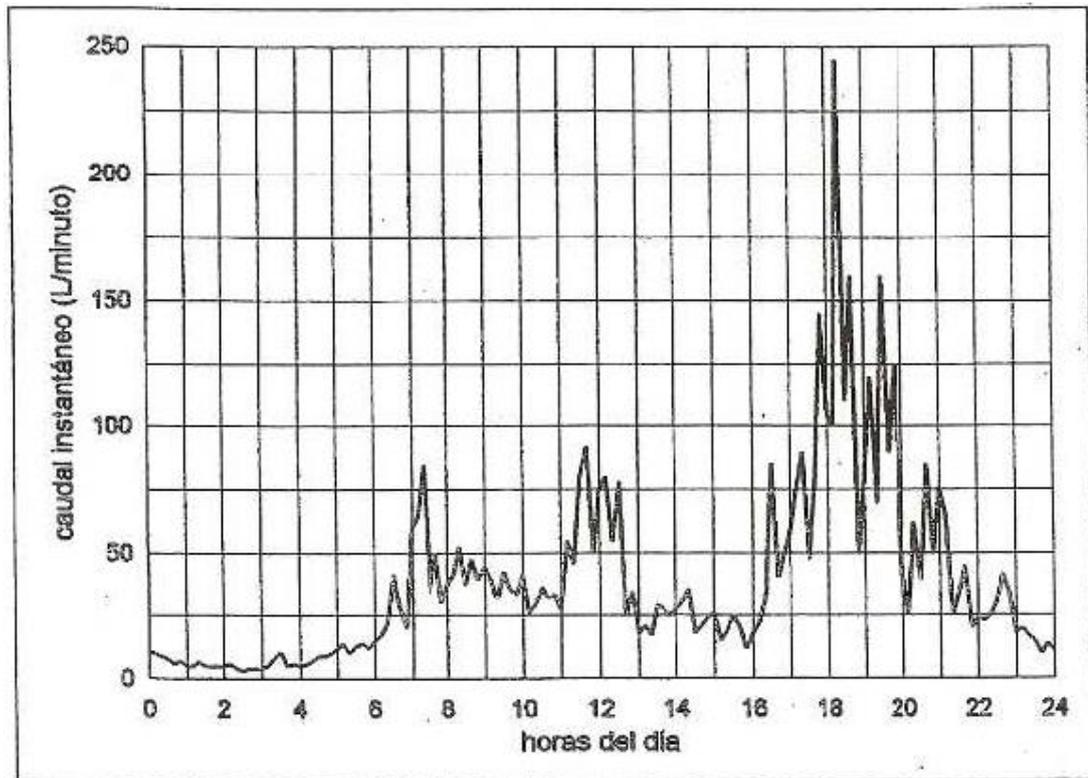


Figura 3.6 Caudal instantáneo de ACS para las diferentes horas del día

Como se puede observar en la figura 35 la mayor demanda de ACS se da entre las 17h00 y las 20h00 con una demanda del 50% del consumo total en un día.

Por lo que el consumo máximo o consumo de punta se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q_p = 0,5 * Q_D \quad (3.30)$$

Donde Q_D es el caudal de demanda el mismo que tiene un valor de 150 L/día, por lo tanto reemplazando los valores tenemos:

$$Q_p = 0,5 * 150 \text{ L/dia}$$

$$Q_p = 75 \text{ l/dia}$$

Al igual que existe un consumo de punta, también existe un periodo o tiempo de punta en el cual la demanda de ACS es máxima, el cálculo de dicho periodo se calcula como se muestra a continuación:

$$Tp = \frac{N^{0,905}}{15 + N^{0,920}} \quad (3.31)$$

Siendo N el número de viviendas, para nuestro caso 1, por tanto:

$$Tp = \frac{1^{0,905}}{15 + 1^{0,920}}$$

$$Tp = 0,31 \text{ horas}$$

Como ya se mencionó anteriormente el consumo de ACS no es uniforme por lo que es necesario calcular el caudal máximo horario medio en la hora de máximo consumo, para lo cual se aplica la siguiente expresión:

$$C_{max} = \frac{Q_p * \varphi}{3600} \quad (3.32)$$

Donde φ es el factor de simultaneidad que en nuestro caso es 1, reemplazando los valores en la ecuación 3,32 obtenemos:

$$C_{max} = \frac{75 \text{ l/dia} * 1}{3600}$$

$$C_{max} = 0,020 \left[\frac{\text{l}}{\text{S}} \right]$$

El calentador eléctrico se encuentra sumergido dentro del tanque acumulador, por lo tanto, para calentar el volumen de agua dentro del tanque de almacenamiento a una temperatura de 50° C le tomara un tiempo t_p de aproximadamente 15 minutos.

Con todos los parámetros antes calculados, podemos calcular la potencia de la resistencia eléctrica mediante la siguiente formula:

$$P = \frac{C_p * \Delta T * C_{max} * Tp}{Tp + t_p} \quad (3.33)$$

Por lo tanto al reemplazar los valores obtenemos:

$$P = \frac{4,181 * 25 * 0,020 * 0,31}{0,31 + 0,25}$$

$$P = 1,15 [Kw]$$

3.7 Diseño de los calentadores híbridos para la obtención de ACS.

Los calentadores solares trabajan con un sistema auxiliar el cual servirá de respaldo en caso de que la demanda de agua caliente sanitaria sea muy alta o no se alcance la temperatura de confort por condiciones climáticas adversas, por lo que se les caracteriza como sistemas híbridos.

El primer sistema híbrido es el que está formado por un calentador solar de tubos de vacío y un calentador de paso o calefón el cual utiliza GLP como combustible, dicho sistema híbrido se encuentra emplazado en el sector de **El Vecino**, mientras que el otro sistema el cual consta de un calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor y una resistencia eléctrica se encuentra ubicado en el sector de **Baños**.

Los circuitos de apoyo están calibrados para encenderse cuando la temperatura del agua en el tanque acumulador descienda a los 25° C, alcanzando una temperatura máxima de 50° C en ambos circuitos.

3.8 Calculo de la eficiencia de los sistemas híbridos

Para realizar el cálculo de la eficiencia de los sistemas se utiliza la fórmula que se muestra a continuación:

$$\eta_s = \frac{\dot{m} * Cp * (T_s - T_i) - T_a * \dot{m} * \ln\left(\frac{T_s}{T_i}\right) + P_{Aux}}{Q_{inc} + Q_{Aux}} \quad (3.34)$$

Donde \dot{m} es el flujo másico de agua que circula por el circuito auxiliar, Cp es el calor específico del agua, T_s es la temperatura de salida del agua la cual es de 50°C, T_i es la temperatura de ingreso del agua al circuito auxiliar cuyo valor es de 25°C, P_{aux} es la potencia en [KW] del sistema auxiliar, Q_{inc} es la energía útil proveniente del sol, Q_{Aux} es la energía útil del calentador auxiliar.

3.8.1 Eficiencia sistema híbrido calentador solar de tubos de vacío – calentador de paso (calefón)

Para el cálculo de la energía del calentador auxiliar utilizaremos la siguiente expresión:

$$Q_{Aux} = \dot{m} * C_p * (T_s - T_i) \quad (3.35)$$

Por lo tanto al reemplazar los valores obtenemos:

$$Q_{Aux} = 0,004682 * 4,180 * (323,15 - 280,15)$$

$$Q_{Aux} = 0,76326[KW]$$

Para realizar el cálculo de la eficiencia del sistema híbrido es necesario saber la potencia que presenta el calentador auxiliar, para lo cual nos vamos a regir en los valores presentados en la tabla 24 que nos presenta un valor de potencia de $P_{Aux} = 30,2[KW]$.

Al reemplazar los valores en la ecuación 3,34 obtenemos:

$$\eta_s = \frac{0,00468 * 4180 * (323,15 - 280,15) - 288,15 * 0,00468 * \ln\left(\frac{323,15}{280,15}\right) + 30,2}{0,70 + 0,76}$$

$$\eta_s = 0,59 \approx 59\%$$

3.8.2 Eficiencia sistema híbrido calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor – calentador eléctrico.

La eficiencia de este sistema híbrido se lo realizara de la misma manera que el anterior sistema, con algunas modificaciones como el flujo másico y la energía aportada por el sistema auxiliar, cuyos valores se muestran a continuación

$$Q_{Aux} = 0,006242 * 4,180 * (323,15 - 298,15)$$

$$Q_{Aux} = 0,65[KW]$$

$$\eta_s = \frac{0,0062 * 4180 * (323,15 - 298,15) - 284,15 * 0,0062 * \ln\left(\frac{323,15}{298,15}\right) + 3}{0,70 + 0,65}$$

$$\eta_s = 0,51 \approx 51\%$$

3.9 Implementación de los sistemas híbridos de calentamiento.

Luego de haber realizado el dimensionamiento de los equipos, se procede con la implementación de los sistemas híbridos de calentamiento en los lugares seleccionados

3.9.1 Sistema híbrido, calentador solar de tubos de vacío – calentador de paso (calefón)

Este sistema se encuentra emplazado en el sector de *El Vecino* de la ciudad de Cuenca, en una vivienda de tipo departamentos, para el uso de una familia de 5 miembros, para la ubicación del calentador solar de tubos de vacío se construyó una base metálica como se muestra en la figura 3.7



Figura 3.7 Base de soporte de calentador solar de tubos de vacío

Sobre la base se instala el calentador solar de tubos de vacío, la instalación de los tubos se la debe realizar en el lugar del emplazamiento como se muestra en la figura 3.8



Figura 3.8 Instalación de tubos calentador solar

Para lograr un máximo rendimiento los tubos de vacío deben estar apuntando hacia el norte o hacia el sur dependiendo de la ubicación del calentador en la vivienda, los tubos deben estar a una inclinación no menor a 20° para garantizar el efecto termosifón, con esta inclinación se logra aprovechar mucho más la radiación incidente sobre los tubos de vacío.

En el mercado existe variedad de marcas de calentadores solares, sin embargo no todos vienen con la correcta inclinación de incidencia, por lo que su eficiencia puede variar, en la figura 3.9 se muestra la correcta inclinación de nuestro calentador.



Figura 3.9 Angulo de inclinación del calentador solar

El sistema auxiliar es un calentador de paso de una capacidad de 13 L/min el cual utiliza GLP como combustible, con rangos de temperatura de 35 a 60° C.

3.9.1.1 Disposición del sistema híbrido.

Como se menciona en la sección 2,3 existen dos formas de conexión de los sistemas, conexión en serie y la conexión en paralelo.

Para este sistema se utilizar la conexión en paralelo como se muestra en la figura 3.10, para la conexión en paralelo el ingreso del agua al calentador de paso se la realiza de manera directa de la red de agua fría por lo que no es necesario el uso de una bomba para elevar la presión de ingreso, la temperatura de ingreso es la misma de la red principal por lo tanto se presenta un mayor consumo de GLP.

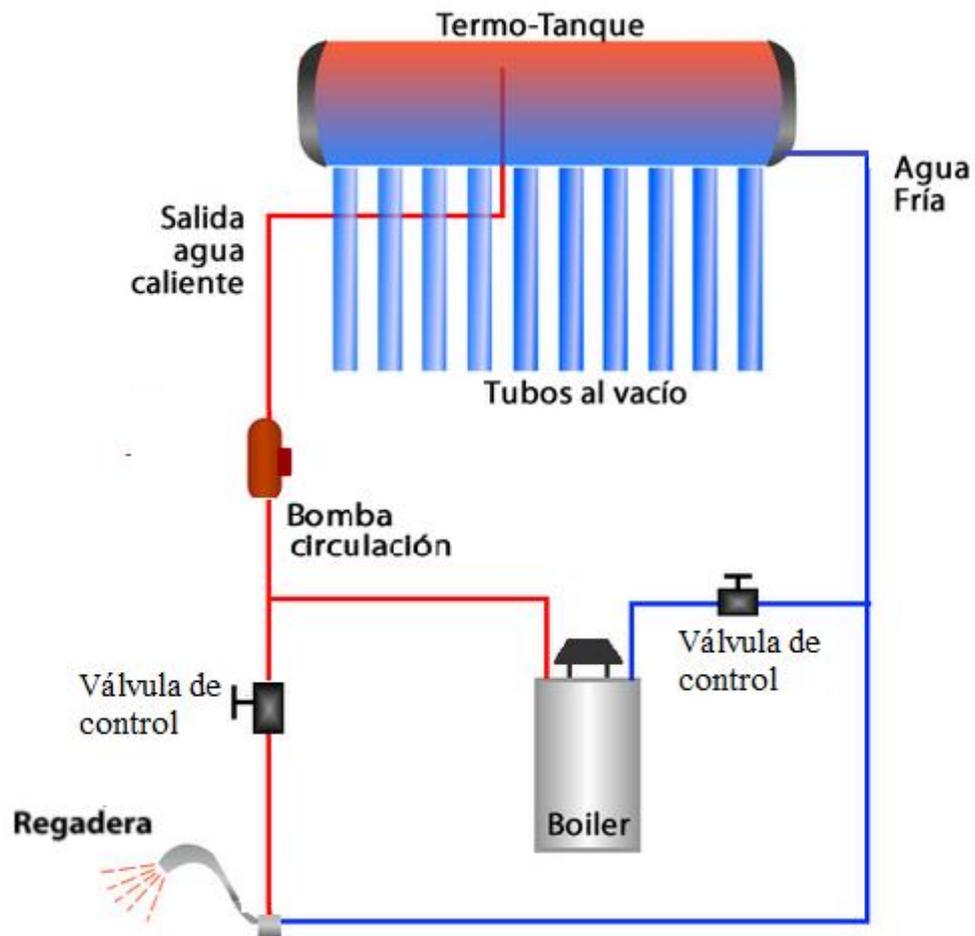


Figura 3.10 Conexión híbrida calentador solar de tubos de vacío-Calefón, conexión en paralelo

El sistema auxiliar entra en funcionamiento mediante la activación de dos electroválvulas las cuales son las encargadas de cerrar el suministro de agua caliente proveniente del calentador solar, y de activar el ingreso de agua de la red al calentador de paso para que este entre en funcionamiento, todo este proceso es realizado por el controlador cuando este haya registrado una temperatura de 25°C en el interior del tanque de almacenamiento, el controlador se encargara de mantener las válvulas abiertas o cerradas hasta que en el tanque de almacenamiento se registre una temperatura de 50°C .

3.9.2 Sistema híbrido, calentador solar de tubos de vacío – calentador de paso (calefón)

Este sistema se encuentra emplazado en el sector de *Misicata* de la Ciudad de Cuenca en una vivienda de tipo unifamiliar y es utilizado para abastecer de ACS a 5 personas.

El calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor se encuentra asentado sobre las vigas de soporte del techo de la lavandería de dicha vivienda, del mismo modo que el calentador anterior los tubos de vacío deben ser armados en el mismo lugar del emplazamiento, como se muestra en la figura 3.11



Figura 3.11 Armado de calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor

Para la junta del condensador del tubo de calor dentro del hogar, ubicado en el tanque de almacenamiento es necesario utilizar pasta térmica la cual permite disminuir las pérdidas de calor, la pasta debe aplicarse de manera generosa como se muestra en la figura 3.12



Figura 3.12 Aplicación de pasta térmica en el condensador del tubo de calor

Del mismo modo que el sistema anterior los tubos del calentador deben estar apuntando al Norte o al Sur, para este caso los tubos se encuentran apuntando hacia el sur como se muestra en la figura 3.13



Figura 3.13. Calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor

Luego de realizar todas las instalaciones hidráulicas se conecta el controlador el cual debe estar a una altura apropiada para el usuario, y se procede a energizar todo el sistema.



Figura 3.14. Controlador calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor

Para los calentadores solares de tubos de vacío con tubo de calor el calentador auxiliar, en este caso el calentador eléctrico viene colocado de fábrica dentro del tanque de almacenamiento, como se muestra en la figura 3.15

La ubicación exacta depende del fabricante, algunos se encuentran ubicados en la parte inferior del tanque, otros se encuentran en la parte lateral o tapa del tanque acumulador, pero todos coinciden en que debe estar junto a la salida del agua caliente, esto debido a que en el interior del tanque no existe un elemento que permita el movimiento interno del agua por lo que la mayor cantidad de agua caliente estará junto a la fuente de calor es decir la resistencia eléctrica.

El accionamiento del sistema auxiliar se lo realiza de manera automática, mediante el controlador el cual está registrando la temperatura del agua proveniente del sensor ubicado en el tanque de almacenamiento, cuando la temperatura desciende a los 25°C, el controlador permite el funcionamiento del sistema auxiliar hasta alcanzar una temperatura predeterminada por el usuario, para nuestro caso 50° C

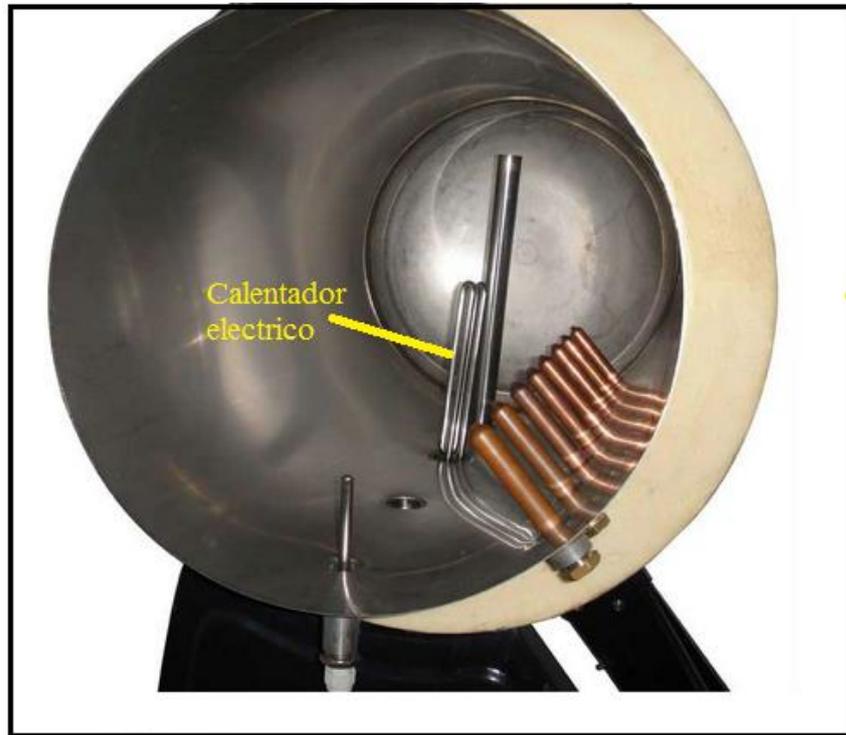


Figura 3.15 Calentador eléctrico

CAPÍTULO IV

MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CALENTAMIENTO HÍBRIDOS IMPLEMENTADOS.

Para obtener una apreciación correcta del comportamiento de los sistemas híbridos de calentamiento de ACS en los lugares de emplazamiento, es necesario realizar un monitoreo, es decir la toma de datos relacionados al funcionamiento de los equipos, al comportamiento de los equipos en todas las condiciones. La toma de datos se la realizara diariamente de manera directa en los lugares de emplazamiento

Los datos obtenidos del monitoreo serán tabulados para su posterior análisis, los datos a ser tomados en el monitoreo son los siguientes:

- Temperatura ambiente [°C]
- Temperatura del agua en el tanque acumulador [°C]
- Temperatura de ingreso del agua de la red [°C]
- Volumen de agua [litros]
- Número de activaciones del calentador auxiliar
- Tiempo de activación del sistema auxiliar.

Para cada uno de los sistemas se ha establecido un horario para la toma de los valores antes mencionados, los datos deben ser tomados mínimo durante 5 veces durante el día, por lo que el primer valor se toma a las 6 am y el ultimo valor debe ser tomado a las 22 pm.

La activación de los calentadores auxiliares debe ser tabulada de manera correcta, por lo que para el calentador eléctrico se procederá a realizar la programación para que el controlador muestre en el display el número de veces que se activó, esto se puede lograr debido a que el fabricante incluye esta opción en el controlador del calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor.

En el caso del calentador de paso o calefón el control del número de veces que este se activa se lo debe realizar de manera manual, de igual manera el tiempo que se lo utiliza se lo debe tabular manualmente.

Para realizar la toma de datos se utiliza la tabla 25 que se muestra a continuación

4.1 Tabulación de datos obtenidos

La toma de datos del monitoreo nos permite tener una apreciación exacta de los parámetros que influyen en el comportamiento de los equipos, los valores obtenidos se presentan a continuación:

4.1.1 Temperatura ambiente.

Los valores obtenidos de la temperatura ambiente en los lugares de emplazamiento de los calentadores solares como se observa en la tabla 4.1 no son los mismos, en el sector de Baños la temperatura es menor.

Temperatura ambiente promedio [C]		
MES	El Vecino	Baños
Febrero	12,4	11,6
Marzo	12,2	11
Abril	12	11,4
Mayo	12,2	11
Junio	12,2	11,2
Julio	12,8	12,4
Agosto	11,2	10,6

Tabla 4.1 Temperatura ambiente promedio

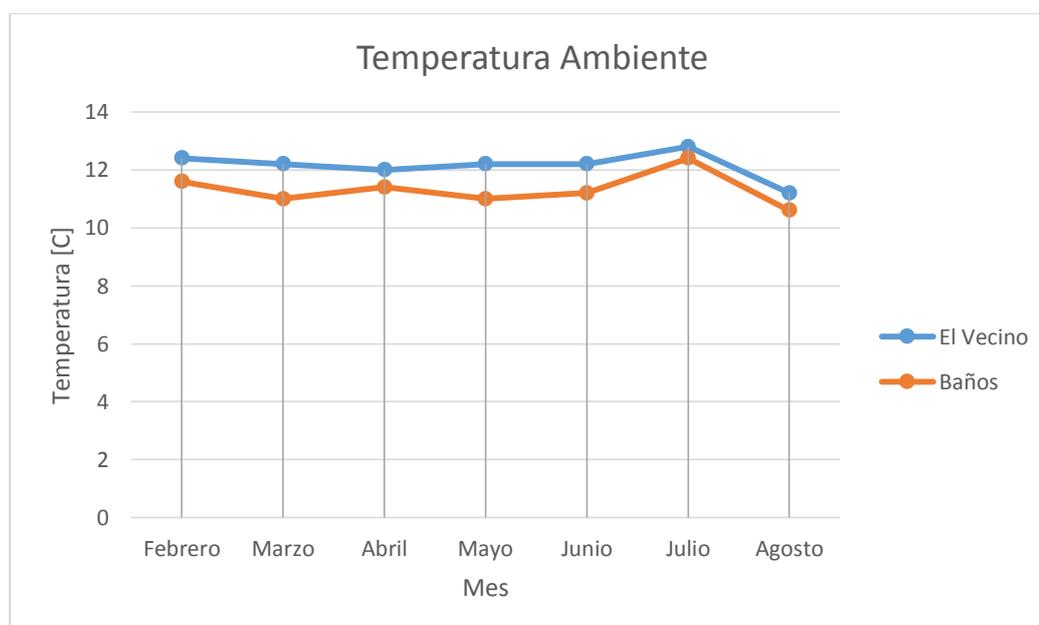


Figura 4.1 Temperatura ambiente promedio

4.1.2 Temperatura en el tanque acumulador.

La temperatura en los tanques de almacenamiento, depende de muchos factores, como el uso del ACS, los niveles de eficiencia del calentador solar, la orientación, los factores climáticos. A continuación se muestra los valores medios de temperatura.

Temperatura en Tanque de Almacenamiento [C]		
MES	El Vecino	Baños
Febrero	45,4	49
Marzo	51,2	51
Abril	50,8	53
Mayo	45,4	45,2
Junio	45,2	47,2
Julio	46,4	49,4
Agosto	45,2	45,2

Tabla 4.2 Temperatura del agua tanque de almacenamiento.

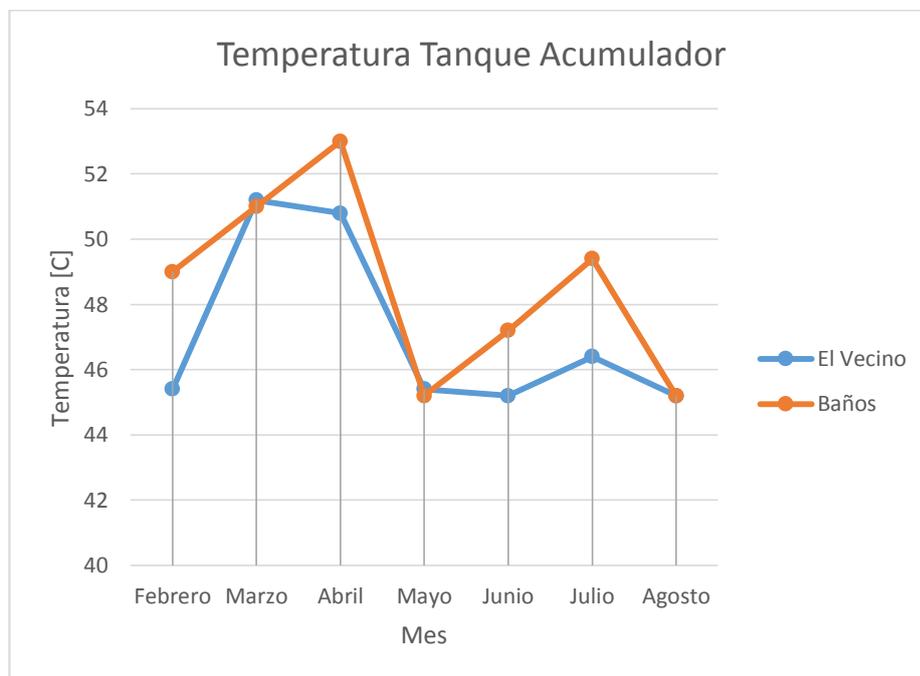


Figura 4.2 Temperatura del agua tanque de almacenamiento

4.1.3 Temperatura de ingreso del agua de la red

El agua de la red que ingresa en los sistemas de calentamiento no son las mismas debido a que el suministro de agua viene de diferentes lugares de abastecimiento, la toma de valores de temperatura del agua de ingreso se la realizo manualmente tomando una muestra de la red y utilizando un termómetro de mercurio.

Temperatura de ingreso de agua de la red [C]		
MES	El Vecino	Baños
Febrero	5,2	3,6
Marzo	5,4	4
Abril	5,2	3,8
Mayo	5,2	5
Junio	4,4	4,4
Julio	5,6	5
Agosto	4,4	4,2

Tabla 4.3 Temperatura de ingreso de agua de la red

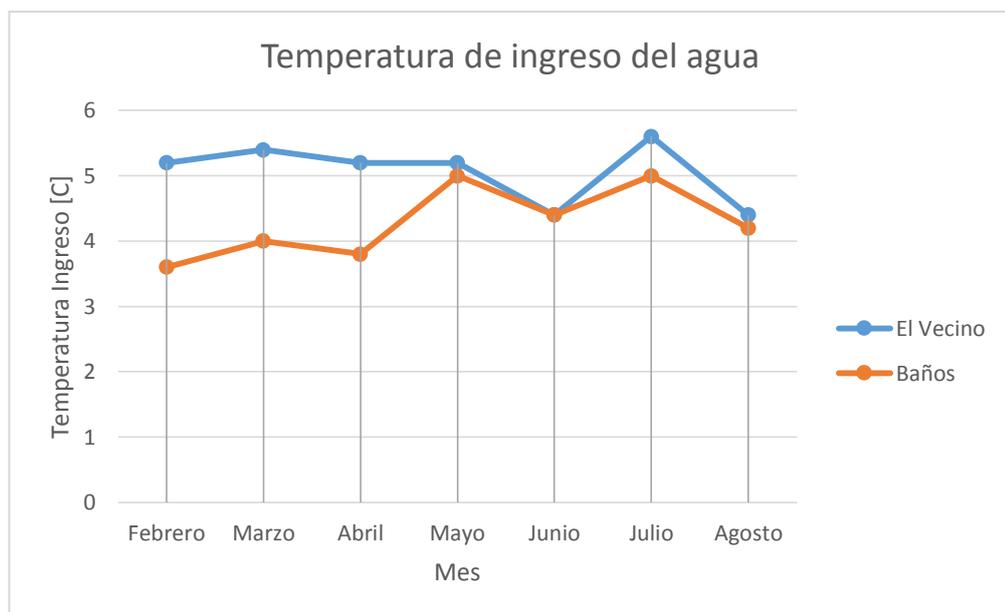


Figura 4.3 Temperatura de ingreso de agua de la red

Con los datos tabulados se calcula los valores de la eficiencia de los calentadores solares, la eficiencia que se calcula es la eficiencia real y la teórica en base a los valores obtenidos del monitoreo.

Para el cálculo de la eficiencia de los calentadores solares y de los sistemas híbridos de calentamiento se realiza un programa en el editor de datos de Microsoft Excel.

4.2 Eficiencia real y teórica del calentado solar de tubos de vacío.

Como se puede observar en la tabla 4.4 el valor de la eficiencia teórica es mayor a la eficiencia real, con un aproximado de un 2% esto se debe a que los valores utilizados para el cálculo de la eficiencia teórica son valores aproximados, mientras que los valores utilizados en el cálculo de la eficiencia real son valores obtenidos del monitoreo de los parámetros de funcionamiento del calentador solar de tubos de vacío.

Eficiencia Calentador solar de tubos de vacío		
MES	Eficiencia Real	Eficiencia Teórica
Febrero	76	81
Marzo	77	81
Abril	74	81
Mayo	72	78
Junio	74	77
Julio	73	78
Agosto	68	74

Tabla 4.4 Eficiencia calentador solar de tubos de vacío

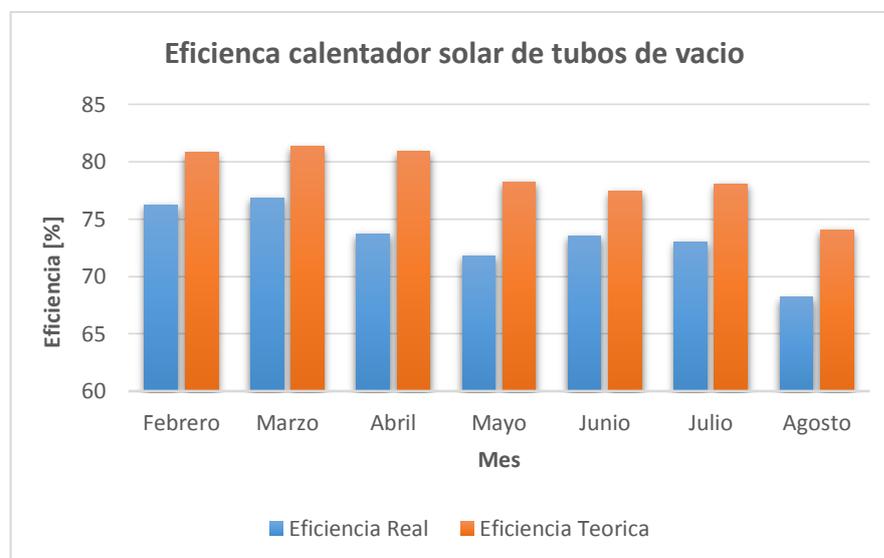


Figura 4.4 Eficiencia calentador solar de tubos de vacío

4.3 Eficiencia real y teórica del calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor.

La eficiencia real del calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor como se observa en la tabla 4.5 al igual que el calentador solar de tubos de vacío es menor con una diferencia de alrededor del 2%.

Eficiencia Calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor		
MES	Eficiencia Real	Eficiencia Teórica
Febrero	83	84
Marzo	82	83
Abril	80	82
Mayo	79	82
Junio	78	81
Julio	72	75
Agosto	74	79

Tabla 4.5 Eficiencia Calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor

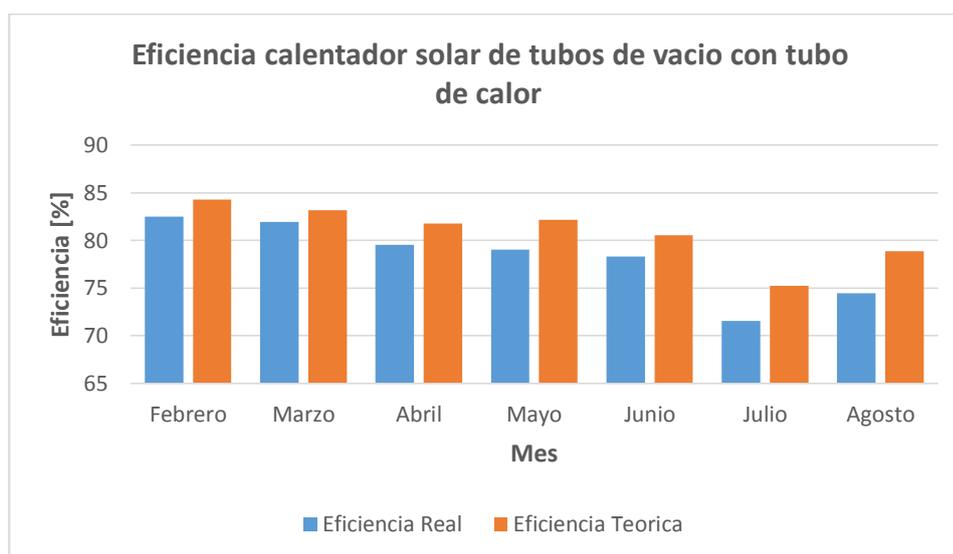


Figura 4.5 Eficiencia Calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor

4.4 Eficiencia real y teórica del sistema híbrido, Calentador solar de tubos de vacío – Calentador de paso

Los calentadores solares al trabajar en conjunto con un calentador convencional, forma un sistema de calentamiento híbrido, el cual trabaja como un solo sistema, la eficiencia real que es aquella que se calcula con los datos obtenidos del monitoreo y la eficiencia teórica que es la eficiencia en base a datos aproximados de temperatura se presentan en la tabla 4.6

Eficiencia Sistema Híbrido Calentador solar - Calentador de paso		
MES	Eficiencia Real	Eficiencia Teórica
Febrero	56	59
Marzo	59	61
Abril	57	58
Mayo	52	54
Junio	50	53
Julio	51	52
Agosto	53	54

Tabla 4.6 Eficiencia sistema híbrido calentador solar – calentador de paso

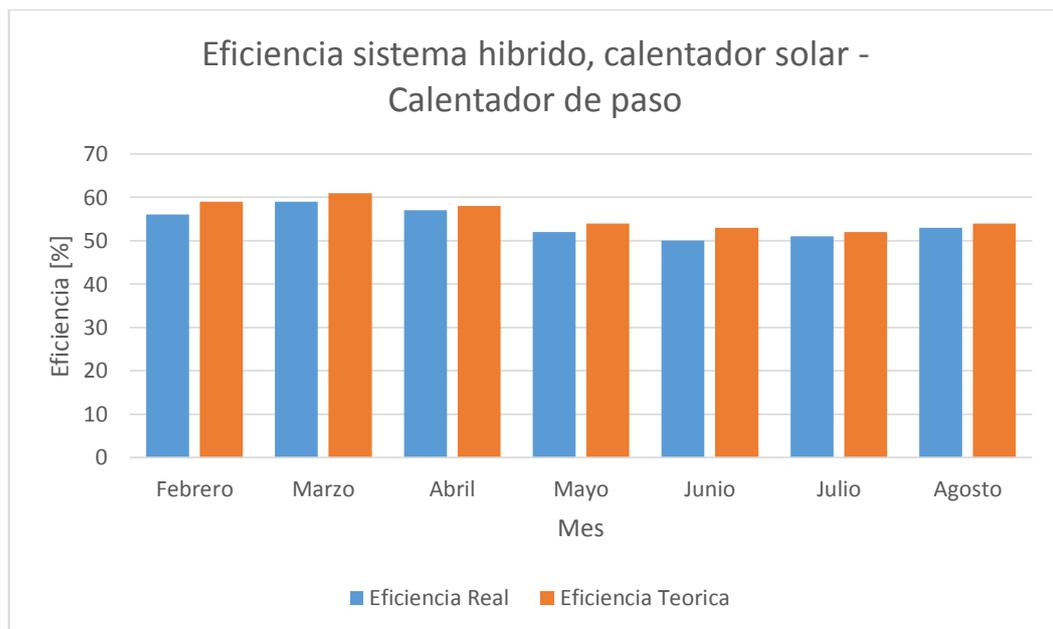


Figura 4.6 Eficiencia sistema híbrido calentador solar – calentador de paso

4.5 Eficiencia real y teórica del sistema híbrido, Calentador solar de tubos de vacío – Calentador eléctrico

Los valores de eficiencia para el sistema híbrido que utiliza energía eléctrica para el sistema auxiliar se muestran en la tabla 4.7

Eficiencia sistema híbrido Calentador solar - Calentador eléctrico		
MES	Eficiencia Real	Eficiencia Teórica
Febrero	49	51
Marzo	47	50
Abril	48	49
Mayo	47	48
Junio	47	49
Julio	44	47
Agosto	42	45

Tabla 4.7 Eficiencia sistema híbrido calentador solar - calentador eléctrico

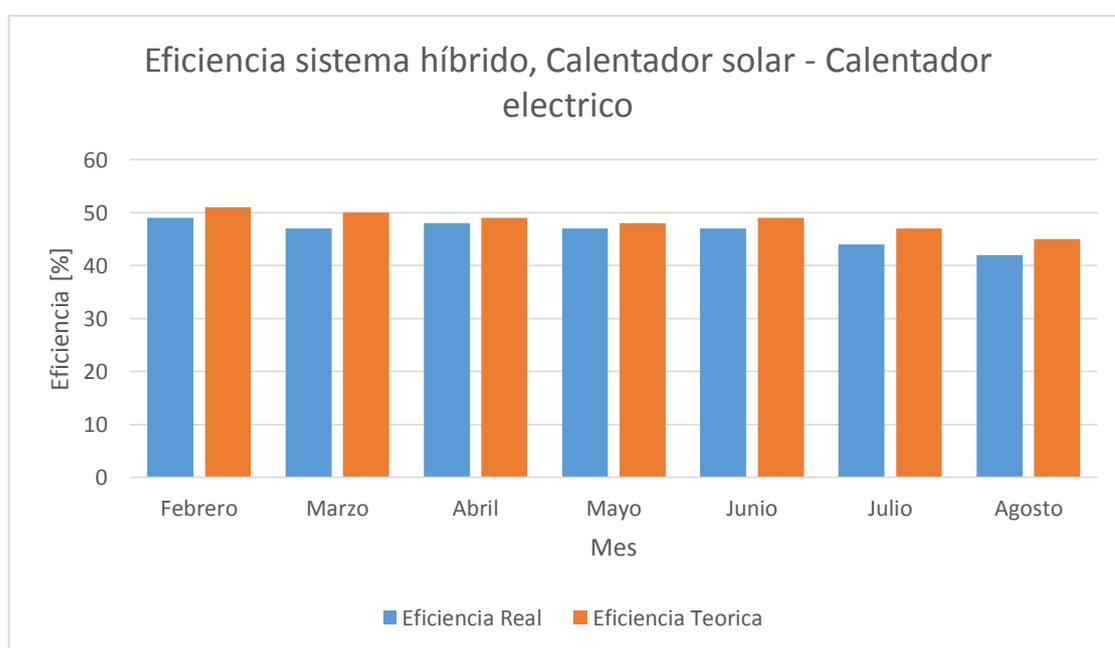


Figura 4.7 Eficiencia sistema híbrido calentador solar - calentador eléctrico

Los valores obtenidos de la diferencia de eficiencia entre el valor de la eficiencia real y la eficiencia teórica en los dos calentadores nos permiten validar el conjunto de ecuaciones utilizadas para el cálculo de su eficiencia, en este caso se obtiene un

variación del 2%, por lo que para compensar este valor se propone utilizar un factor de corrección de 1,02 y las fórmula quedaría de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{Q_U}{Q_{inc}} * 1,02$$

Los valores de la eficiencia de los sistemas híbridos muestran niveles de alrededor de un 50%, esto se debe a las pérdidas existentes en el sistema y a la eficiencia de los calentadores auxiliares, los cuales tienen una eficiencia del 60% para el caso del calentador de paso y una eficiencia del 50% para el caso del calentador eléctrico.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS TÉCNICO FINANCIERO

Debido a la necesidad mundial de disminuir la emisión de CO₂ hacia la atmósfera proveniente de la quema de combustibles fósiles y de fuentes no renovables de energía, surge la necesidad de un proyecto el cual permita cumplir con dicho objetivo, pero es necesario realizar un análisis para identificar un beneficio económico mediante el aprovechamiento de una energía que llega directa y gratuitamente del sol. Es por ello que el análisis económico de este proyecto es de gran importancia, puesto que es el primer aspecto a ser cuestionado por las personas que optan por un sistema de calentamiento de ACS mediante el uso de calentadores solares.

Como se puede observar en los capítulos anteriores este tipo de instalaciones supone un ahorro energético considerable, por lo que ahora se va a estudiar si se produce un ahorro a nivel económico.

5.1 Análisis del sistema híbrido de calentador solar de tubos de vacío - calentador de pasos.

Para determinar si se va a alcanzar un beneficio económico mediante el aprovechamiento de la energía solar es necesario realizar un estudio detallado de todos los factores económicos involucrados en cada uno de los sistemas de calentamiento

5.1.1 Inversión inicial.

Estos rubros corresponden a los costos de los equipos necesarios para la puesta en marcha del presente proyecto, los cuales se determinan como constantes, detallamos a continuación los costos de cada uno de ellos.

5.1.1.1 Calentador solar de tubos de vacío.

Dependiendo de la arquitectura de las viviendas en algunas ocasiones será necesario la construcción de una base sobre la cual se emplazara el calentador solar, en la tabla 5.1 se presentan los costos de los materiales que se utilizaron para la construcción de dicha base.

Estructura metálica				
Designación.	Unidad	Cantidad	Precio unitario.	Costo total USD.
Placas base de 200*200*6mm.	m ²	0,16	99,41	15,90
Tubo de 100*100*3mm	m.	6	19,25	115,50
Tubo de 50*25*2mm	m.	11,5	4,75	54,62
Plancha antideslizante de 2mm.	m ²	5,29	15,02	79,45
ASUMIENDO A UN VALOR TOTAL DE				265,48
Nota: en los precios unitarios incluye el costo de mano de obra y pintura para el emplazamiento.				

Tabla 5.1 Costo estructura metálica

En la tabla 5.2 presentamos los costos de los equipos del calentador solar de tubo de vacío.

Calentador solar de tubos de vacío				
Designación.	Unidad	Cantidad	Precio unitario USD.	Costo total USD.
Controlador electrónico.		1	1335,58	1335,58
Electroválvulas NC.		1		
Tanque acumulador.		1		
Tubos de vacío.		20		
Sonda censora de temperatura.		1		
Base de soporte de tanque y tubos.		1		
Cables de conexión.	Metros.	10		
Costo de mano de obra de instalación.	Unidad.	1	350,00	350,00
ASUMIENDO A UN VALOR TOTAL EN DOLARES DE				1685,58

Tabla 5.2 Costo calentador solar de tubos de vacío

5.1.1.2 Calentador auxiliar.

El calentador auxiliar para el primer sistema híbrido de calentamiento será un calentador de paso o calefón el cual utiliza GLP como fuente de combustible, en la siguiente tabla presentamos los costos de los equipos del calentador auxiliar.

Calentador auxiliar (calentador de paso)				
Designación.	Unidad	Cantidad.	Precio unitario USD.	Costo total USD.
Equipo de 14 litros	Unidad.	1	235,58	235,58
Válvula de gas con gasómetro.	Unidad.	1		
Manguera de gas industrial.	Metros.	2		
Pila D.	Unidad.	1		
Abrazadera metálica.	Unidad.	2		
Manguera de abasto.	Unidad.	1		
Mano de obra.	Unidad.	1	100,00	100,00
ASUMIENDO A UN VALOR TOTAL DE				335,58

Tabla 5.3 Costo calentador auxiliar

5.1.1.3 Materiales del sistema hidráulico para la conexión del sistema híbrido

El sistema hidráulica nos permitirá realizar las conexiones del sistema híbrido de abastecimiento de ACS al domicilio, en la siguiente tabla se presentan los costos de los materiales y equipos necesarios.

Sistema hidráulico conexión sistema híbrido				
Designación.	Unidad.	Cantidad	Precio unitario.	Costo total USD.
Nudo universal (PVC).	Unidad	1	1,15	1,15
Tee roscable (PVC).	Unidad	1	1,23	1,23
Unión roscable (PVC).	Unidad	2	0,95	1,90
Neplos perdidos (PVC).	Unidad	2	0,75	1,50
Tubos de abasto	Unidad	8	3,06	24,48
Válvula de compuerta.	Unidad	1	4,25	4,25
Válvula check.	Unidad	3	3,86	11,58
Válvula de esfera.	Unidad	4	6,00	24,00
Electroválvula de 110V.	Unidad	2	85,00	170,00
Uniones rectas de termo fusión.	Unidad	11	0,95	10,45
Codos a 90 grados en termo fusión.	Unidad	9	1,20	10,80
Tee en termo fusión.	Unidad	2	1,30	2,60
Medidor de caudal.	Unidad	1	35,00	35,00
Bomba para agua (GRUNDFOS) de 120W.	Unidad	1	150,00	150,00
Manómetro.	Unidad	1	8,00	8,00
Tee roscable (Bronce).	Unidad	1	2,50	2,50
Codo a 90 grados (Bronce).	Unidad	1	3,26	3,26
Neplos perdidos (Bronce).	Unidad	2	1,53	3,06
Tubería en termo fusión.	Metros.	10	5,00	50,00
Teflón.	Metros.	25	0,05	1,25
ASUMIENDO A UN VALOR TOTAL EN DOLARES DE				517,01
Nota: en los precios unitarios incluye el costo de mano de obra.				

Tabla 5.4 Costo sistema hidráulico conexión sistema híbrido

Siendo la inversión inicial de un valor igual a 2803,65 dólares americanos.

5.1.2 Costos de operación.

En este punto se hará referencia a los costos necesarios para el funcionamiento o puesta en marcha del sistema posterior al emplazamiento.

5.1.2.1 Costo de consumo de GLP en el calentador de paso

Para el calentamiento del agua en casos de pérdidas de temperatura, ausencia de energía solar o elevado consumo de agua de almacenamiento se activa el calentador auxiliar en este caso un calentador de paso (calefón), cuyo consumo se calculó de la siguiente forma:

$$C = m * t * n \quad (5.1)$$

Donde:

- C= consumo de gas.
- m= flujo másico del gas (0,84Kg/h), según la sección 1.4.2
- t= tiempo.
- n= número de calefones.
- Teniendo de esta forma:

$$C = 0,84 * 0,25 * 1$$

- $C = 0,21 \text{ kg}$ Por día.
- $C = 6,3 \text{ Kg}$ por mes.
- $C = 75,6 \text{ Kg}$ por año.

Lo que equivale a 0,42cilindros de GLP de 15Kg. Por cada mes, 5,04 cilindros por año

De acuerdo a este análisis el consumo anual en peso de Kg de gas del sistema auxiliar es de 75.6Kg.

Según datos de fabricantes la eficiencia de los calentadores de paso se encuentre en el 70% se debe considerar también que existe una cantidad de GLP que no se puede consumir debido a la descompresión del tanque, lo que produce un desaprovechamiento del total del consumo del tanque, se considera a este desperdicio como el 5% del total, es por ello que presentamos en la siguiente tabla el consumo anual incluyendo la ineficiencia y el desperdicio.

Consumo de GLP sistema hibrido calentador solar – calentador de paso			
Los presentes valores son correspondientes a un periodo de un año.			
Consumo anual de GLP kg.	Porcentaje de ineficiencia kg. (30%)	Desperdicio por no consumo kg.(5%)	TOTAL kg.
75,6	22,68	3,78	102,06

Tabla 5.5 Consumo de GLP sistema hibrido

Para el calentamiento de agua sanitaria en los domicilios se utiliza el cilindro de GLP de 15kg, siendo el precio oficial según Petrocomercial para el 2014 es de 0.10ctvs por kg, de tal forma que por el consumo anual de 102,06 [Kg] de GLP se deberá pagar la suma de 10,20 dólares americanos

5.1.2.2 Consumo de energía eléctrica.

Para el consumo de la energía eléctrica se considerara el consumo de la bomba, sabiendo que la potencia de la bomba es de 0.75kw, el funcionamiento promedio diario de dicha bomba es de 1.25 horas al día, 37.5 horas al mes, también se debe tomar en cuenta el consumo de energía del controlador del calentador solar el cual funciona durante las 24 horas del día los 365 días al año.

Realizando un análisis tendremos como resultado el consumo de 28.12kw/h. Los precios por kW/hora en la ciudad de Cuenca son de 0,12 ctvs. Los mismos que están incluidos los cargos por recolección de basura, cuerpo de bomberos y planilla de luz, por lo tanto, tenemos un costo 2.41 dólares al mes y 28.92 dólares al año.

5.1.2.3 Costo por mantenimiento.

Debido a que el equipo es ubicado por lo general en las partes más altas de la vivienda no se encuentra expuesta a daños en el sistema, es por ello que el único mantenimiento general que se le deberá dar es una limpieza la cual se lo realizará una vez por año con una persona calificada, siendo el valor de 30\$ por cada año.

5.1.2.4 Costo por depreciación.

La depreciación es un reconocimiento racional y sistemático del costo de los bienes distribuido durante su vida útil estimada, con el fin de obtener los recursos necesarios para la reposición de los equipos para de esta manera conservar la operatividad del

sistema, su distribución se debe hacer utilizando los criterios de tiempo y productividad.

Para este caso se utilizaremos el método de la depreciación por línea recta el cual el monto es igual en cada año.

Según datos del fabricante la vida útil del calentador solar es de 20 años y el valor que se desea obtener después de su vida útil es de 0 dólares (valor residual).

Depreciación por el método de la línea recta.		
Designación.	Unidad.	Valor.
Inversión inicial.	Dólares.	2803,65
Valor residual.	Dólares.	0,00
Vida útil.	Años.	20

Tabla 5.6 Depreciación del sistema híbrido calentador solar – Calentador de paso

$$\text{depreciación} = \frac{\text{inversión inicial} - \text{valor residual.}}{\text{vida util.}}$$

$$\text{depreciación} = \frac{2803,65 - 0,00}{20}$$

depreciación = 140,18 Dólares por cada año durante veinte años.

5.2 Análisis del calentador convencional o calentador de pasos (calefón).

5.2.1 Inversión inicial.

Para poder hacer una comparación realizaremos el presente análisis de la misma forma que se realizó para el sistema híbrido de calentamiento.

5.2.1.1 Calentado de paso

En la tabla 5.7 se muestra el costo de un equipo de calentador de paso (Calefón).

Calentador de paso				
Designación.	Unidad	Cantida	Precio unitario	Costo total
		d	USD.	USD.
Equipo de 14 litros	Unidad.	1	235,58	235,58
Válvula de gas con gasómetro.	Unidad.	1		
Manguera de gas industrial.	Metros.	2		
Pila D.	Unidad.	1		
Abrazadera metálica.	Unidad.	2		
Manguera de abasto.	Unidad.	1		
Mano de obra.	Unidad.	1	100,00	100,00
ASUMIENDO A UN VALOR TOTAL DE				335,58

Tabla 5.7. Costo calentador de paso

5.2.1.2 sistema hidráulico

A continuación presentamos la tabla 5.8 de los precios por la instalación considerando una de las más sencillas para el sistema hidráulico.

Sistema hidráulico				
Designación.	Unidad.	Cantidad.	Precio unitario.	Costo total USD.
Nudo universal (PVC).	Unidad.	1	1,15	1,15
Tee roscable (PVC).	Unidad.	1	1,23	1,23
Unión roscable (PVC).	Unidad.	2	0,95	1,90
Neplos perdidos (PVC).	Unidad.	2	0,75	1,50
válvula check	Unidad.	3	3,86	11,58
Válvula de esfera.	Unidad.	4	6,00	24,00
Uniones rectas de termo fusión.	Unidad.	11	0,95	10,45
Codos a 90 grados en termo fusión.	Unidad.	9	1,20	10,80
tee en termo fusión.	Unidad.	2	1,30	2,60
Tubería en termo fusión.	Metros.	10	5,00	50,00
Teflón.	Metros.	25	0,05	1,25
ASUMIENDO A UN VALOR TOTAL DE				116,46
Nota: en los precios unitarios incluye el costo de mano de obra.				

Tabla 5.8 Costo sistema hidráulico conexión calentador de paso

Siendo la inversión inicial de un valor igual a 452,04 dólares americanos.

5.2.2 Costos de operación.

Estos costos son los gastos necesarios para el funcionamiento o puesta en marcha del calentador convencional posterior al emplazamiento.

5.2.2.1 Costo por consumo de GLP

En el capítulo anterior se desarrolló el estudio del consumo de gas el cual está en la sección 1.4.2 en el cual obtuvimos como resultado el consumo anual de 378Kg, pero en este caso también consideraremos el 30% de ineficiencia y el 5% de desperdicios obteniendo de tal forma la siguiente tabla.

Consumo de GLP del calentador de paso			
Los presentes valores son correspondientes a un periodo de un año.			
Consumo anual de GLP kg.	Porcentaje de ineficiencia kg. (30%)	Desperdicio por consumo kg. (5%)	TOTAL kg.
378	113,4	18,9	510,3

Tabla 5.9 Consumo de GLP del calentador de paso

Para el calentamiento de agua sanitaria en los domicilios se utiliza el cilindro de GLP de 15kg, siendo el precio oficial según Petrocomercial para el 2014 es de 0.10ctvs por kg.

De tal forma que por el consumo anual de 510.3Kg de GLP se deberá pagar la suma de 51,03 dólares.

5.2.2.2 Costo por mantenimiento.

El equipo requiere un mantenimiento anual completo el cual se lo realiza una vez por año por recomendaciones del fabricante, cuyo mantenimiento asume al 10% del costo del equipo, siendo este el valor de 32,25USD cada año.

5.2.2.3 Costo por depreciación.

La depreciación es un reconocimiento racional y sistemático del costo de los bienes distribuido durante su vida útil estimada, con el fin de obtener los recursos necesarios para la reposición de los equipos para de esta manera conservar la operatividad del sistema, su distribución se debe hacer utilizando los criterios de tiempo y productividad.

Para este caso se utilizara el método de la depreciación por línea recta el cual el monto es igual en cada año.

Según datos del fabricante la vida útil del calentador de paso es de 5 años y el valor que se desea obtener después de su vida útil es de 0 dólares (valor residual).

Depreciación por el método de la línea recta.		
Designación.	Unidad.	Valor.
Inversión inicial.	Dólares.	452.54
Valor residual.	Dólares.	0,00
Vida útil.	Años.	5

Tabla 5.10 Depreciación del calentador de paso

$$\text{depreciación} = \frac{\text{inversión inicial} - \text{valor residual}}{\text{vida útil}} \quad (5.2)$$

$$\text{depreciación} = \frac{452.54 - 0,00}{5}$$

depreciación = 90.50 Dólares por cada año durante cinco años

Para considerar que existe un ahorro de consumo combustible (GLP) que utilizaría el calentador de paso, debido a la utilización de la energía solar realizaremos la comparación entre las dos tablas mostradas a continuación, para definir cuál es el ahorro.

Consumo de GLP sistema híbrido calentador solar – calentador de paso			
Los presentes valores son correspondientes a un periodo de un año.			
Consumo anual de GLP kg.	Porcentaje de ineficiencia kg. (30%)	Desperdicio por no consumo kg. (5%)	TOTAL kg.
75,6	22,68	3,78	102,06

Tabla 5.11 Consumo de GLP sistema híbrido calentador solar – calentador de paso

Comparación

Designación.	Cantidad (kg) por año.
Calentador solar con sistema auxiliar.	102,06
Calentador de paso.	510,3
Ahorro de combustible GLP	408,24

Tabla 5.12 Comparación de consumo de GLP del sistema híbrido y calentador convencional

Según la tabla anterior el ahorro en dólares es de 408.24 (0.10ctvs.)=40.82 dólares.

5.3 Evaluación económica del sistema híbrido de calentamiento, calentador solar de tubos de vacío – calentador de paso

Esta evaluación nos indicara la rentabilidad del proyecto, esto nos ayudara mucho para la toma de decisiones de si se implementa o no el equipo, su análisis se basa en una comparación establecida entre el Costo Anual Uniforme Equivalente (C.A.U.E.) del sistema hibrido calentador solar-calentador de paso y por otra parte el sistema convencional de calentador de pasos (calefón), siendo este el criterio a utilizarse para la toma de decisiones.

El método del CAUE consiste en convertir todos los ingresos y egresos, en una serie uniforme de pagos. Obviamente, si el CAUE es positivo, es porque los ingresos son mayores que los egresos y por lo tanto, el proyecto puede realizarse; pero, si el CAUE es negativo, es porque los ingresos son menores que los egresos y en consecuencia el proyecto debe ser rechazado.

Este criterio de evaluación es útil en aquellos casos en los cuales la **TIR** y el **VAN** no son del todo precisos.

Su fórmula esta dada por:

$$CAUE = VAN * \frac{(1 + i)^n * i}{(1 + i)^n - 1} \quad (5.3)$$

Dónde:

- i : Corresponde a la tasa de interés.
- n : Corresponde al número de periodos a evaluar.

Para realizar el análisis se realiza en el escenario actual, debido a que en nuestro país el subsidio del Gas Licuado de Petróleo establece que el precio por cilindro de 15kg es equivalente a un dólar con sesenta centavos.

Obteniendo los siguientes resultados del (V.A.N) y (C.A.U.E.).

Escenario	Periodo (años).	Valor del v.a.n.	Valor del costo anual.
Sistema híbrido de calentador solar de tubos de vacío - calentador de paso (calefón).	10	5085,60	658,60
Calentador convencional calentador de paso (calefón).	10	2392,52	309,84

Tabla 5.13 Valor de costo anual del sistema hibrido y calentador convencional

De acuerdo a los valores obtenidos y según los indicadores del criterio del Costo Anual Uniforme Equivalente se establece que sería conveniente optar por el sistema convencional de calentador de paso (calefón), debido a que este nos presenta el menor costo anual.

Presentamos a continuación un análisis en el caso de que el subsidio del GLP se retire según proyecciones del gobierno de turno, lo que no es equivaldría a un incremento del costo de GLP, el cual por cada cilindro de 15kg. Se le asignará un costo de 26 dólares aproximadamente.

Obteniendo de esta manera los siguientes resultados.

ESCENARIO	Periodo (años).	Valor del v.a.n.	Valor del costo anual.
Sistema híbrido de calentador solar de tubos de vacío - calentador de paso (calefón).	10	6370,07	824,95
Calentador convencional calentador de paso (calefón).	10	8815,37	1141,63

Tabla 5.14 Valor de costo anual del sistema híbrido y calentador convencional

De acuerdo a los valores obtenidos y según los indicadores del criterio del Costo Anual Uniforme Equivalente se establece que sería conveniente optar por el sistema híbrido de calentador solar de tubos de vacío-calentador de paso (calefón), debido a que este nos presenta el menor costo anual.

5.4 Análisis del sistema híbrido de calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor - calentador eléctrico.

Al igual que el sistema anterior con el presente proyecto se busca una autosuficiencia de los usuarios al evitar la dependencia de fuentes energéticas convencionales para ello es necesario demostrar la factibilidad económica de dicho proyecto.

5.4.1 Inversión inicial.

Estos rubros corresponden a los costos de los equipos necesarios para la puesta en marcha del presente proyecto, los cuales se determinan como constantes, detallamos a continuación los costos de cada uno de ellos.

5.4.1.1 Calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor.

Con el mismo criterio del sistema anterior, dependiendo de la arquitectura de la viviendas en algunas ocasiones será necesario la construcción de una base sobre la cual se emplazara el calentador solar, la base puede variar en su forma y dimensiones, en la tabla 5.15 se presentan los costos de los materiales que se utilizaron para la construcción de dicha base.

Estructura metálica				
Designación.	Unidad	Cantidad	Precio unitario.	Costo total USD.
Correa G de 150X50X15X3mm.	Metros	6	12,87	77,22
Pernos de M10.	Metros	4	0,45	1,8
ASUMIENDO A UN VALOR TOTAL DE				79,02
Nota: en los precios unitarios incluye el costo de mano de obra y pintura para el emplazamiento.				

Tabla 5.15 Costo estructura metálica.

En la tabla 5.16 presentamos los costos de los equipos del calentador solar de tubo de vacío con tubo de calor.

Calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor				
Designación.	Unidad	Cantidad	Precio unitario USD.	Costo total USD.
Controlador electrónico.	Unidad.	1	1670,46	1670,46
Tanque acumulador.	metros	1		
Tubos de vacío.	Unidad.	20		
Sonda censora de temperatura.	Unidad.	1		
Base de soporte de tanque y tubos.	Unidad.	1		
Cables de conexión.	metros	10		
Costo de mano de obra de instalación.	Unidad.	1	350	350
ASUMIENDO A UN VALOR TOTAL DE				2020,46

Tabla 5.16. Costo calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor

5.4.1.2 Calentador auxiliar (Calentador eléctrico)

El calentador auxiliar para el segundo sistema híbrido de calentamiento será un calentador eléctrico, en la siguiente tabla presentamos los costos de los equipos del calentador auxiliar.

Calentador auxiliar (calentador eléctrico)				
Designación.	Unidad	Cantidad	Precio unitario USD.	Costo total USD.
Equipo de 3kw.	Unidad.	1	150	150
Contactor.	Unidad.	1		
Breaker.	Metros.	1		
cable AWG número 8	Metros.	15	2	30
Costo de mano de obra de instalación.	Unidad.	1	60	60
ASUMIENDO A UN VALOR TOTAL DE				240

Tabla 5.17 Costo del calentador auxiliar (Calentador eléctrico)

5.4.1.3 Materiales para el sistema hidráulico.

El sistema hidráulica nos permitirá realizar las conexiones de abastecimiento de ACS al domicilio, en la siguiente tabla se presentan los costos de los materiales y equipos para el emplazamiento del sistema hidráulico.

Sistema hidráulico				
Designación.	Unidad.	Cantidad.	Precio unitario.	Costo total USD.
Nudo universal (PVC).	Unidad.	1	1,15	1,15
Unión roscable (PVC).	Unidad.	4	0,95	3,8
Neplos perdidos (PVC).	Unidad.	2	0,75	1,5
Tubos de abasto	Unidad.	2	3,06	6,12
Válvula de compuerta.	Unidad.	3	4,25	12,75
válvula check	Unidad.	2	3,86	7,72
Codos a 90 grados.	Unidad.	6	1,2	7,2
Medidor de caudal.	Unidad.	1	35	35
Tubería en PVC.	Metros.	24	5	120
Teflón.	Metros.	25	0,05	1,25
Mano de obra.	Unidad.	1	120	120
ASUMIENDO A UN VALOR TOTAL DE				316,49

Tabla 5.18 Costo sistema hidráulico conexión sistema híbrido

Siendo la inversión inicial de un valor igual a 2655,97 dólares americanos.

5.4.2 Costos de operación.

Estos costos son los necesarios para el funcionamiento o puesta en marcha del sistema posterior al emplazamiento.

5.4.2.1 Costo por consumo de energía (Kw/h).

Para el calentamiento del agua en casos de pérdidas de temperatura, ausencia de energía solar o elevado consumo de agua de almacenamiento se activa el calentador auxiliar en este caso un calentador eléctrico, cuyo consumo se detalla en la sección 1.4.1, en el cual consideraremos una eficiencia del 60% para el calentador eléctrico, este valor es presentado por el fabricante, el cual nos brinda el siguiente resultado.

Sistema solar con sistema auxiliar.		
Los presentes valores son correspondientes a un periodo de un año.		
consumo anual de energía eléctrica kw/h.	Porcentaje de ineficiencia kw/h. (40%)	TOTAL kw/h.
479,1	19,164	498,264

Tabla 5.19 Costo consumo energía eléctrica calentador eléctrico

Realizando un análisis tendremos como resultado el consumo de 498.26kw/h. Los precios por kW/hora en la ciudad de Cuenca son de 0,12 ctvs. Los mismos que están incluidos los cargos por recolección de basura, cuerpo de bomberos y planilla de luz.

Teniendo un costo 59,79 dólares al año.

5.4.2.2 Costo por mantenimiento.

Debido a que el equipo es ubicado por lo general en las partes más altas de la vivienda no se encuentra expuesta a daños en el sistema, es por ello que el único mantenimiento general que se le deberá dar es una limpieza la cual se lo realizara una vez por año con una persona siendo el valor de 30\$ por cada año.

5.4.2.3 Costo por depreciación.

Para este caso se utilizara el método de la depreciación por línea recta el cual el monto es igual en cada año.

Según datos del fabricante la vida útil del calentador solar es de 20 años y el valor que se desea obtener después de su vida útil es de 0 dólares (valor residual).

Depreciación por el método de la línea recta.		
Designación.	Unidad.	Valor.
Inversión inicial.	Dólares.	2655.97
Valor residual.	Dólares.	0
Vida útil.	Años.	20

Tabla 5.20 Depreciación sistema híbrido

$$\text{depreciación} = \frac{\text{inversión inicial} - \text{valor residual}}{\text{vida útil.}}$$

$$\text{depreciación} = \frac{2655.97 - 0,00}{20}$$

depreciación = 132.79 Dólares por cada año durante veinte años.

5.5 Análisis del calentador convencional (calentador eléctrico.)

5.5.1 Inversión inicial.

Para poder hacer una comparación realizaremos el presente análisis de la misma forma que se realizó para el sistema del calentador solar.

5.5.1.1 Calentador eléctrico.

En la tabla 5.21 se muestra el costo de un equipo de calentador eléctrico.

Sistema convencional de calentador eléctrico.				
Designación.	Unidad	Cantidad	Precio unitario USD.	Costo total USD.
Equipo de 3kw.	Unidad.	1	150	150
Contactador.	Unidad.	1		
breaker.	Metros.	1		
cable AWG número 8	Metros.	15	2	30
Costo de mano de obra de instalación.	Unidad.	1	60	60
ASUMIENDO A UN VALOR TOTAL DE				240

Tabla 5.21 Costo calentador auxiliar

5.5.1.2 Sistema hidráulico

A continuación presentamos una tabla de los precios por la instalación considerando una de las más sencillas para el sistema hidráulico.

Sistema hidráulico:				
Designación.	Unidad.	Cantidad.	Precio unitario.	Costo total USD.
Nudo universal (PVC).	Unidad.	1	1,15	1,15
Unión roscable (PVC).	Unidad.	4	0,95	3,8
Neplos perdidos (PVC).	Unidad.	2	0,75	1,5
Tubos de abasto	Unidad.	2	3,06	6,12
Válvula de compuerta.	Unidad.	3	4,25	12,75
válvula check	Unidad.	2	3,86	7,72
Codos a 90 grados.	Unidad.	6	1,2	7,2
Medidor de caudal.	Unidad.	1	35	35
Tubería en PVC.	Metros.	24	5	120
Teflón.	Metros.	25	0,05	1,25
Mano de obra.	Unidad.	1	120	120
ASUMIENDO A UN VALOR TOTAL DE				316,49

Tabla 5.22 Costo sistema hibrido calentador auxiliar

Siendo la inversión inicial de un valor igual a 556,49 dólares americanos.

5.5.2 Costos de operación.

Estos costos son los que serían necesarios para el funcionamiento o puesta en marcha del sistema posterior al emplazamiento.

5.5.2.1 Costo por consumo de energía (Kw/h).

Para el calentamiento del agua en casos de pérdidas de temperatura, ausencia de energía solar o elevado consumo de agua de almacenamiento se activa el calentador auxiliar en este caso un calentador eléctrico, cuyo consumo se detalla en la sección 1.4.1, en el cual consideraremos una eficiencia del 60% para el calentador eléctrico, este valor es presentado por el fabricante, el cual nos brinda el siguiente resultado.

Calentador convencional (calentador eléctrico)		
Los presentes valores son correspondientes a un periodo de un año.		
consumo anual de energía eléctrica kw/h.	Porcentaje de ineficiencia kw/h. (40%)	TOTAL kw/h.
2250	90	2340

Tabla 5.23 Consumo de energía calentador convencional

Realizando un análisis tendremos como resultado el consumo de 2340kw/h. Los precios por kW/hora en la ciudad de Cuenca son de 0,12 ctvs. Los mismos que están incluidos los cargos por recolección de basura, cuerpo de bomberos y planilla de luz.

Teniendo un costo 280.8 dólares al año.

5.5.2.2 Costo por mantenimiento.

Debido a que el equipo es ubicado por lo general en las partes más altas de la vivienda no se encuentra expuesta a daños en el sistema, es por ello que el único mantenimiento general que se le deberá dar es una limpieza la cual se lo realizara una vez por año con una persona siendo el valor de 30\$ por cada año.

5.5.2.3 Costo por depreciación.

Para este caso se utilizara el método de la depreciación por línea recta el cual el monto es igual en cada año.

Según datos del fabricante la vida útil del calentador eléctrico es de 3 años y el valor que se desea obtener después de su vida útil es de 0 dólares (valor residual).

Depreciación por el método de la línea recta.		
Designación.	Unidad.	Valor.
Inversión inicial.	Dólares.	556,49
Valor residual.	Dólares.	0,00
Vida útil.	Años.	3

Tabla 5.24 depreciación calentador convencional

$$depreciación = \frac{inversión\ inicial - valor\ residual.}{vida\ util.}$$

$$depreciación = \frac{556,49 - 0,00}{3}$$

depreciación = 185.49 Dólares por cada año durante tres años.

Para considerar que existe un ahorro de consumo de energía (Kw) que utilizaría el calentador eléctrico, debido a la utilización de la energía solar realizaremos la comparación entre las dos tablas mostradas a continuación, para definir cuál es el ahorro.

Sistema híbrido calentador solar – calentador eléctrico		
Los presentes valores son correspondientes a un periodo de un año.		
consumo anual de energía eléctrica kw/h.	Porcentaje de ineficiencia kw/h. (40%)	TOTAL kw/h.
479,1	19,164	498,26

Tabla 5.25 Consumo de energía sistema híbrido calentador solar – calentador eléctrico

Calentador convencional		
Los presentes valores son correspondientes a un periodo de un año.		
consumo anual de energía eléctrica kw/h.	Porcentaje de ineficiencia kw/h. (40%)	TOTAL kw/h.
2250	90	2340

Tabla 5.26 Consumo de energía calentador eléctrico

Comparación

Designación.	Cantidad (kw/h) por año.
Calentador solar con sistema auxiliar.	498,26
Calentador de paso.	2340
Ahorro de combustible GLP	1841,74

Tabla 5.26 Comparación de consumo de energía eléctrica sistema híbrido – calentador eléctrico

Según la tabla anterior el ahorro en dólares es de 1841,74 (0.12ctvs.)=221.00 dólares.

5.6 Evaluación económica del sistema híbrido de calentamiento, calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor – calentador eléctrico.

Esta evaluación nos indicara la rentabilidad del proyecto, esto nos ayudara mucho para la toma de decisiones de si se implementa o no el equipo, su análisis se basa en una

comparación establecida entre el Costo Anual Uniforme Equivalente (C.A.U.E.) del sistema híbrido calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor-calentador eléctrico y por otra parte el sistema convencional de calentador eléctrico, siendo este el criterio a utilizarse para la toma de decisiones.

El método del CAUE consiste en convertir todos los ingresos y egresos, en una serie uniforme de pagos. Obviamente, si el CAUE es positivo, es porque los ingresos son mayores que los egresos y por lo tanto, el proyecto puede realizarse; pero, si el CAUE es negativo, es porque los ingresos son menores que los egresos y en consecuencia el proyecto debe ser rechazado.

Este criterio de evaluación es útil en aquellos casos en los cuales la **TIR** y el **VAN** no son del todo precisos.

Su fórmula esta dada por:

$$CAUE = VAN * \frac{(1 + i)^n * i}{(1 + i)^n - 1} \quad (5.4)$$

Dónde:

- **i**: Corresponde a la tasa de interés.
- **n**: Corresponde al número de periodos a evaluar.

Obteniendo los siguientes resultados del (V.A.N) y (C.A.U.E.).

Escenario	Periodo (años).	Valor del v.a.n.	Valor del costo anual.
Sistema hibrido de calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor – calentador eléctrico.	10	4595,29	368,74
Calentador convencional calentador eléctrico.	10	4800,61	385,21

Tabla 5.27 Valor costo anual sistema hibrido – calentador eléctrico

De acuerdo a los valores obtenidos y según los indicadores del criterio del Costo Anual Uniforme Equivalente se establece que sería conveniente optar por el sistema hibrido de calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor-calentador eléctrico, debido a que este nos presenta el menor costo anual, aunque cabe recalcar que la diferencia es de apenas 16,47 dólares por lo que se podría decir que en base al análisis económico cualquiera de los dos sistemas seria viables. Pero no se debe dejar de lado el tema ambiental, es por ello que al momento de la selección la mejor opción sigue siendo la del sistema hibrido de calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor – calentador eléctrico.

CONCLUSIONES

En la encuesta realizada se determinó que los calentadores de paso o calefones que utilizan GLP como fuente de combustible son ocupados por la gran mayoría de las viviendas con un 85% de la muestra, las duchas eléctricas son utilizadas por un 14% de viviendas, mientras que los calentadores solares son ocupados apenas por un 1% de la muestra,

El consumo promedio de agua caliente para uso sanitario por persona se estableció en 30 litros al día a una temperatura de 50 – 60 °C, estos valores se obtuvieron de la encuesta realizada en la zona urbana de la ciudad de Cuenca.

Los países en Latinoamérica que ponen más atención al uso de la energía solar para la obtención de agua caliente sanitaria son Cuba, México, Brasil y República Dominicana, de igual manera en otros países como Estados Unidos, Francia, Alemania, España y Cina, países en los cuales los gobiernos dan un incentivo económico a aquellas personas que utilicen el sol como fuente de energía para la obtención de ACS.

Los tubos de vacío, fueron diseñados por primera vez por la universidad Qing Hua en Beijing en la década de los ochenta, con el desarrollo de los tubos surgen los sistemas de calentamiento de agua mediante tubos de vacío, la adición de un tanque acumulador, una base para los tubos y toda la valvulería necesaria.

La calidad de los tubos y los tanques construidos en la China no satisfacen los estándares de calidad en la unión europea por lo que en la actualidad en los países de la Unión Europea los tubos son Construidos en países como Alemania en donde se maneja estándares de calidad muy altos, de igual manera el tanque acumulador es construido de acuerdo a los estándares de calidad exigidos por los diferentes países.

El proyecto se lo realizo en las viviendas que se encuentran ubicadas en la zona urbana de la ciudad de Cuenca provincia del Azuay. Las viviendas fueron elegidas en base a los datos obtenidos de las encuestas realizadas previamente, en la cual se pudo observar que una familia promedio de la ciudad de Cuenca está formada por cinco miembros, basándonos en esta información, la primera vivienda se encuentra ubicada en el sector de la parroquia el Vecino, mientras que la otra vivienda se encuentra en la parroquia Baños.

Para realizar el estudio se utilizó datos meteorológicos y de temperatura de los lugares en donde se encuentran emplazados los sistemas de calentamiento, los datos que se utilizaron son la velocidad del viento, radiación solar, humedad relativa y temperatura ambiente, para lo cual se toma la información del proyecto **“Métodos para el control de calidad y complementación de datos faltantes en parámetros meteorológicos relacionados con la utilización de energías renovables - desarrollo de mapas eólico y solar del cantón Cuenca”**

Para el presente estudio se utilizaran los calentadores solares de tubos de vacío en sus dos versiones, el calentador solar de tubos de vacío (*no presurizado*), y el calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor (*presurizado*).

Para obtener una apreciación correcta del comportamiento de los sistemas híbridos de calentamiento de ACS en los lugares de emplazamiento, se realizó un monitoreo, es decir la toma de datos relacionados al funcionamiento de los equipos, al comportamiento de los equipos en todas las condiciones. La toma de datos se la realizo diariamente de manera directa en los lugares de emplazamiento

Al realizar el cálculo de la eficiencia del calentador solar de tubos de vacío se puede observar que la eficiencia teórica es mayor a la eficiencia real, con un aproximado de un 2% esto se debe a que los valores utilizados para el cálculo de la eficiencia teórica son valores aproximados, mientras que los valores utilizados en el cálculo de la eficiencia real son valores obtenidos del monitoreo de los parámetros de funcionamiento del calentador solar de tubos de vacío.

De igual manera la eficiencia real del calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor al igual que el calentador solar de tubos de vacío es menor con una diferencia de alrededor del 2%.

Al calcular la eficiencia real del sistema híbrido calentador solar de tubos de vacío – calentador de paso, se puede observar que dicha eficiencia es menor a la eficiencia teórica, de igual manera la eficiencia real para el sistema híbrido calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor – calentador eléctrico es menor a la eficiencia teórica.

La eficiencia real de los sistemas híbridos de calentamiento es menor a la eficiencia real de los calentadores solares, esto se debe a las pérdidas ocasionadas por varios factores como tuberías, accesorios, la ineficiencia de los calentadores auxiliares.

Para determinar si se alcanza un beneficio económico se utilizó el criterio del Costo Anual Uniforme Equivalente el cual establece que sería conveniente optar por el sistema híbrido de calentador solar de tubos de vacío - calentador de paso, en lugar de solo el calentador de paso.

Utilizando el mismo criterio del Costo Anual Uniforme Equivalente se establece que sería conveniente optar por el sistema híbrido de calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor-calentador eléctrico, frente al calentador eléctrico, debido a que este nos presenta el menor costo anual, aunque cabe recalcar que la diferencia es de apenas 16,47 dólares por lo que se podría decir que en base al análisis económico cualquiera de los dos sistemas sería viables. Pero no se debe dejar de lado el tema ambiental, es por ello que al momento de la selección la mejor opción sigue siendo la del sistema híbrido de calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor – calentador eléctrico.

RECOMENDACIONES

Para la obtención de un calentador solar de tubos de vacío se recomienda pedir los datos del fabricante como vida útil del equipo, temperatura máxima de calentamiento, inclinación de los tubos, para el caso del calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor es de gran importancia conocer la presión mínima necesaria del agua de red para su correcto funcionamiento.

Para la implementación de los sistemas híbridos de calentamiento se recomienda la construcción de una base sobre la cual se pueda realizar el emplazamiento, dicha base debe contar con el espacio necesario para poder moverse con los equipos al momento del armado de los mismos, y poder dar un correcto mantenimiento.

Si las tuberías provenientes del calentador solar están expuestas será necesario el aislamiento térmico mediante el uso de espuma de poliuretano o el uso de “cañuelos” esto con la finalidad de evitar las pérdidas de calor en el agua al momento de su uso.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de recursos naturales no renovables, Secretaria de hidrocarburos del Ecuador, Normativa hidrocarburifera. Disponible en: http://www.hidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/08/NORMATIVA_HIDROCARBURIFERA.pdf.
- [2] Ministerio de recursos naturales no renovables, Secretaria de hidrocarburos del Ecuador, Programas y servicios. Disponible en: <http://www.hidrocarburos.gob.ec/programas-y-servicios/>.
- [3] Ecuador en cifras, resultados censo de población. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>.
- [4] Resultados del censo de población y vivienda 2010, fascículo provincial Azuay, disponible en: http://www.inec.gob.ec/cpv/descargables/fasciculos_provinciales/azuay.pdf
- [5] Quinear-Taylor, Investigación de Mercado, 5ª edición 1999, disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/816/3/CAPITULO%20I.pdf>.
- [6] Probabilidad acumulada inferior para distribución normal, intervalo de probabilidad para medias muestrales, disponible en: http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/mat/dnormal.pdf.
<http://www.vadenumeros.es/sociales/intervalo-de-probabilidad.htm>.
- [7] *Limitación de la demanda energética, instalaciones solares térmicas Predimensionado y Dimensionado*, Grupo Formadores Andalucía. Plan de Formación del CTE – CSCAE, disponible en: <https://es.scribd.com/doc/239454437/Dimensionado-Energia-Solar-Termica>.
- [8] *Instalaciones de gas en baja presión*, INACAP Capacitación para el Desarrollo Confederación de la Producción y de Comercio, PROCOBRE Santiago - Chile 5ª Edición 2004
- [9] Economía de la energía Energía eólica, energía solar y otros tipos de energía. Ecología, disponible en: <http://www.economiadelaenergia.com/energia-solar/>.
- [10] *Solar thermal and concentrated solar power barometer, A study carried out by EurObserv'ER*, . The CSP plant generation capacity in the EU at the end of 2013, disponible en: http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro221_en.pdf.

- [11] *Sun in Action II –A Solar Thermal Strategy for Europe*. ESTIF (EUROPEAN SOLAR THERMAL INDUSTRY FEDERATION). Abril 2003.
- [12] Energy Information Administration, EIA Form - 63A, "Annual Solar Thermal Collector Manufacturers Survey. Disponible en: <http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/showtext.cfm?t=ptb1006>.
- [13] *colectores solares para agua caliente*, Cora Placco, Luis Saravia, Carlos Cadena inenco, unsa –conicet Salta, Growing markets worldwide. Sun & Wind Energy. 1/2007- ISSN 1861-2741 H2607, disponible en: http://www.inti.gob.ar/e-renova/pdf/colectores_solares_aguacaliente.pdf.
- [14] CNAE – Comisión Nacional para el Ahorro de Energía de México, disponible en: www.conae.gob.mx.
- [15] *gaceta oficial del distrito federal de México*. Norma ambiental para el distrito federal nadf-008-ambt-2005. 7 de abril de 2006, disponible en: www.conae.gob.mx.
- [16] *Um Banho de Sol para o Brasil*. Delcio Rodrigues y Roberto Matajs. Instituto Vitae Civilis. Janeiro 2005
- [17] *“El estado actual del uso de la energía solar en el Perú”*. Manfred Horn. Publicado en “perúeconómico”, Lima, Vol 29, Nr.11, Nov. 2006: Los retos energéticos del Perú.
- [18] Historia de la energía solar térmica, disponible en: <http://www.sitiosolar.com/historia-de-la-energia-solar-termica-2/>
- [19] *Una historia de la energía solar*, Mariano Vázquez Espí Ondara (España), 21 de enero de 2010, disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html>.
- [20] *The Integral Passive Solar Water Heater Book Breadboxes, batchers, and other types of simple solar water heaters*, David A. Bainbridge The Passive Solar Institute, disponible en: <http://www.mangus.ro/pdf/Manual%20incalzire%20solara%20pasiva.pdf>.
- [21] *Análisis técnico y económico de un colector solar asistido por un calentador eléctrico* UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, Gabino Tzontecomani Ávila, disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2360/Tesis.pdf?sequence=1>.

- [22]Solar Evacuated Tube Collectors Navitron Ltd, disponible en: www.navitron.org.uk.
- [23]*Una opción eficiente y sostenible para el calentamiento de agua*, Luis Bériz Pérez, disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/energia39/html/articulo02.htm>.
- [24]*Energía a favor del medio ambiente*, ENERSUR, disponible en: <http://enersun.com.mx/como-funcionan.html>
- [25]*Vacuum Tube Liquid-Vapor (Heat-Pipe) Collectors*. Dr. F. Mahjouri Thermo Technologies, disponible en: <http://www.thermomax.com/Downloads/Vacuum%20Tube%20Paper.pdf>.
- [26]Energía verde alternativa. Conexión serie paralelo, disponible en: <http://www.ingenieriaverde>.
- [27]Solar Water Heater and Solar Energy Information, disponible en: <http://chinasolarwaterheater.blog.com/>
- [28]*Instalación de colectores solares para suministro de ACS en Valencia*, David Fuentes Cantero.
- [29]*Proyecto Métodos para el control de calidad y complementación de datos faltantes en parámetros meteorológicos relacionados con la utilización de energías renovables - desarrollo de mapas eólico y solar del cantón cuenca*, INER.
- [30]*transferencia de calor*, CENGEL, Yunus A Editorial Mc Graw Hill, Segunda edición, México 2004, pp 504-560
- [31]*System performance of U- Tube and heat pipe Solar water heaters* K. S. Ong* and W. L. Tong, School of Engineering, Monash University Sunway Campus, Jalan Lagoon Selatan, 46150 Bandar Sunway, Malaysia.
- [32]*Solar engineering of thermal processes*, Duffie, John A. and Beckman, William A. (2006). Hoboken, N. J. : John Wiley. USA. Twidell, John y Weir, Tony. Renewable Energy Resources, (1998). E and FN Spon.

ANEXOS

Anexo A

Calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor.



CALENTADOR SOLAR PRESURIZADO

- Marca: GrünTech
- Procedencia: Tecnología Alemana / Fabricación China
- Tipo de Calentador: Presurizado con colectores Heat Pipe
- Resumen: Diseñados para climas fríos y las más altas demandas de temperatura, presión y volúmenes de agua.

Categoría: [Calentadores Solares.](#)

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Este tipo de sistemas pueden ser instalados en cualquier ubicación, es decir, sobre o bajo el nivel de los puntos de agua caliente. Funcionan con la misma presión de la red o cisterna, lo que les permite garantizar el uso simultáneo 3 puntos o más sin perder presión ni temperatura. Se recomienda para usuarios exigentes.

Requisitos para Funcionamiento:

- No requiere ser instalado en altura
- Puede ser instalado en serie o paralelo para aumentar su capacidad
- Permite instalaciones centralizadas y/o de recirculación.
- Requieren de una conexión eléctrica independiente para sistema eléctrico auxiliar
- Necesitan loza plana o estructura a 180°

Ventajas

- Ahorro: 365 días de agua caliente gratis y recuperación de la inversión menor a 5 años
 - Seguridad: Cero riesgo de asfixia por inhalación de CO₂ y gases venenosos
 - Ecología: Evita la emisión de más de 3 toneladas anuales de CO₂
 - Temperatura: > 40°C en días nublados y >90°C en días despejados
 - Presión: > 3 puntos de uso simultáneo
 - Confort: No más preocupaciones por falta de gas o electricidad
- Tecnología Alemana: Únicos en el Ecuador con 12° grados de inclinación y sistema híbrido para control de temperatura
- 24 meses de garantía
 - 20 años de vida útil

Calentado solar de tubos de vacío



CALENTADOR SOLAR NO PRESURIZADO

- Marca: GrünTech
- Procedencia: Tecnología Alemana / Fabricación China
- Tipo de Calentador: No-Presurizado con colectores Tubos al Vacío
- Resumen: Sistemas especialmente diseñados para hogares y aplicaciones que no demandan usos simultáneos de agua ni grandes presiones.

Categoría: Calentadores Solares.

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Los calentadores No-Presurizados pueden proveer agua hasta dos puntos simultáneos, y aplican para aplicaciones para edificaciones con máximo 250 mt² de construcción y 3 baños.

Requisitos para Funcionamiento:

- Requieren ser ubicados a una altura mínima de 3 metros sobre los puntos de agua más altos y las instalaciones de agua caliente deben tener el menor recorrido y curvaturas posibles.
- En algunos casos el sistema puede demandar el uso de una bomba para agua caliente y/o una estructura para ganar más altura.
- Requieren de una conexión eléctrica independiente para sistema eléctrico auxiliar
- Necesitan loza plana o estructura a 180°

Ventajas

- Ahorro: 365 días de agua caliente gratis y recuperación de la inversión menor a 5 años
- Seguridad: Cero riesgo de asfixia por inhalación de CO₂ y gases venenosos
- Ecología: Evita la emisión de más de 3 toneladas anuales de CO₂
- Temperatura: > 40°C en días nublados y >90°C en días despejados
- Confort: No más preocupaciones por falta de gas o electricidad
- Tecnología Alemana: Únicos en el Ecuador con 12° grados de inclinación y sistema híbrido para control de temperatura
- 24 meses de garantía
- 20 años de vida útil

Calentador de paso

2.10 Datos técnicos

Datos técnicos	Símbolo	Unidades	GWH10...	GWH13...	GWH16...
Potencia y caudal					
Potencia útil nominal	Pn	kW	17,4	22,6	27,9
Potencia útil mínima	Pmin	kW	7,9	7,9	7,9
Potencia útil (margen de regulación)		kW	7,9 - 17,4	7,9 - 22,6	7,9 - 27,9
Consumo calorífico nominal	Qn	kW	20,0	26,3	32,1
Consumo calorífico mínimo	Qmin	kW	10,4	10,7	9,1
Datos referentes al gas*					
Presión de conexión					
Gas natural H	G20	mbar	20	20	20
G.L.P. (Butano/Propano)	G30/G31	mbar	28/37	28/37	28/37
Consumo					
Gas natural H	G20	m ³ /h	2,18	2,8	3,5
G.L.P. (Butano/Propano)	G30/G31	kg/h	1,6	2,1	2,6
Número de inyectores			12	14	18
Datos relativos a parte de agua					
Presión máxima admisible**	pw	bar	12	12	12
Selector de temperatura todo girado en el sentido de las agujas del reloj					
Elevación de temperatura		°C	50	50	50
Margen de caudales		l/min	2 - 5,1	2 - 7	2 - 8,6
Presión mínima de funcionamiento	pwmin	bar	0,1	0,1	0,2
Presión mínima para caudal máximo		bar	0,25	0,35	0,5
Selector de temperatura todo girado en el sentido contrario					
Elevación de temperatura		°C	25	25	25
Margen de caudales		l/min	4 - 11	4 - 14	4 - 17
Presión mínima de funcionamiento		bar	0,2	0,2	0,2
Presión mínima para caudal máximo		bar	0,6	1	1,3
Valores de los gases quemados***					
Caudal		g/s	13	17	22
Temperatura		°C	160	170	180

Anexo B

Factores de simultaneidad

FACTORES DE SIMULTANEIDAD				
Abreviatura: C = Calefactor; Ca = Calefón y Co = Cocina				
Cantidad de instalaciones interiores	Co	Ca - Co	Ca - Co - C	Otros
1	1,00	1,00	1,00	1,00
2	0,50	0,82	0,84	0,93
3	0,73	0,63	0,57	0,76
4	0,64	0,54	0,59	0,66
5	0,58	0,43	0,54	0,61
6	0,54	0,43	0,49	0,57
7	0,50	0,40	0,46	0,54
8	0,43	0,38	0,45	0,51
9	0,46	0,36	0,43	0,49
10	0,44	0,34	0,41	0,48
11 - 15	0,40	0,31	0,38	0,44
16 - 20	0,35	0,27	0,35	0,40
21 - 30	0,32	0,24	0,32	0,38
31 - 44	0,28	0,21	0,29	0,35
45 - 53	0,26	0,19	0,28	0,32
59 - 72	0,24	0,18	0,27	0,31

PROPIEDADES DEL AIRE A LA PRESIÓN DE 1 ATM.

TABLA A-15

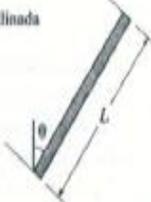
Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., T, °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, C_p , J/kg · °C	Conductividad térmica, k, W/m · °C	Difusividad térmica, α , m ² /s	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr ⁻¹
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07860	2.390×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

CORRECCIONES EMPÍRICAS DEL NÚMERO DE NUSSELT

TABLA 9-1

Correlaciones empíricas del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre superficies

Configuración geométrica	Longitud característica L_c	Intervalo de Ra	Nu
Placa vertical 	L	$10^4 - 10^9$ $10^6 - 10^{12}$ Todo el intervalo	$Nu = 0.59Ra^{1/4}$ (9-19) $Nu = 0.1Ra^{1/3}$ (9-20) $Nu = \left[0.825 + \frac{0.387Ra^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{1/4}]^{1/4}} \right]^2$ (9-21) (compleja pero más exacta)
Placa inclinada 	L		Utilídense las ecuaciones de la placa vertical para la superficie superior de una placa fría y la superficie inferior de una placa caliente Reemplácese g por $g \cos \theta$ para $Ra < 10^9$
Plástico horizontal (Área superficial A y perímetro p) a) Superficie superior de una placa caliente (o superficie inferior de una placa fría) 	A_s/p	$10^4 - 10^7$ $10^7 - 10^{11}$	$Nu = 0.54Ra^{1/4}$ (9-22) $Nu = 0.15Ra^{1/3}$ (9-23)
b) Superficie inferior de una placa caliente (o superficie superior de una placa fría) 		$10^8 - 10^{11}$	$Nu = 0.27Ra^{1/4}$ (9-24)
Cilindro vertical 	L		Un cilindro vertical puede tratarse como una placa vertical cuando $D \geq \frac{35L}{Gr^{1/4}}$
Cilindro horizontal 	D	$Ra_D \leq 10^{12}$	$Nu = \left[0.6 + \frac{0.387Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.559/Pr)^{1/4}]^{1/4}} \right]^2$ (9-25)
Esfera 	D	$Ra_D \leq 10^{11}$ $(Pr \geq 0.7)$	$Nu = 2 + \frac{0.589Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.469/Pr)^{1/4}]^{1/4}}$ (9-26)

PROPIEDADES DE LOS METALES SÓLIDOS Y MATERIALES AISLANTES

TABLA A-3

Propiedades de metales sólidos

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K					Propiedades a varias temperaturas (K), K(W/m · K)/C _p (J/kg · K)				
		ρ kg/m ³	C_p J/kg · K	k W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m ² /s		100	200	400	600	800
Aluminio:											
Puro	933	2 702	903	237	97.1	302	237	240	231	218	
						482	798	949	1 033	1 146	
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2 770	875	177	73.0	65	163	186	186		
Aleación 195, fundido (4.5% Cu)		2 790	883	168	68.2			174	185		
Berilio											
	1 550	1 850	1 825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8
						203	1 114	2 191	2 604	2 823	3 018
Bismuto											
	545	9 780	122	7.86	6.59	16.5	9.69	7.04			
						112	120	127			
Boro											
	2 573	2 500	1 107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85
						128	600	1 463	1 892	2 160	2 338
Cadmio											
	594	8 650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7			
						198	222	242			
Cromo											
	2 118	7 160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4
						192	384	484	542	581	616
Cobalto											
	1 769	8 862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1
						236	379	450	503	550	628
Cobre:											
Puro	1 358	8 933	385	401	117	482	413	393	379	366	352
						252	356	397	417	433	451
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	1 293	8 800	420	52	14		42	52	59		
							785	160	545		
Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn)	1 104	8 780	355	54	17		41	65	74		
							—	—	—		
Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn)	1 188	8 530	380	110	33.9	75	95	137	149		
							360	395	425		
Constantán (55% Cu, 45% Ni)	1 493	8 920	384	23	6.71	17	19				
						237	362				
Germanio											
	1 211	5 360	322	59.9	34.7	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4
						190	290	337	348	357	375
Oro											
	1 336	19 300	129	317	127	327	323	311	298	284	270
						109	124	131	135	140	145
Iridio											
	2 720	22 500	130	147	50.3	172	153	144	138	132	126
						90	122	133	138	144	153

PROPIEDADES DE LOS METALES SÓLIDOS Y MATERIALES AISLANTES

TABLA A-3

Propiedades de metales sólidos (continuación)

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), K(W/m · K)/C _p (J/kg · K)					
		ρ	C _p	k	α × 10 ⁶	100	200	400	600	800	1 000
		kg/m ³	J/kg · K	W/m · K	m ² /s						
AISI 1010	7 832	434	63.9	18.8			58.7	48.8	39.2	31.3	
							487	559	685	1 168	
Al carbono-silicio (Mn ≤ 1%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)	7 817	446	51.9	14.9			49.8	44.0	37.4	29.3	
							501	582	699	971	
Al carbono-manganeso-silicio (1% < Mn ≤ 1.65% 0.1% < Si ≤ 0.6%)	8 131	434	41.0	11.6			42.2	39.7	35.0	27.6	
							487	559	685	1 090	
Aceros al cromo (bajo):											
½ Cr-½ Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)	7 822	444	37.7	10.9				38.2	36.7	33.3	26.9
								492	575	688	969
1Cr-½ Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)	7 858	442	42.3	12.2				42.0	39.1	34.5	27.4
								492	575	688	969
1Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)	7 836	443	48.9	14.1				46.8	42.1	36.3	28.2
								492	575	688	969
Aceros inoxidables:											
AISI 302	8 055	480	15.1	3.91				17.3	20.0	22.8	25.4
								512	559	585	606
AISI 304	1 670	7 900	477	14.9	3.95	9.2	12.6	16.6	19.8	22.6	25.4
						272	402	515	557	582	611
AISI 316	8 238	468	13.4	3.48				15.2	18.3	21.3	24.2
								504	550	576	602
AISI 347	7 978	480	14.2	3.71				15.8	18.9	21.9	24.7
								513	559	585	606
Plomo	601	11 340	129	35.3	24.1	39.7	36.7	34.0	31.4		
						118	125	132	142		
Magnesio	923	1 740	1 024	156	87.6	169	159	153	149	146	
						649	934	1 074	1 170	1 267	
Molibdeno	2 894	10 240	251	138	53.7	179	143	134	126	118	112
						141	224	261	275	285	295
Níquel:											
Puro	1 728	8 900	444	90.7	23.0	164	107	80.2	65.6	67.6	71.8
						232	383	485	592	530	562
Nicromo (80% Ni, 20% Cr)	1 672	8 400	420	12	3.4			14	16	21	
								480	525	545	
Inconel X-750 (73% Ni, 15% Cr, 6.7% Fe)	1 665	8 510	439	11.7	3.1	8.7	10.3	13.5	17.0	20.5	24.0
Niobio	2 741	8 570	265	53.7	23.6	—	372	473	510	546	626
						55.2	52.6	55.2	58.2	61.3	64.4
						188	249	274	283	292	301
Paladio	1 827	12 020	244	71.8	24.5	76.5	71.6	73.6	79.7	86.9	94.2

PROPIEDADES DE LOS METALES SÓLIDOS Y MATERIALES AISLANTES

TABLA A-6

Propiedades de materiales aislantes
(a una temperatura media de 24°C)

Material	Espesor, L mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m · °C	Calor específico, C_p kJ/kg · °C	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), °C · m ² /W
Colcha y lámina					
Fibra mineral (forma fibrosa	50 a 70 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.23
procesada a partir de roca,	75 a 90 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.94
escoria o vidrio)	135 a 165 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	3.32
Tablero y losa					
Vidrio celular		136	0.055	1.0	—
Fibra de vidrio (ligamento orgánico)		64-144	0.036	0.96	—
Poliestireno expandido (bolitas moldeadas)		16	0.040	1.2	—
Poliuretano expandido (R-11 expandido)		24	0.023	1.6	—
Perlita expandida (ligamento orgánico)		16	0.052	1.26	—
Caucho expandido (rígido)		72	0.032	1.68	—
Fibra mineral con aglomerante de resina		240	0.042	0.71	—
Corcho		120	0.039	1.80	—
Rociado o formado en el sitio					
Espuma de poliuretano		24-40	0.023-0.026	—	—
Fibra de vidrio		56-72	0.038-0.039	—	—
Uretano, mezcla de dos partes (espuma rígida)		70	0.026	1.045	—
Gránulos de lana mineral con aglomerantes de asbesto/inorgánico (rociado)		190	0.046	—	—
Relleno flojo					
Fibra mineral (de roca, escoria o vidrio)	~ 75 a 125 mm	9.6-32	—	0.71	1.94
	~165 a 222 mm	9.6-32	—	0.71	3.35
	~191 a 254 mm	—	—	0.71	3.87
	~185 mm	—	—	0.71	5.28
Aerogel de sílice		122	0.025	—	—
Vermiculita (expandida)		122	0.068	—	—
Perlita (expandida)		32-66	0.039-0.045	1.09	—
Aserrín o virutas		128-240	0.065	1.38	—
Aislamiento celulósico (papel molido o pulpa de madera)		37-51	0.039-0.046	—	—
Aislamiento para techo					
Vidrio celular	—	144	0.058	1.0	—

Tabla monitoreo de datos

CALENTADOR SOLAR PRESURIZADO DE TUBOS DE VACIO						
HOJA DE CONTROL #						
FECHA	HORA	TEMPERATURA AMBIENTE[°C]	TEMPERATURA DEL AGUA EN EL ACUMULADOR [°C]	VOLUMEN DE AGUA [m³]	CALENTADOR AUXILIAR	
					NUMERO DE ACTIVACIONES	TIEMPO [Minutos]
	06:00					
	10:00					
	14:00					
	18:00					
	22:00					
	06:00					
	10:00					
	14:00					
	18:00					
	22:00					
	06:00					
	10:00					
	14:00					
	18:00					
	22:00					
	06:00					
	10:00					
	14:00					
	18:00					
	22:00					
	06:00					
	10:00					
	14:00					
	18:00					
	22:00					
	06:00					
	10:00					
	14:00					
	18:00					
	22:00					