

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AGUA CALIENTE SANITARIA PARA LA RESIDENCIA DE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**SANTIAGO DAVID CASTELLANOS VILLA  
ALEX NARANJO HERRERA**

**DIRECTOR: ING. ROBERTO GUITÍERREZ  
CODIRECTOR: ING. JOSÉ GUASUMBA**

**Sangolquí, 2007 – 09**

## CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AGUA CALIENTE SANITARIA PARA LA RESIDENCIA DE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO” fue realizado en su totalidad por Santiago David Castellanos Villa y Alex Naranjo Herrera, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

---

**Ing. Roberto Gutiérrez**  
**DIRECTOR**

---

**Ing. José Guasumba**  
**CODIRECTOR**

**Sangolquí, 2007-09**

# LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA  
LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AGUA CALIENTE  
SANITARIA PARA LA RESIDENCIA DE LA ESCUELA  
POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO”

ELABORADO POR:

---

Santiago David Castellanos V.

---

Alex Naranjo Herrera.

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

---

**Crnl. Ing. Juan Díaz.**  
**COORDINADOR**

Sangolquí, 2007-09

# DEDICATORIA

Este proyecto esta dedicada a todos quienes han sido participes en él.

**Santiago Castellanos Villa.**

## DEDICATORIA

El presente proyecto esta dedicado a mis padres, quienes apoyaron mis estudios y por haber sido ellos el espíritu de mi motivación. También se lo dedicado a mis familiares, amigos, tutores y a todos aquellos que en el transcurso del tiempo han animado la fuerza de superación y crecimiento que me ha llevado a culminar con éxito el presente proyecto.

**Alex Naranjo H.**

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Escuela Politécnica del Ejército por abrirnos las puertas al conocimiento y la cultura. A los profesores que se han convertido en compañeros en este camino de superación profesional. A la familia por su incondicional apoyo. Y en general a todas las personas que han formado y formarán parte de este proyecto.

**Santiago Castellanos y Alex Naranjo.**

## ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....	II
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	III
DEDICATORIA.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE GENERAL .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XV
RESUMEN.....	XVI
CAPÍTULO 1 .....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.3 OBJETIVOS .....	2
1.3.1 GENERAL.....	2
1.3.2 ESPECÍFICOS.....	2
1.4 ALCANCE DEL PROYECTO .....	2
1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	2
CAPÍTULO 2 .....	3
PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA .....	3
2.1 MARCO TEÓRICO.....	3
2.1.1 ENERGÍA Y TEMPERATURA .....	3
2.1.2 MEDICIÓN DE CALOR .....	3
2.1.3 CONCEPTOS BÁSICOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR .....	4
2.1.4 CONSUMO DE AGUA CALIENTE .....	8
2.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL.....	10
2.2.1 CAPACIDAD DE LA RESIDENCIA.....	10
2.2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES.....	11
2.2.3 DESCRIPCIÓN DE USUARIOS .....	12
2.3 DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE AGUA CALIENTE .....	12

2.3.1	RESULTADOS DE ENCUESTA.....	13
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>		<b>15</b>
<b>ESTUDIO DE FACTIBILIDAD .....</b>		<b>15</b>
3.1	SISTEMA ACS ELÉCTRICOS .....	15
3.1.1	INTRODUCCIÓN .....	15
3.1.2	EFFECTO JOULE.....	15
3.1.3	TERMO ELÉCTRICO .....	18
3.1.4	CALENTADORES ELÉCTRICOS INSTANTÁNEOS DE AGUA .....	22
3.2	SISTEMAS ACS MEDIANTE USO DE COMBUSTIBLES FÓSILES.....	25
3.2.1	CALDERAS CENTRALIZADAS.....	25
3.3	SISTEMA ACS SOLARES .....	37
3.3.1	ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.....	37
3.3.2	CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA .....	38
3.3.3	ENERGÍA SOLAR TÉRMICA DE BAJA TEMPERATURA.....	38
3.3.4	PARTES DEL SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA DE BAJA TEMPERATURA .....	40
3.3.5	ASPECTOS MEDIO AMBIENTALES.....	49
3.4	SISTEMAS HÍBRIDOS .....	50
3.5	SELECCIÓN DEL SISTEMA MÁS APROPIADO .....	51
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>		<b>55</b>
<b>CÁLCULO, DISEÑO, DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DEL SISTEMA.....</b>		<b>55</b>
4.1	DISEÑO DEL SISTEMA PRINCIPAL .....	55
4.1.1	DESIGNACIÓN DEL CONSUMO DE LA RESIDENCIA .....	55
4.1.2	ESTUDIO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DEL ESTABLECIMIENTO.....	56
4.1.3	DETERMINACIÓN DE FACTORES CLIMÁTICOS .....	57
4.1.4	DISEÑO DE SISTEMA PRINCIPAL.....	60
4.2	DISEÑO MECÁNICO DEL RECIPIENTE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA CALIENTE..	83
4.3	DISEÑO DEL SISTEMA DE CIRCULACIÓN HIDRÁULICO.....	87
4.3.1	SELECCIÓN DE DIÁMETRO DE TUBERÍAS.....	87
4.3.2	DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS HIDRÁULICAS .....	92
4.4	DISEÑO Y SELECCIÓN DE AISLANTES .....	107
4.4.1	AISLAMIENTO DE TUBERÍAS.....	108
4.4.2	AISLAMIENTO DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO .....	115
4.5	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO.....	119

4.6	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE DE LOS COLECTORES .....	122
	<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>124</b>
	<b>ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO .....</b>	<b>124</b>
5.1	<b>ESTUDIO ECONÓMICO .....</b>	<b>124</b>
5.1.1	DETERMINACIÓN DE COSTOS .....	124
5.1.2	MATERIALES .....	124
5.1.3	MANO DE OBRA.....	127
5.1.4	OTROS COSTOS .....	127
5.2	<b>ESTUDIO FINANCIERO .....</b>	<b>127</b>
5.2.1	CÁLCULO DE PARÁMETROS FINANCIEROS .....	127
5.2.2	FLUJO DE CAJA.....	128
5.2.3	TIR Y VAN .....	130
5.2.4	RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN .....	131
	<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>132</b>
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>132</b>
6.1	CONCLUSIONES .....	132
6.2	RECOMENDACIONES .....	136
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>138</b>
	<b>ANEXO A: PLANOS DE LA RESIDENCIA.....</b>	<b>139</b>
	<b>ANEXO B: FORMATO DE ENCUESTA.....</b>	<b>140</b>
	<b>ANEXO C: TABULACIÓN DATOS DE LA ENCUESTA.....</b>	<b>142</b>
	<b>ANEXO D: RESULTADOS DE LA ENCUESTA .....</b>	<b>146</b>
	<b>ANEXO E: COMENTARIOS OBTENIDOS EN LA ENCUESTA .....</b>	<b>148</b>
	<b>ANEXO F: ESQUEMA SISTEMA ACS .....</b>	<b>150</b>
	<b>ANEXO G: TUBERÍA ENTRE BOMBA Y COLECTORES .....</b>	<b>151</b>
	<b>ANEXO H: TUBERÍA ENTRE COLECTOR Y TANQUE.....</b>	<b>152</b>
	<b>ANEXO I: ESQUEMA COLECTOR SOLAR .....</b>	<b>153</b>
	<b>ANEXO J: ESQUEMA DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE .....</b>	<b>154</b>
	<b>ANEXO K: PROFORMAS .....</b>	<b>155</b>
	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>156</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>156</b>
	<b>DIRECCIONES DE INTERNET .....</b>	<b>157</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Estructura cristalina de un sólido .....	15
Figura 3.2 Esquema de un termo eléctrico .....	18
Figura 3.3 Ducha eléctrica.....	23
Figura 3.4 Calentador eléctrico instantáneo marca Junkers .....	24
Figura 3.5 Esquema de una caldera en una central térmica.....	25
Figura 3.6 Caldera de fundición.....	28
Figura 3.7 Caldera de acero .....	28
Figura 3.8 Caldera mural .....	28
Figura 3.9 Circuito abierto y tiro natural.....	30
Figura 3.10 Circuito abierto y tiro forzado.....	30
Figura 3.11 Esquema de una caldera pirotubular .....	32
Figura 3.12 Caldera pirotubular común.....	33
Figura 3.13 Esquema de funcionamiento de una caldera acuatubular .....	33
Figura 3.14 Esquema de una caldera acuatubular .....	34
Figura 3.15 Caldera Babcock-Wilcox.....	35
Figura 3.16 Calefón .....	36
Figura 3.17 Esquema de un circuito abierto .....	39
Figura 3.18 Esquema de un circuito cerrado.....	40
Figura 3.19 Efecto invernadero.....	41
Figura 3.20 Ángulos solares .....	42
Figura 3.21 a) Efecto termosifón, b) Extracción de agua caliente.....	46
Figura 3.22 Circulación Forzada.....	47
Figura 4.1 Esquema Sistema ACS.....	61
Figura 4.2 Pérdidas en Colectores Solares .....	66
Figura 4.3 Analogía Eléctrica de parte superior de colectores.....	71
Figura 4.4 Medidas de Aislantes y Diseño Colector Solar .....	73
Figura 4.5 Analogía Eléctrica completa .....	74
Figura 4.6 Tubería Colector Solar.....	91
Figura 4.7 Esquema Sistema ACS .....	93
Figura 4.8 Tubería entre bomba y Colectores .....	93
Figura 4.9 Tubería entre colector y tanque .....	97

Figura 4.10 Tuberías internas de colectores.....	101
Figura 4.11 Sistema de control .....	120
Figura 4.12 Esquema de control.....	122

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 4.1 Techo ala derecha Residencia Politécnica .....	62
Fotografía 4.2 Techo ala izquierda Residencia Politécnica .....	62
Fotografía 4.3 Parte posterior de la Residencia Politécnica .....	63
Fotografía 4.4 Parte posterior de la Residencia Politécnica .....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Distribución de habitaciones en pisos.....	10
Tabla 2.2 Número de personas por habitaciones en pisos.....	11
Tabla 2.3 Número de duchas y termostatos por pisos.....	11
Tabla 2.4 Características de los termostatos.....	12
Tabla 3.1 Clasificación de calderas .....	27
Tabla 3.2 Ventajas y desventajas de los tipos de sistemas solares. ....	48
Tabla 3.3 Factores de Peso.....	51
Tabla 3.4 Ponderación Matemática .....	54
Tabla 4.1 Datos Climatológicos en el sector de Sangolquí.....	58
Tabla 4.2 Radiación real promedio desde 2002 hasta 2006.....	59
Tabla 4.3 Velocidad del viento y temperatura ambiente. ....	59
Tabla 4.4 Datos para diseño de sistema principal .....	67
Tabla 4.5 Datos de pérdida posteriores.....	73
Tabla 4.6 Datos para pérdidas totales .....	75
Tabla 4.7 Datos de diseño de placa y tubos de colector.....	76
Tabla 4.8 Datos con volúmenes y número de colectores .....	79
Tabla 4.9 Radiación Solar, Calor Útil y Temperatura.....	82
Tabla 4.10 Datos de Volumen del Tanque.....	84
Tabla 4.11 Datos de diseño de tanque .....	85
Tabla 4.12 Datos de diseño para selección de tubería.....	88
Tabla 4.13 Probables diámetros de tuberías para salida de la bomba.....	89
Tabla 4.14 Probables diámetros de tuberías para ingreso al tanque.....	90
Tabla 4.15 Datos de tubería entre bomba y colectores .....	94
Tabla 4.16 Datos previos para el cálculo de pérdidas hidráulicas .....	94
Tabla 4.17 Tubería entre Bomba y Colectores .....	98
Tabla 4.18 Datos para cálculo de pérdidas hidráulicas.....	98
Tabla 4.19 Datos de tuberías internas de colector .....	101
Tabla 4.20 Datos para cálculo de pérdidas.....	101
Tabla 4.21 Datos para selección de Bomba .....	107
Tabla 4.22 Datos de cálculo de aislantes .....	108
Tabla 4.23 Datos de cálculo de aislantes .....	111

Tabla 4.24 Datos de cálculo de aislantes .....	113
Tabla 4.25 Tabla de aislantes del sistema.....	115
Tabla 4.26 Datos para cálculo de aislante de tanque .....	116
Tabla 4.27 Datos para aislante de cabeza.....	117
Tabla 5.1 Costos materiales de 112 colectores solares.....	124
Tabla 5.2 Costos materiales de 8 tanques de almacenamiento .....	125
Tabla 5.3 Costos materiales sistema hidráulico y de control .....	126
Tabla 5.4 Costos de mano de obra.....	127
Tabla 5.5 Otros costos.....	127
Tabla 5.6 Costos y consumo de Energía Eléctrica Mensual.....	128
Tabla 5.7 Costo total de implementación del sistema.....	128
Tabla 5.8 Flujo de Caja.....	129
Tabla 5.9 Determinación de TIR y VAN.....	130

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 Carta solar (Programa sole.exe, <a href="http://www.flasolar.com">http://www.flasolar.com</a> ).....	64
Gráfico 4.2 Espesor vs. Pérdidas de Calor (Bomba-Colectores).....	110
Gráfico 4.3 Espesor vs. Pérdidas de Calor (Colectores-Tanque).....	112
Gráfico 4.4 Espesor vs. Pérdidas de Calor (Colector-Tubería).....	114
Gráfico 4.5 Espesor vs. Pérdidas de Calor (Tanque).....	118
Gráfico 5.1 Recuperación de inversión.....	131

## RESUMEN

El servicio de habitaciones que ofrece la residencia de la ESPE incluye agua caliente para duchas y lavamanos, por esta razón existe una gran demanda de energía eléctrica para calentar agua con los termostatos actualmente instalados. Para reducir los altos costos que implica el calentamiento de agua se analizó los siguientes sistemas: termo eléctrico, calentadores eléctricos instantáneos, calderas centralizadas, calefones, sistema solares de circuito abierto y cerrado.

En la selección del sistema más apropiado se utilizó como factores de peso las siguientes características: energía renovable, mantenibilidad, durabilidad, disponibilidad tecnológica, legionela(enfermedad), efecto visual.

Con la utilización de una ponderación matemática y los factores de peso se obtuvo que el **sistema solar de circuito abierto es la mejor alternativa**.

Una vez seleccionado el sistema más conveniente para calentar agua se procedió a diseñarlo tomando como base un estadía de 188 personas con un consumo diario de 50 litros de agua caliente a 60°C, es decir, es necesario 9.400 litros de agua caliente por día.

En el diseño de los colectores se utilizó el método de Holland y el método de Klein, se obtuvo una eficiencia del sistema del 56%. Se utilizó las recomendaciones de las normas ASHRAE para realizar el diseño del recipientes de almacenamiento de ACS de 1.200 litros. Para dar movimiento al agua en el sistema es necesaria una bomba centrífuga de 2 HP. Los elementos que se encuentran en la intemperie como la tubería y el tanque de almacenamiento deben ser aislados con un espesor de 5 cm.

La demanda energética para calentar los 9.400 litros de agua utilizada en la residencia es de 15.713 KW-h con un costo de 13,029.12 dólares anuales. El sistema de calentamiento de agua solar no genera ingresos económicos, por lo tanto la viabilidad está en función del ahorro de energía eléctrica.

El diseño determinó la necesidad de 112 colectores solares que se encuentra divididos en 8 campos solares cada uno con 14 colectores. Para implementar este sistema es necesaria una inversión de 67.099,76 dólares.

En el estudio económico financiero se obtuvo: valor positivo para el VAN, una TIR superior al 10%, Beneficio/Costo de 3,49, recuperación de la inversión en 8 años, rentabilidad del 19,8%, con un tiempo de vida de 20 años. Estas variables hace del proyecto una interesante idea de inversión.

Es necesaria una fuerte inversión con una recuperación a mediano plazo para implementar el sistema de calentamiento solar de circuito abierto, pero las ventajas económicas son considerables y es un sistema que utiliza energía renovable, totalmente limpia y respetuosa del medio ambiente.

# **CAPÍTULO 1**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 ANTECEDENTES**

La residencia de la Escuela Politécnica del Ejército brinda el servicio de habitaciones para estudiantes civiles y militares que requieren de este servicio para cumplir con sus actividades dentro de la institución así como profesores, estudiantes de intercambio y deportistas contratados por la institución.

Por el número de usuarios se hace necesaria una gran cantidad de Agua Caliente Sanitaria (ACS<sup>1</sup>), la cual se utiliza en las distintas labores dentro de la residencia principalmente para el aseo personal, en la mayor parte del año permanece ocupada en casi la totalidad de su capacidad por lo que es necesario el diseño de un sistema óptimo de bajo costo de energía que permita cumplir con los requerimientos de ACS.

En la actualidad la obtención de agua caliente sanitaria es a través de un sistema de calentamiento con resistencias eléctricas la cual por la capacidad de la residencia involucra altos costos para su producción.

Con lo expuesto anteriormente, la Escuela Politécnica del Ejército y en especial la Carrera de Ingeniería Mecánica se han propuesto realizar un estudio del sistema actual para optimizarlo tratando de involucrar otros sistemas energéticos de menor costo económico e impacto ambiental.

### **1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

La Escuela Politécnica del Ejército gasta considerables sumas de dinero por consumo energético, siendo uno de los puntos de mayor consumo la residencia.

---

<sup>1</sup> ACS: Agua Caliente Sanitaria

Es por esto que el presente proyecto tiene por finalidad realizar un estudio pormenorizado de pérdidas energéticas en esta dependencia y proponer un sistema más eficiente para la obtención de ACS.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 General**

Estudiar la factibilidad técnica y económica de un sistema alternativo para el calentamiento de agua sanitaria en la residencia de la Escuela Politécnica del Ejército.

#### **1.3.2 Específicos**

- Estudiar la factibilidad de los diferentes sistemas alternativos para ACS
- Optimización del sistema actual de calentamiento de agua para las habitaciones.
- Disminución de los costos por consumo de energía eléctrica utilizado para el calentamiento de ACS.

### **1.4 ALCANCE DEL PROYECTO**

Con este proyecto se pretende dejar propuesto un estudio de factibilidad para implementar un sistema más eficiente de ACS para la residencia de la Escuela Politécnica del Ejército; tratando de que este nuevo sistema conlleve menor costo de producción de ACS y utilización de energías no convencionales sirviendo esto también como una guía para el laboratorio de energías no convencionales de la Carrera de Ingeniería Mecánica.

### **1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

Con el estudio de factibilidad de ACS se pretende bajar los costos de consumo energético que son los de mayor rubro dentro de la Escuela Politécnica del Ejército utilizando energías alternativas, siendo una de ellas la solar.

## **CAPÍTULO 2**

# **PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA**

## **2.1 MARCO TEÓRICO**

### **2.1.1 Energía y Temperatura**

Los conceptos de energía y temperatura usualmente causan confusión haciendo suponer que el “mejor” sistema de calentamiento es aquel que provee de agua más caliente. Esto no es así, el sistema más adecuado es aquel que abastece de la energía necesaria para alcanzar una temperatura adecuada al menor costo. Esta temperatura generalmente para aplicaciones domésticas está entre 40 y 60°C.

El calor es una forma de energía asociada al movimiento de los átomos, moléculas y otras partículas que forman la materia. El calor puede ser generado por reacciones químicas o nucleares, disipación electromagnética o por disipación mecánica.

La temperatura es una medida relativa de la cantidad de energía de un objeto. En el Sistema Internacional de Unidades, el kelvin es la unidad de temperatura. Sin embargo, está muy generalizado el uso de otras escalas de temperatura, concretamente la escala Celsius (o centígrada), y en los países anglosajones la escala Fahrenheit.

### **2.1.2 Medición de Calor**

Al transferirse energía de una parte a otra de un cuerpo, o entre diferentes cuerpos, en virtud de una diferencia de temperatura. El calor es energía en tránsito; siempre fluye de una zona de mayor temperatura a una zona de menor temperatura, con lo que eleva la temperatura de la segunda y se reduce la primera, siempre que el volumen de los cuerpos se mantenga constante. La energía no fluye desde un objeto de temperatura baja a un objeto de temperatura alta si no se realiza trabajo.

La unidad de medida métrica estándar para calor es el joule (J). Como ejemplo, para elevar la temperatura de un litro de agua en un grado centígrado son necesarios 4.186 joules.

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \qquad 2.1$$

Donde:

**Q** = Energía Térmica (KJ)

**m** = Masa calentada (kg)

**C<sub>p</sub>** = Calor específico (KJ/kg°C)

**ΔT** = Variación de temperatura (°C)

### **2.1.3 Conceptos Básicos de Transferencia de Calor**

El calor puede transmitirse de tres maneras. Puesto que el calor es la energía de la actividad molecular, una forma simple de transferencia del mismo, denominada conducción, será la comunicación directa de la energía molecular a través de una sustancia por medio de colisiones entre sus moléculas. Los metales contienen electrones "libres", que hacen de ellos buenos conductores de la electricidad; estos electrones contribuyen también poderosamente a la conducción del calor, por esto, los metales son magníficos conductores térmicos.

Convección es una forma de transmisión del calor de un lugar a otro por movimiento de la materia caliente. Otro tipo de transferencia de calor puede ser por combinación de radiación y absorción. En la radiación, la energía térmica se transforma en energía radiante, similar en su naturaleza a la luz. En realidad, una parte de esta radiación es luminosa. En esta forma, la energía radiante puede atravesar distancias enormes antes de ser absorbida por un cuerpo y transformada de nuevo en calor. Por ejemplo, la energía radiante procedente del sol se convierte en calor en la superficie de la Tierra ocho minutos después de su salida.

Básicamente el calor puede ser transferido de un medio a otro de tres diferentes maneras:

- Conducción,
- Convección y/o
- Radiación

### **A. Conducción**

Cuando el calor se propaga sin transporte real de la sustancia que forma el sistema, por medio de intercambios energéticos (choques) entre sus partículas integrantes (átomos, moléculas, electrones) se dice que se ha transmitido por conducción.

La cantidad de calor que fluye a través de un cuerpo por conducción depende del tiempo, del área a través de la cual fluye, del gradiente de temperatura y de la clase de material.

Existen grandes diferencias de conductividad térmica para distintos materiales.

Los gases tienen una conductividad muy pequeña, los líquidos en general son malos conductores, en el caso de los sólidos la conductividad térmica varía de una forma extraordinaria, desde valores muy pequeños, como en el caso de las fibras de amianto, hasta valores muy altos para el caso de los metales.

Los materiales fibrosos, como el fieltro o el amianto, son muy malos conductores cuando están secos, es decir son buenos aislantes; pero si se humedecen, conducen el calor bastante bien; siendo una de las dificultades para el uso de estos materiales el mantenerlos secos.

### **B. Convección**

Cuando el calor se transmite por medio de un movimiento real de la materia que forma el sistema se dice que hay una propagación de calor por convección. Un ejemplo son: Los radiadores de agua caliente y las estufas de aire.

La transferencia de calor por corrientes de convección en un líquido o en un gas, está asociada con cambios de presión, debidos comúnmente a cambios locales de

densidad. Un aumento de temperatura en un fluido va acompañado por un descenso de su densidad.

Si aplicamos calor en la base de un recipiente, el fluido menos denso en esta parte debido al calentamiento, será continuamente desplazado por el fluido más denso de la parte superior. Este movimiento que acompaña a la transmisión del calor se denomina convección libre. Ejemplos clásicos de convección son: el movimiento del viento sobre la tierra, la circulación del agua en un sistema de calefacción doméstico.

Algunas veces las diferencias de presión se producen mecánicamente mediante una bomba o un ventilador; en tal caso, se dice que la conducción del calor ocurre por convección forzada. En ambos casos, el calor pasa hacia dentro o fuera de la corriente a lo largo del recorrido.

El método de las corrientes de convección es uno de los más eficaces de transferencia de calor y debe tenerse en cuenta cuando se diseñe o construya un sistema de aislamiento. Si se dejan en una casa grandes espacios sin paredes, se forman muy fácilmente corrientes de convección, produciéndose pérdidas de calor. Sin embargo, si los espacios se rompen en pequeños recintos, no son posibles las corrientes de convección y las pérdidas de calor por este método son muy pequeñas. Por esta razón, los materiales aislantes usados en las paredes de refrigeradores o en las de las casas son porosos: viruta de corcho, corcho prensado, lana de vidrio u otros materiales similares.

Estos, no solamente son malos conductores por sí mismos, sino que dejan además pequeños espacios de aire, que son muy malos conductores y, al mismo tiempo, lo suficientemente pequeños para que no se produzcan corrientes de convección.

En la ecuación general de convección para cada sistema de convección existirá una constante "h", de tal forma que la ecuación de Newton se plantea similar a la de Fourier:

$$\frac{\partial Q}{\partial \tau} A = h \cdot A \cdot (t - \theta)$$

2.2

Esta ecuación representa el flujo de calor que se manifiesta en un sistema a régimen permanente, en donde  $t$  es la temperatura de un fluido estanco o un cuerpo en cualquier estado de agregación, y  $\theta$  es la temperatura del fluido convectivo.

### C. Radiación

Además de los procesos descritos convección y conducción, un sistema puede transmitir energía mediante la transmisión de ondas electromagnéticas. Un segundo cuerpo puede absorber estas ondas y con ello aumentar su temperatura. Entre los dos cuerpos se registra un cambio de temperatura se dice que ha habido una propagación del calor por radiación.

La transferencia de calor por radiación no requiere ningún medio material intermedio en el proceso. La energía se traslada desde la superficie del sol hasta la tierra, donde es absorbida y convertida en energía calorífica. La energía emitida por un filamento de lámpara eléctrica atraviesa el espacio entre filamento y bulbo aunque no tenga ningún gas en su interior. Energía de esta naturaleza la emiten todos los cuerpos. Un cuerpo que absorbe esta energía radiante la convierte en calor, como resultado de un aumento de su velocidad molecular.

Todos los cuerpos calientes emiten energía radiante. Una estufa, por ejemplo, emite energía radiante hasta que encuentra cualquier objeto donde, en general, es parcialmente reflejada, parcialmente absorbida y parcialmente transmitida. Sucede lo mismo que con la luz, excepto que no produce sensación en la vista. La energía radiante calorífica difiere de la luz únicamente en la longitud de onda.

Hay grandes diferencias en la transparencia de las diversas sustancias a la radiación calorífica. Algunos materiales tales como el caucho duro, óxido de níquel, vidrios especiales o una disolución de sulfuro de carbono y yodo, opaca a la luz, son casi transparentes a las radiaciones caloríficas. Los vidrios de ventana ordinarios, casi completamente transparentes a la luz, absorben radiaciones caloríficas.

El tejado de vidrio de un invernadero es transparente a las radiaciones visibles e infrarrojas procedentes del sol. Esta energía se convierte en calor cuando es absorbida por los objetos que están dentro del invernadero.

Estos objetos se calientan y radian energía, pero dado que su temperatura no es alta, la radiación calorífica que emiten no es idéntica a la que recibieron. El vidrio no transmite esta energía calorífica y, por tanto la energía radiada por los cuerpos que están dentro del invernadero no puede salir.

Un invernadero actúa, por tanto, como una trampa para energía, y dado que las pérdidas por radiación y convección se previenen en alto grado, la temperatura interior puede ser muy superior a la del exterior, siempre que reciba energía solar directa.

La ecuación general de la radiación es:

$$G = \alpha \cdot G + \rho \cdot G + \tau \cdot G \quad 2.3$$

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad 2.4$$

Energía incidente (G)

Absortancia ( $\alpha$ ): La fracción de la energía incidente absorbida.

Reflectividad ( $\rho$ ): La fracción de la energía incidente reflejada.

Trasmitividad ( $\tau$ ): la fracción de energía incidente transmitida.

#### **2.1.4 Consumo de Agua Caliente**

El consumo de energía depende, en gran medida, de las necesidades de agua caliente. La influencia de otros factores, como la temperatura de calentamiento, la temperatura del agua fría, es menos importante.

El valor de la temperatura de consumo de agua caliente se observa en los termostatos instalados en la residencia con una temperatura de funcionamiento de 60 °C, este valor se confirma con lo propuesto por fabricantes de sistemas de ACS.

Las necesidades de agua caliente varían según el número de personas, los hábitos de uso y los aparatos sanitarios instalados. Generalmente, las necesidades son valores aproximados y, por este motivo, los consumos de energía también lo son.

Como orientación el consumo de agua se realizó a partir de las siguientes condiciones de cálculo<sup>2</sup>:

- Instalaciones multifamiliares 30 lt por persona y día.
- Instalaciones hospitalarias 80 lt por cama y día.
- Instalaciones hoteleras y residencia de categoría superior o igual a 3 estrellas 80 lt por persona y día.
- Instalaciones de duchas colectivas 20 lt por utilización de ducha y día.
- Instalaciones unifamiliares 40 lt por persona y día.
- Necesidades medias de agua caliente: 30-40 litros por persona y día.
- Temperatura de calentamiento: 60 °C.
- Temperatura media del agua fría: 12 °C.

Según datos obtenidos de las normas consultadas se tomó que el consumo de agua caliente sanitaria se encuentra alrededor de los 30 a 50 litros por persona a una temperatura de consumo de 50 a 60°C siendo estos estándares de confort humano, los cuales han sido tomados como bases para el cálculo de consumo de agua caliente sanitaria.

Haciendo referencia a otro autor como es P. Lemvigh – Muller en su obra *Energía Solar Térmica: Manual de Instalación*<sup>3</sup>, en la cual cita la cifra de 50 litros de agua con una diferencial de temperatura entre el agua fría y caliente de 35°C.

Para nuestro caso utilizamos una temperatura de agua caliente de 60°C en el tanque de almacenamiento, esta temperatura garantiza el confort de los usuarios y evita la propagación de la bacteria legionella.

---

<sup>2</sup> PDF: "Técnicas de Instalaciones Solares Térmicas del programa PROSOL de la empresa SODEAN"

<sup>3</sup> Lemvigh y Muller, *Energía Solar Térmica: Manual de Instalación*, pág. 35

## 2.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL

### 2.2.1 Capacidad de la Residencia

La residencia politécnica esta constituida de cuatro pisos, donde cuenta con habitaciones de distintos tipos los cuales van desde suites individuales, suites dobles, habitaciones dobles, triples, cuádruples y múltiples; la distribución de estas habitaciones en los pisos se describen a través de la siguiente tabla.

Tabla 2.1 Distribución de habitaciones en pisos.

PISO	HAB. DOBLE	HAB. TRIPLE	HAB. CUADR	HAB. MULTIP	SUITE DOBLE	MASTER SUITE	SENIOR SUITE
PLANTA BAJA	-	8	-	-	-	-	-
PRIMER PISO	-	13	-	-	-	-	-
SEGUNDO PISO	12	-	2	-	-	-	-
TERCER PISO "A"	16	-	-	2	-	-	-
TERCER PISO "B"	15	-	-	-	-	-	-
CUARTO PISO	16	-	-	2	-	-	-
SUITES RESIDENCIA	-	-	-	-	8	2	2
<b>TOTAL</b>	<b>59</b>	<b>21</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

FUENTE: ESPE RESIDENCIA POLITÉCNICA

Para una mejor comprensión de la distribución de las instalaciones de la residencia se adjunta los planos (Anexo A) de la residencia proporcionados por la Unidad de Desarrollo Físico.

Las habitaciones albergan a distinto número de personas, esto varia según el número de armarios que se encuentran en las habitaciones por ejemplo la habitación cuádruple número 27 se encuentra asignada a nueve personas las cuales no son residentes permanentes sino que se hospedan según su turno de guardia, los que no están de guardia tienen la posibilidad de acceder a las instalaciones sanitarias de la habitación en cualquier momento del día siendo este un parámetro a tomar en cuenta para el diseño del sistema a continuación se presenta una tabla en donde se especifica la cantidad de personas por piso de la residencia y tipo de habitación.

**Tabla 2.2 Número de personas por habitaciones en pisos**

PISO	HAB. DOBLE	HAB. TRIPLE	HAB. CUADR	HAB. MULT	SUITE DOBLE	MASTER SUITE	SENIOR SUITE	TOTAL
PLANTA BAJA	-	27	-	-	-	-	-	27
PRIMER PISO	-	51	-	-	-	-	-	51
SEGUNDO PISO	23	-	12	-	-	-	-	35
TERCER PISO "A"	37	-	-	8	-	-	-	45
TERCER PISO "B"	30	-	-	-	-	-	-	30
CUARTO PISO	43	-	-	10	-	-	-	53
SUITES RESIDENCIA	-	-	-	-	24	4	4	32
<b>TOTAL</b>	<b>133</b>	<b>78</b>	<b>12</b>	<b>18</b>	<b>24</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>273</b>

FUENTE: ESPE RESIDENCIA POLITÉCNICA

### 2.2.2 Descripción de las Instalaciones

En los distintos pisos se encuentra también que la cantidad de duchas varía así como la ubicación de las mismas, la forma de obtener agua caliente sanitaria para estas instalaciones es a través de termostatos que se encuentran ubicados en los diferentes pisos. El número de duchas y termostatos por piso se describe en la siguiente tabla.

**Tabla 2.3 Número de duchas y termostatos por pisos**

PISO	NÚMERO DE DUCHAS	NÚMERO DE TERMOSTATOS
PLANTA BAJA	11	3
PRIMER PISO	11	3
SEGUNDO PISO	16	4
TERCER PISO "A"	18	4
TERCER PISO "B"	16	3
CUARTO PISO	18	3
SUITES RESIDENCIA	12	4
<b>TOTAL</b>	<b>90</b>	<b>24</b>

FUENTE: ESPE RESIDENCIA POLITÉCNICA

Los termostatos funcionan a través de temporizadores, lo que ocasiona que entren en operación a partir de las 16:00 hasta las 00:00 horas.

Los termostatos son de dos tipos de potencia y capacidad con las siguientes descripciones:

**Tabla 2.4 Características de los termostatos**

	<b>Termostato 1</b>	<b>Termostato 2</b>
<b>Capacidad</b>	60 Galones	10 Galones
<b>Potencia</b>	3000 Watts	1500 Watts
<b>Voltaje</b>	220 V	220 V
<b>Cantidad</b>	20	4

FUENTE: ESPE RESIDENCIA POLITÉCNICA

### **2.2.3 Descripción de Usuarios**

Las personas que habitan dentro de la residencia politécnica son en su mayoría militares, de los cuales el 75% acuden a la residencia para descansar luego de guardias o entre horas de estudio cumpliendo con sus actividades, esto suele ocasionar que acudan a ducharse más de una vez al día o por lo menos una vez, esto debe ser tomado en cuenta como parámetro para el diseño del sistema.

El resto de la población de la residencia son militares y civiles residentes como alumnos de la escuela, profesores, deportistas y personas de intercambio, los cuales tienen un uso más constante y regular de agua caliente dentro de las instalaciones.

Para tener una certeza en estos datos se realizó una encuesta a un grupo de personas que permanecen en la residencia (ver Anexo B), para así tener un parámetro real para el diseño del sistema, la encuesta se realizó a 47 habitantes sabiendo que su número no es superior a los trescientos, lo cual estadísticamente no se considera una población grande, y los datos obtenidos nos van a ayudar a tener consideraciones más precisas para el diseño, a más de la obtención de estos datos se rige a normas establecidas para la utilización del agua caliente sanitaria.

## **2.3 DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE AGUA CALIENTE**

El requerimiento de agua caliente es el punto de partida para la realización del estudio puesto que en base a estos datos se realizara los cálculos pertinentes para determinar el sistema de ACS que tenga mayor conveniencia para la residencia.

Los datos tomados a través de la encuesta fueron utilizados para realizar un cálculo aproximado de consumo de ACS, utilizando las variables tales como tiempo de baño y caudal existente en las duchas, pero por ser datos no muy exactos para calcular ciertos parámetros se ha considerado el tomar normas de bienestar personal obtenidos de fuentes bibliográficas mencionadas con anterioridad por lo que se define el consumo promedio de 50 litros por persona a temperatura normal de entre 35°C a 40°C.

### **2.3.1 Resultados de Encuesta**

La encuesta se realizó con el objetivo de conocer de mejor manera y de primera mano las costumbres del uso del agua caliente sanitaria en la residencia de la ESPE para la determinación de parámetros importantes del estudio; para lo cual de 273 personas que pueden permanecer en la residencia, se tomó como valor de población 220 personas.

La razón para esto es que la asignación de habitaciones, en particular de las suites, es para oficiales de rangos medios-altos que normalmente no usan las instalaciones, otro grupo son los oficiales que se encuentran de guardia, a los que se les asignan habitaciones, pero muchos de los cuales prefieren regresar a sus residencias permanentes; tomadas estas consideraciones el administrador de la residencia certificó que la mayoría del tiempo no existen más de 200 residentes.

Se logró entrevistar a 47 personas, lo que representa una muestra del 21% de la población establecida, una vez analizados los datos se identifican tendencias marcadas que se detallan en el siguiente resumen.

Como primera pregunta se tomó en consideración los días que normalmente se encuentran ocupadas las instalaciones de lo que se obtuvo que el 64% permanece de Lunes a Viernes, y un 30% toda la semana, el porcentaje restante permanece esporádicamente en la residencia, aunque esta pregunta no es fundamental para nuestro estudio nos da el primer indicio de un uso constante y permanente de la residencia.

Otro dato que se pudo obtener en base a la segunda pregunta de la encuesta, fue que no es necesario implementar un cambio del sistema de ACS, ya que el 89% de los entrevistados mencionó estar conforme con el servicio que recibe, pero los planteamientos de este proyecto son implementar un sistema más económico utilizando energías no convencionales.

La respuesta a la cuarta pregunta que se realizó, estaba enfocada en descubrir cuántas veces al día los residentes se duchan, se obtuvo que el 57% se ducha una sola vez, el 34% dos veces y solo un 9% más de tres veces al día, este dato se utiliza para calcular cual es la hora de preferencia para ducharse que un 48% de los casos son tomadas entre las 5 y 10 de la mañana, un 30% entre las 7 y 12 de la noches y un 22% entre las 10 de la mañana y las 7 de la noches, por lo que, el diseño del sistema debe procurar abastecer los requerimientos entre 7 de la noche y 10 de la mañana del día siguiente.

Un 96% de los entrevistados mencionó que se ducha con agua tibia o caliente, este dato será tomado en cuenta posteriormente para discriminar el número de usuarios de ACS; otro dato importante es que la ducha dura más de 5 minutos en el 92% de casos.

Solo una 40% de las personas entrevistadas conocían que el suministro de agua caliente que reciben es por medio de termostatos; pero uno de los valores más importantes y que justifica la importancia de un proyecto de esta naturaleza es que al 96% de los entrevistados esta conciente de que en el mundo existe una deficiencia de energías convencionales y es de suma importancia empezar a tomar conciencia de esto y buscar alternativas no convencionales para suplir las exigencias del presente y el futuro.

## CAPÍTULO 3

### ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

#### 3.1 SISTEMA ACS ELÉCTRICOS

##### 3.1.1 Introducción

Los sistemas de agua caliente sanitaria que utilizan la interacción entre un fenómeno eléctrico y térmico no son más que la aplicación de un hecho que se conoce desde el siglo XIX, cuando el físico británico James Prescott Joule observó que la materia ofrece cierta resistencia al movimiento de los electrones, los cuales ceden energía cinética al entorno en los sucesivos choques. Esta energía proporcionada por los electrones se disipa en forma de calor y se denomina ley o efecto Joule.

Sin embargo, no es éste el único fenómeno de interacción termoeléctrica. Otros efectos son los denominados Seebeck, Peltier y Thomson que no son parte del alcance de este proyecto.

##### 3.1.2 Efecto Joule

Si por un conductor circula electricidad, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido al choque que sufren los electrones con las moléculas del conductor por el que circulan elevando la temperatura del mismo.

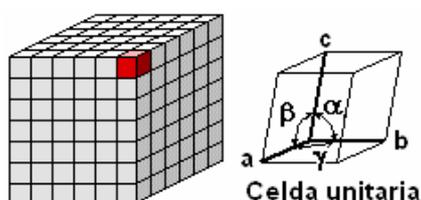


Figura 3.1 Estructura cristalina de un sólido

Los sólidos tienen generalmente una estructura cristalina (figura 3.1), ocupando los átomos o moléculas los vértices de las celdas unitarias, y a veces también el centro de la celda o de sus caras. Cuando el cristal es sometido a una diferencia de

potencial, los electrones son impulsados por el campo eléctrico a través del sólido debiendo en su recorrido atravesar la intrincada red de átomos que lo forma. En su camino, los electrones chocan con estos átomos perdiendo parte de su energía cinética (velocidad) que es cedida en forma de calor.

Este efecto fue definido de la siguiente manera: "La cantidad de energía calorífica producida por una corriente eléctrica, depende directamente del cuadrado de la intensidad de la corriente, del tiempo que ésta circula por el conductor y de la resistencia que opone el mismo al paso de la corriente".

Matemáticamente:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot T \quad 3.1$$

Donde:

- Q** = Energía Térmica producida por la corriente (J)
- I** = Intensidad de la corriente que circula (A)
- R** = Resistencia eléctrica del conductor ( $\Omega$ )
- T** = Tiempo (s)

Así, la potencia disipada por efecto Joule será:

$$P = RI^2 = \frac{V^2}{R} \quad 3.2$$

Donde: V es la diferencia de potencial entre los extremos del conductor.

Microscópicamente el efecto Joule se calcula a través de la integral de volumen del campo eléctrico  $\vec{E}$  por la densidad de corriente  $\vec{J}$  ecuación 3.3:

$$P = \iiint_V \vec{J} \cdot \vec{E} dV \quad 3.3$$

En este efecto se basa el funcionamiento de diferentes electrodomésticos como: calentador de agua eléctrico, vaporizador, plancha eléctrica, cocinilla eléctrica (reverberos), secador de pelo, hornos, tostadoras, calefacciones eléctricas, y

algunos aparatos empleados industrialmente como soldadoras, en los que el efecto útil buscado es precisamente el calor que desprende el conductor por el paso de la corriente.

En la mayoría de las aplicaciones, sin embargo, es un efecto indeseado y la razón por la que los aparatos eléctricos y electrónicos, como el computador, necesitan un ventilador que disipe el calor generado y evite el calentamiento excesivo de los diferentes dispositivos.

Adicionalmente estudios del físico británico condujeron a establecer la equivalencia entre el trabajo mecánico y el calor.

Si el calor es precisamente otra forma de energía, cualquier unidad de energía puede ser una unidad de calor. El tamaño relativo de las "unidades de calor" y las "unidades mecánicas" puede encontrarse a partir de los experimentos en los cuales una cantidad conocida de energía mecánica, medida en joules, se añade al sistema (recipiente de agua, por ejemplo).

Del aumento de temperatura medido puede calcularse cuanto calor (en calorías) tendremos que añadir a la muestra de agua para producir el mismo efecto. De esa manera puede calcularse la relación entre joules y calorías, es decir, el llamado equivalente mecánico del calor.

Originalmente Joule utilizó un aparato en el cual unas pesas, al caer, hacían girar un conjunto de paletas sumergidas en agua. La pérdida de energía mecánica debido al rozamiento se calculaba conociendo las pesas y las alturas de las cuales caían. La energía calórica equivalente era determinada a través de la masa de agua y su aumento de temperatura.

Los resultados aportados fueron que la caloría se define como la cantidad de calor requerido para elevar 1 kilogramo de agua de 15.5° C a 16.5° C. Pero según Joule,

esa cantidad de calor es equivalente a un trabajo mecánico de 4.187 julios en unidades MKS<sup>4</sup>.

Es decir 4.186 joules de energía elevarán la temperatura de 1 kg de agua en 1 °C, lo mismo que 1.000 calorías.

$$1 \text{ Kcal} = 4.186 \text{ J}$$

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$$

$$0,24 \text{ cal} = 1 \text{ J}$$

$$1\text{KW-hr} = 860 \text{ Kcal}$$

### 3.1.3 Termo Eléctrico

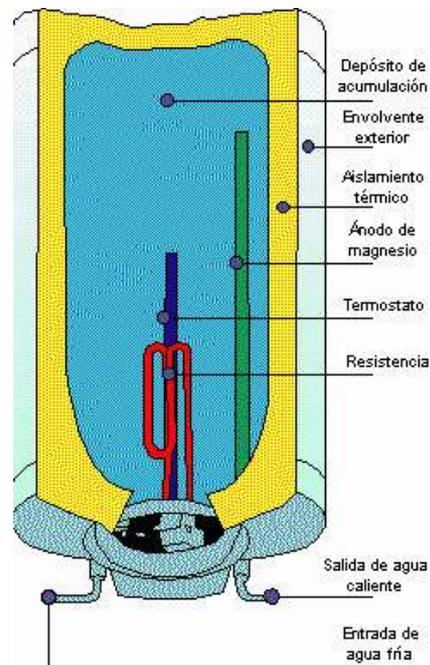


Figura 3.2 Esquema de un termo eléctrico

El termo eléctrico, acumulador eléctrico de agua caliente o mejor conocido en el medio como termostato (figura 3.2), no es más que un tanque aislado dentro del cual se coloca una resistencia eléctrica que calienta el agua (efecto Joule) y por medio de un termostato se controla el funcionamiento de la misma. Las partes constitutivas de un termo eléctrico de agua caliente son:

<sup>4</sup> MKS: Metro, Kilogramo, Segundo; unidades básicas del Sistema Internacional.

- **Depósito de acumulación del agua:** Puede ser de acero, cobre, acero inoxidable o material plástico; en general es de acero con un recubrimiento anti-corrosión: galvanizado, esmalte vitrificado o resinas elásticas. De esta manera se aumenta la vida útil del depósito.
- **Resistencia eléctrica de calentamiento:** Es de tipo blindado, normalmente sumergida en el agua, o también de tipo cerámico, encerrada en una vaina de inmersión. Varía de potencia según la capacidad del depósito de acumulación.
- **Termostato:** Es un componente del sistema de control; empleado para mantener la temperatura en un punto o rango predeterminado ya sea por el usuario o por el fabricante del termo. Existen muchos tipos de termostatos, digitales, analógicos, mecánicos, electrónicos, proporcionales, una o más etapas. Pueden ser tan simples como una lámina bi-metálica hasta tan complejos como un microprocesador. Los termostatos son dispositivos que permiten cerrar o abrir un circuito eléctrico en función de la temperatura.
- **Aislante térmico:** es un recubrimiento para mantener la temperatura del agua almacenada. El material más frecuente es la espuma de poliuretano o lana de vidrio.
- **Cubierta exterior:** encierra a todo el conjunto, fabricada en chapa de acero pintada, generalmente, de blanco.
- **Protecciones:** Cuando el depósito es de acero galvanizado o esmaltado, conviene que el termo incorpore además un ánodo de magnesio para asegurar la protección contra la corrosión, sobre todo si el agua es muy agresiva. Este ánodo se desgasta con el tiempo, por lo cual debe cambiarse periódicamente.

Algunos termos disponen de un mando para graduar el termostato, lo que permite al usuario seleccionar la temperatura de calentamiento del agua. En otros modelos, el termostato no es accesible y viene ajustado por el fabricante a una temperatura fija, generalmente alrededor de 60 °C.

La temperatura de acumulación del termo no debe ser superior a 60 °C, pues a partir de esta temperatura se favorecen los fenómenos de corrosión, se facilita la formación de incrustaciones calcáreas, y aumentan las pérdidas de calor del propio aparato y de las tuberías de la instalación.

Además de los componentes descritos, el termo eléctrico dispone también de un limitador térmico de seguridad que desconecta la resistencia, en caso de fallo del termostato, para evitar el sobrecalentamiento del agua.

Una de las principales desventajas de estos sistemas es que no son instantáneos, y normalmente necesitan de un tiempo considerable hasta que la temperatura del agua dentro del tanque sea la adecuada, otra de las desventajas al mantener un tanque con agua caliente es el riesgo de generar Legionella.

### **A. Legionella**

La Legionella es una bacteria que a bajos niveles está ampliamente presente en ambientes hídricos. Los problemas de infecciones causadas por este agente patógeno surgen cuando existe elevada concentración de este organismo en el seno de los aerosoles producidos por aguas contaminadas.

Esta bacteria se halla ampliamente extendida en ambientes acuáticos naturales (ríos, lagos, aguas termales) encontrándose en ellos en pequeñas concentraciones, pudiendo sobrevivir en condiciones ambientales muy diversas. Para que su concentración aumente, entrañando riesgo para las personas, debe pasar a colonizar, fundamentalmente a través de las redes de distribución de agua potable, sistemas hídricos construidos por el hombre, como torres de refrigeración y sistemas de distribución de agua sanitaria, donde encuentra condiciones de temperatura idóneas para su multiplicación (25-45°C), además de protección física y nutrientes apropiados.

La enfermedad de los Legionarios se produce cuando las personas susceptibles inhalan un aerosol que contiene Legionella, no cuando se bebe agua que contiene Legionella. (Las duchas, grifos de agua caliente, jacuzzis y equipos de enfriamiento, tales como torres de enfriamiento y acondicionadores de aire, producen aerosoles). Algunos tipos de Legionella pueden provocar un tipo de neumonía llamada enfermedad de los Legionarios.

La Legionella también puede provocar una enfermedad mucho menos grave llamada fiebre Pontiac. Los síntomas la fiebre Pontiac pueden incluir: dolores musculares,

cefaleas, tos, náuseas, mareos y otros síntomas. La fiebre de Pontiac está producida por la misma bacteria pero sin afectación pulmonar.

Desde su identificación inicial en 1977, se han descrito numerosos casos de la enfermedad del legionario en Canadá, EE.UU., Francia, Italia y España, entre otros países. Un 15% de los casos puede llegar a ser mortal, y este porcentaje en una neumonía bacteriana en los años 2000 es muy elevado.

Las especies del género *Legionella* son bacilos gram negativos. Fueron descritos inicialmente como agentes de infecciones del tracto respiratorio estudiando un brote de neumonía entre hombres que asistían en el año 1976 a una convención de legionarios americanos en Filadelfia, USA, de ahí su nombre. Se encontró que el microorganismo crecía en las torres de refrigeración y se diseminaba a través de los sistemas de aire acondicionado del centro de convenciones. Los más afectados fueron los individuos que presentaban alteraciones en la depuración pulmonar, como los fumadores.

La *Legionella* surge en general en las gotas de agua a una temperatura entre 20 y 40 °C, torres de refrigeración de edificios para el aire acondicionado, sistemas de humidificación, comercial y doméstico; conducciones de agua caliente, otros sistemas de circulación de agua caliente-templada.

En resumidas cuentas, los factores primordiales a tener en cuenta favorecedores de la multiplicación de la legionella en el agua son los siguientes:

- **Altas temperaturas**, especialmente en verano.
- **Suciedad**, que puede propiciar la presencia de otros microorganismos (bacterias y protozoos) favorecedores de la multiplicación de la legionella y de sus nutrientes apropiados.
- **Materiales inadecuados**, como, madera y en general a base de celulosa.
- **Corrosión e incrustaciones**, debido a un mantenimiento incorrecto de la instalación que contribuyen a la multiplicación de la legionella a través del aporte de nutrientes (hierro, fosfatos.) y favoreciendo el acantonamiento de la

bacteria, con lo que disminuye la eficacia de las tareas de limpieza y desinfección.

Para prevenir la legionella una de las armas fundamentales es el mantenimiento de los sistemas de torres de refrigeración, lavado y esterilizado de los depósitos de agua 2 veces por año. Los depósitos domésticos de agua caliente deben de ser tratados igualmente. Los depósitos de agua al aire libre deben de ser revisados periódicamente.

El estudio de las fuentes de infección asociadas con la aparición de casos de legionelosis humana ha llevado a identificar una serie de instalaciones de edificios como los focos a partir de los cuales se disemina la bacteria causante de la infección. Sistemas de agua sanitaria, tanto fría como caliente, conductos de aire acondicionado, torres de refrigeración, aparatos de respiración mecánica, piscinas climatizadas e incluso fuentes ornamentales han sido claramente implicados en la producción de la enfermedad.

Los conocimientos actuales sobre la biología de la bacteria permiten formular una serie de principios básicos para reducir al máximo los riesgos de colonización por Legionella, así como su multiplicación y diseminación.

La prevención de la contaminación por Legionella se puede llevar a cabo ya en la fase de diseño de las instalaciones y, sobre todo, en la fase de mantenimiento de las mismas.

Además cuando una instalación se implica en la producción de enfermedad con criterios epidemiológicos y microbiológicos claros, la instalación deberá ser tratada, desinfectada de forma rigurosa y controlada posteriormente.

#### **3.1.4 Calentadores Eléctricos Instantáneos de Agua**

Existen diferentes tipos de calentadores eléctricos instantáneos de agua; desde los más sencillos conocidos como duchas eléctricas hasta sistemas compatibles con energía solar, esto quiere decir, que si un sistema solar no nos puede entregar toda

la temperatura que deseamos (por ejemplo, un día que hemos consumido más agua de lo normal), este calentador instantáneo electrónico analizará cuantos grados le faltan al agua que viene del sistema solar para con el mínimo consumo posible (sabe exactamente que temperatura le falta al agua) elevar la temperatura de entrada hasta la temperatura deseada.

Los más sencillos calentadores eléctricos instantáneos de agua eléctricos o conocidos en nuestro medio como duchas eléctricas; son dispositivos que se colocan normalmente en la salida de la regadera.

La mayoría de estos dispositivos no sobrepasan los 10KW de potencia y existen de diversos tipos, regulables en temperatura, para lavamanos, duchas, fregaderos.

Entre las desventajas de estos dispositivos podemos mencionar que, con el aumento de caudal disminuye la temperatura del agua; la instalación de estos sistemas requiere de conexiones a 220V, lo cual no es común en nuestro medio; su consumo de energía eléctrica es alto y existe un riesgo de electrocución si no se toman las medidas adecuadas de precaución en cuanto a la instalación y conexión a tierra.

Este tipo de aplicación es recomendado para aplicaciones individuales y donde el uso de agua caliente sea bajo.



**Figura 3.3 Ducha eléctrica.**

Existe otro sistema de Calentadores eléctricos instantáneos de agua que físicamente son muy parecidos a los calefones con potencias que van desde 3 a 27 KW.



**Figura 3.4 Calentador eléctrico instantáneo marca Junkers**

Estos calentadores pueden ser sencillos, como tener la opción de elegir 2 temperaturas o tan complejos que pueden interactuar con sistemas de calentamiento de agua solar, con pantallas informativas y selección de temperaturas según el usuario lo defina.

Al ser sistemas descentralizados estos equipos solo pueden ser utilizados en aplicaciones medianas con no más de 5 puntos de aplicación por equipo, esto da a que no sean convenientes cuando los requerimientos de ACS sean elevados.

El funcionamiento óptimo de estos equipos se da cuando son utilizados como refuerzo en aplicaciones de ACS solar en donde con su rápida capacidad de respuesta pueden solucionar las deficiencias que el sistema solar no pueda cubrir.

Aunque este tipo de calentadores es mucho más seguro y eficiente que un termo o una ducha eléctrica siguen teniendo el problema de un gran consumo de energía eléctrica y que no pueden ser utilizados en con grandes demandas sin tener la necesidad de instalar varios equipos para un óptimo desempeño.

## 3.2 SISTEMAS ACS MEDIANTE USO DE COMBUSTIBLES FÓSILES

### 3.2.1 Calderas Centralizadas

Las Calderas Centralizadas son instalaciones que aplicando la energía de un combustible ya sea este sólido, líquido o gaseoso, para calentar un fluido y usarlo en diversas aplicaciones; en nuestro medio principalmente se utiliza en la industria, en otros países es común también su uso para calefacción de edificios y grandes casas.

Las calderas ven su mayor aplicación en la generación de vapor de agua para aplicaciones industriales, entre las cuales podemos mencionar generar electricidad mediante turbinas (figura 3.5) o para la esterilización y cocción de alimentos en procesos industriales.

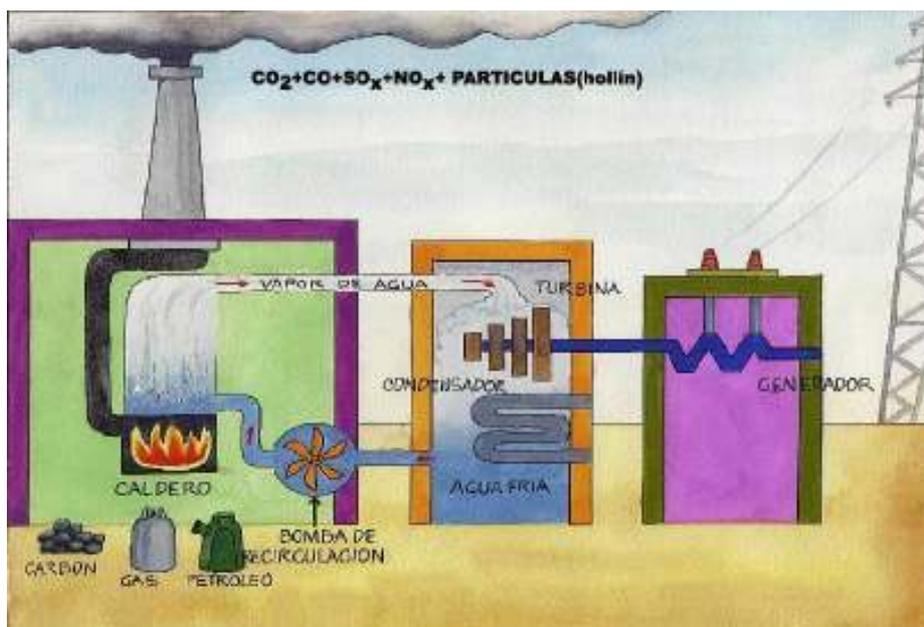


Figura 3.5 Esquema de una caldera en una central térmica

Las ventajas por las que se caracterizan las calderas centralizadas podemos mencionar que: “dentro de sus capacidades genera y entrega vapor en la cantidad, calidad y oportunidad requerida por el usuario final, en forma continua y en operación económica y segura”<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Extraído de: [www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_785\\_4\\_generalidades](http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_785_4_generalidades)

Por otro lado tenemos sus desventajas entre las que podemos mencionar que son grandes instalaciones que necesitan de un espacio específico para su funcionamiento, al igual que su combustible necesita ser almacenado con varias medidas de seguridad como enterrar los tanques o crear piscinas de almacenamiento de derrames. Las calderas necesitan mantenimiento continuo para funcionar en óptimas condiciones, tienen que permanecer encendidas todo el tiempo para poder generar vapor, ya que el tiempo de encendido hasta que se estabilice el equipo no es instantáneo y puede durar varios minutos.

### **A. Tipos de Calderas<sup>6</sup>**

La mayoría de calderas que se describe a continuación son para generar vapor que a su vez, por medio de intercambiadores de calor, son utilizadas para generar agua caliente, calefacción y energía eléctrica.

Existen tantos tipos de calderas como aplicaciones existan, ya que en muchas aplicaciones se diseñan las mismas con parámetros específicos de funcionamiento; aún así las calderas se pueden clasificar de manera general y práctica de la siguiente manera:

---

<sup>6</sup> Extraído de: [www.diee.unican.es/pdf/007%20Calderas.pdf](http://www.diee.unican.es/pdf/007%20Calderas.pdf)

**Tabla 3.1 Clasificación de calderas**

<b>Clasificación de las Calderas</b>	Por su diseño	Pirotubulares
		Acuatubulares
	Por los materiales	de Fundición
		de Acero
		Murales
	Por su Aplicación	Uso Domestico
		Generación Eléctrica
		Plantas de Cogeneración
		Generación de vapor
	Por Temperatura de Salida de los humos	Estándar
		Baja Temperatura
		Condensación
	Por la toma de aire	Circuito Abierto y tiro natural
		Circuito Abierto y tiro forzado
		Calderas estancas
	Por el tipo de combustible	Líquido
		Gaseoso
		Sólido
	Por su diseño (Presión)	Atmosférica
		De Presión
De Sobre presión		
Por el fluido calo portador	De Agua	
	De Agua Sobrecalentada	
	De Vapor	
	De Aceite térmico	

## B. Clasificación por los materiales

**Calderas de fundición:** por sus elementos la transmisión de calor tiene lugar en el hogar, área de intercambio pequeña y rendimientos bajo; tienen poca pérdida de carga en los humos y por ello suelen ser de tiro natural.



Figura 3.6 Caldera de fundición

**Calderas de acero:** Poseen la capacidad de funcionar con combustibles líquidos o gaseosos, por lo que tienen una mayor superficie de contacto y su rendimiento es mejor.



Figura 3.7 Caldera de acero

**Calderas murales:** Son de diseño compacto y reducido, empleadas para instalaciones familiares de ACS y calefacción actualmente se está incrementando su potencia y permiten asociamiento de varias.



Figura 3.8 Caldera mural

### **C. Clasificación por su aplicación**

**Usos domésticos:** Calefacción, ACS o mixtas.

**Generación de energía:** Para la generación de vapor sobrecalentado a altas presiones en plantas termoeléctricas.

**Plantas de cogeneración:** Usan los gases calientes de escape, son calderas llamadas de recuperación.

**Generación de vapor o agua sobrecalentada:** son usadas para diferentes procesos industriales.

### **D. Clasificación por Temperatura salida de los humos**

**Estándar:** No soportan condensación, temperatura de retorno mayor a 70°C.

**Baja Temperatura:** Soportan temperatura de agua de retorno de 35 o 40°C Tubos de doble o triple pared gran tamaño

**Condensación:** La soportan de manera permanente.

### **E. Clasificación por la toma de aire**

**Circuito abierto y tiro natural:** La toma de aire que utiliza un sistema de este tipo se caracteriza por que el aire necesario para la combustión proviene del lugar donde se encuentra ubicada la caldera y expulsa los gases al exterior por un tubo denominado chimenea aprovechando el efecto del mismo nombre o tiro natural.

Es muy importante, por razones de seguridad, que el tiro de la chimenea sea el correcto, para evitar que los gases de escape retrocedan hacia la caldera.

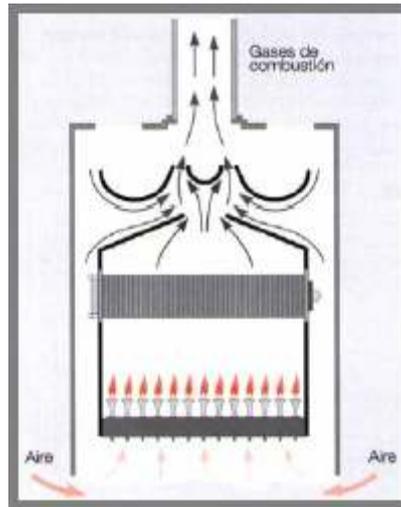


Figura 3.9 Circuito abierto y tiro natural

**Circuito abierto y tiro forzado:** El aire necesario para el funcionamiento de la caldera proviene del lugar donde se encuentre instalada y los gases de escape son expulsados con la ayuda de un ventilador a lo que se le llama tiro forzado y son enviados al exterior por un conducto específico como se ilustra en la figura.

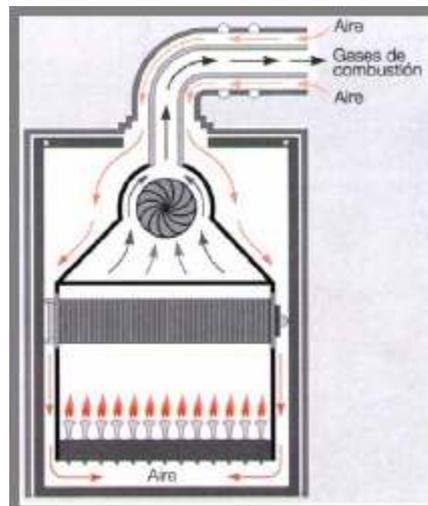


Figura 3.10 Circuito abierto y tiro forzado

**Calderas estancas:** en este tipo de calderas el aire necesario para la combustión es tomado de un lugar diferente al que se encuentra la caldera, dispone de un ventilador para alimentar del aire exterior y evacuar los gases de la caldera. El aire y los gases de escape son canalizados por diferentes conductos, uno para la circulación de aire y otro para la expulsión de los gases, estos conductos suelen ser concéntricos.

## **F. Clasificación por el tipo de combustible**

**Sólidos:** Engorrosas de operar por la alimentación, las cenizas y suciedad generan un difícil control de la combustión.

**Líquidos:** El combustible deber ser pulverizado o vaporizado para que reaccione con el aire.

**Gaseosos:** De combustión más fácil pero más peligrosa que los líquidos.

## **G. Clasificación por su diseño**

**Calderas atmosféricas:** son las más sencillas y no disponen de dispositivos mecánicos para la circulación de los gases.

**Calderas de depresión:** Funcionan por la depresión que se crea en la chimenea o por un ventilador que aspira; se evita la salida de humos al local.

**Calderas de sobre presión:** Los gases circulan empujados por un ventilador; por lo que los gases circulen más rápido que en las calderas de depresión.

## **H. Clasificación de las calderas por el fluido calo portador**

**Calderas de agua:** Deben funcionar con agua destilada para aumentar su vida útil.

**Calderas de agua sobrecalentada:** Necesitan bombas de alimentación para elevar la presión, las fugas son muy peligrosas.

**Calderas de vapor:** Las fugas son muy peligrosas, los condensados necesitan ser purgados, necesitan gran control de la calidad del agua.

**Calderas de aceite térmico:** Necesitan de un intercambiador de calor.

## I. Clasificación de las calderas por su diseño

### CALDERAS PIROTUBULARES.

En las calderas pirotubulares o de tubos de humo (figura 3.11) la llama se forma en el hogar pasando los humos por el interior de los tubos de los pasos siguientes para ser conducidos a la chimenea; presentan una elevada pérdida de carga en los humos. El hogar y los tubos están completamente rodeados de agua.

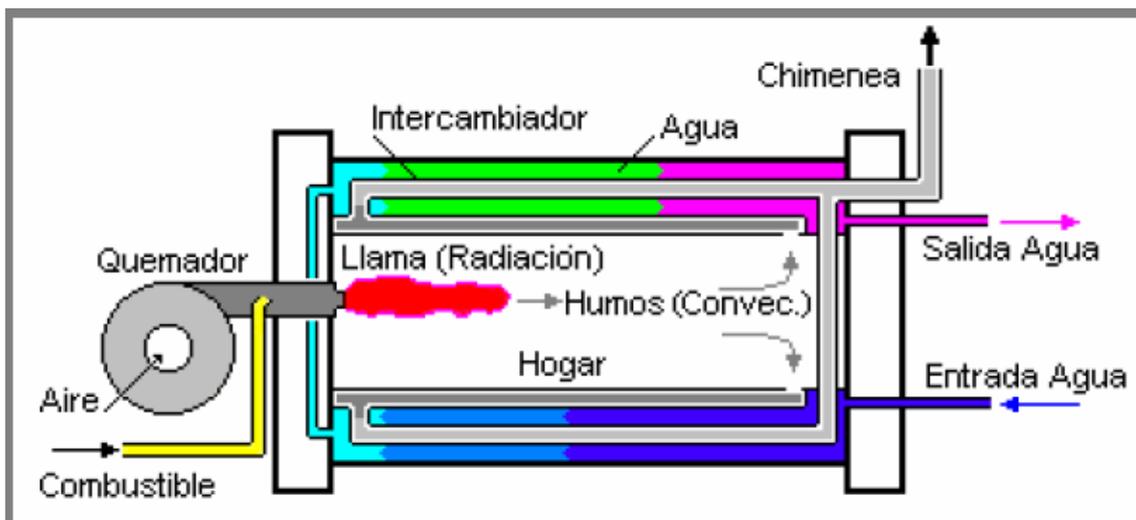


Figura 3.11 Esquema de una caldera pirotubular

En estas calderas los gases de combustión son obligados a pasar por el interior de unos tubos, que se encuentran sumergidos en la masa de agua. Todo el conjunto, agua y tubo de gases, se encuentra rodeado por una carcasa exterior. Los gases calientes al circular por los tubos ceden calor, el cual se transmite a través de los tubos, y posteriormente al agua.

La presión de trabajo normalmente no excede los  $25 \text{ kg/cm}^2$ , ya que a presiones más altas obligarían a espesores de carcasa demasiados grandes. Su producción de vapor máxima se encuentra alrededor de  $25 \text{ ton/hr}$ . Este tipo de caldera también suele ser utilizada para la generación de agua caliente.

Las calderas pirotubulares pueden utilizar combustibles líquidos y gaseosos. Las calderas pirotubulares que utilizan combustibles líquidos pueden ser de hogar integral, o compactas con tubo hogar.

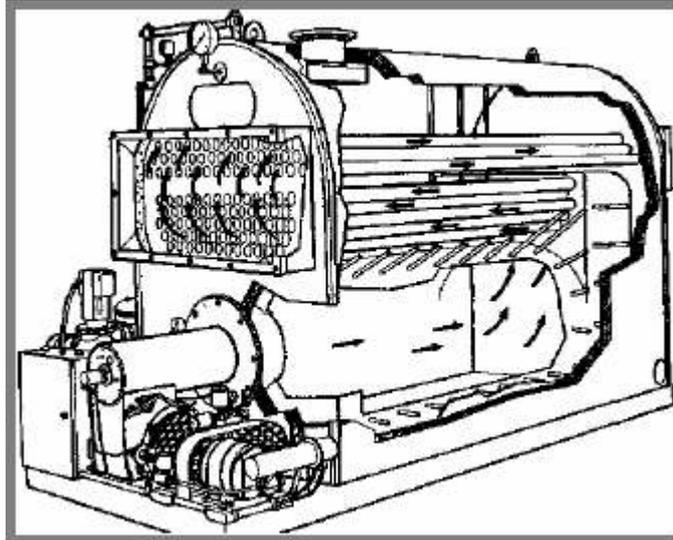


Figura 3.12 Caldera pirotubular común

### CALDERAS ACUATUBULARES.

En las calderas acuotubulares, o de tubos de agua la llama se forma en un recinto de paredes tubulares que configuran la cámara de combustión. Soporta mayores presiones en el agua, pero es más cara, tiene problemas de suciedad en el lado del agua, y menor inercia térmica.

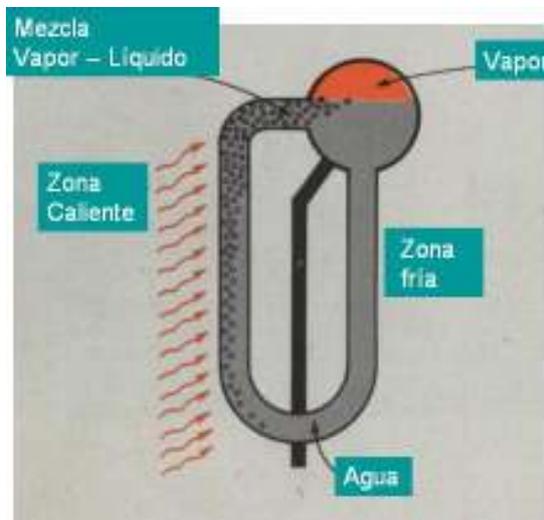
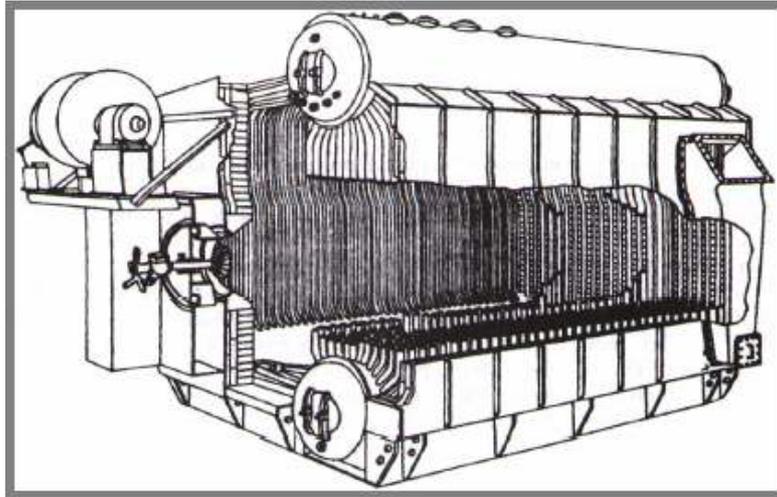


Figura 3.13 Esquema de funcionamiento de una caldera acuotubular

Las calderas acuotubulares eran usadas en centrales eléctricas y otras instalaciones industriales, logrando con un menor diámetro y dimensiones totales una presión de trabajo mayor, para accionar las máquinas a vapor de principios de siglo.



**Figura 3.14 Esquema de una caldera acuotubular**

En estas calderas, los tubos longitudinales interiores se emplean para aumentar la superficie de calefacción, y están inclinados para que el vapor a mayor temperatura al salir por la parte más alta, provoque un ingreso natural del agua más fría por la parte más baja. Originalmente estaban diseñadas para quemar combustible sólido.

“Estas calderas tienen un gran espectro de producción de vapor, la cual puede variar desde una pequeña producción, en calderas compactas, hasta las grandes producciones de 1000 ton/h y presiones hasta  $150 \text{ kg/cm}^2$ , cómo es el caso de las centrales termoeléctricas.”<sup>7</sup>

Las calderas se construyen en una amplia variedad de tamaños, disposiciones, capacidades, presiones, y para aplicaciones muy variadas.

Se fabrican en capacidades de 20 HP hasta 2,000 HP, por su fabricación de tubos de agua es una caldera "INEXPLOSIBLE", la eficiencia térmica está por arriba de cualquier caldera de tubos de humo, ya que se fabrican de 3, 4 y 6 pasos dependiendo de la capacidad.

El tiempo de arranque para la producción de vapor a presión de trabajo no excede los 20 minutos. Los equipos son fabricados con materiales que cumplen con requerimientos de normas internacionales.

---

<sup>7</sup> Extraído de: [www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_785\\_4\\_generalidades](http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_785_4_generalidades)

Existen equipos tipo paquete con todos sus sistemas para su operación automática, otras utilizan quemadores ecológicos para biodiesel, gas y diesel, existen con sistemas de modulación automática para control de admisión aire-combustible a presión.

El vapor que produce una caldera de tubos de agua es un vapor seco, por lo que en los sistemas de transmisión de calor existe un mayor aprovechamiento. El vapor húmedo producido por una caldera de tubos de humo contiene un porcentaje muy alto de agua, lo cual actúa en las paredes de los sistemas de transmisión como aislante, aumentando el consumo de vapor hasta en un 20%.



**Figura 3.15 Caldera Babcock-Wilcox**

### **J. Calderas individuales (Calefones)**

Las calderas de gas para uso individual son un producto destinado a instalaciones domésticas de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS).

Su funcionamiento es sencillo; las calderas queman el gas y aportan el calor así generado al agua que circula por su interior, la cual se distribuye a los radiadores para calefacción o como agua caliente para uso sanitario.



**Figura 3.16 Calefón**

Son calderas murales que incorporan todos los elementos necesarios para su funcionamiento y que suelen clasificarse según el servicio ofrecido en:

- Calderas de calefacción.
- Calderas de ACS.
- Calderas mixtas de calefacción y producción instantánea de ACS. Este último servicio tiene siempre prioridad sobre la calefacción, de forma que dedican toda su potencia para la preparación del agua caliente.
- Calderas mixtas de calefacción y producción de ACS por acumulación. Tienen la misma aplicación que las anteriores y disponen de un depósito de agua caliente permiten una mayor simultaneidad en la utilización de este servicio.

Estos equipos son compactos para facilitar su instalación en el interior de las viviendas e incorporan los aparatos de seguridad y regulación, la bomba de circulación, el vaso de expansión y, en algunos casos un pequeño depósito acumulador de ACS.

Entre las ventajas de estos equipos podemos mencionar:

- Gama de producto amplia, en marcas y modelos, que facilita la elección.
- Independencia de uso y consumo de energía, en relación con las instalaciones centrales.
- Posibilidad de adaptación a distintos tipos de gases combustibles, fundamentalmente gas natural y propano.
- Sencillez de mantenimiento.

Entre las limitaciones de estos equipos podemos mencionar:

- En general sólo es posible utilizar un punto de consumo de agua caliente, ya que al usar más, el caudal disponible se reparte entre ellos.
- En viviendas de nueva construcción e instalación interior, precisan chimeneas para la evacuación de los gases de combustión, que restan superficie útil y que deben tenerse en cuenta al diseñar el edificio.
- En calefacción de edificios habitacionales pueden producirse situaciones de falta de confort o incrementos de consumo debidos a los distintos niveles de utilización en cada vivienda. No obstante, este efecto se produce en todas las instalaciones individuales, en comparación con las centralizadas.

### **3.3 SISTEMA ACS SOLARES**

#### **3.3.1 Energía Solar Térmica**

Las instalaciones de energía solar térmica se pueden clasificar según el uso o no de elementos mecánicos para la captación en: pasivas o activas.

Las instalaciones pasivas se basan en procesos físicos básicos, y están enfocadas a la aclimatación (calefacción o refrigeración) de volúmenes habitados, todo esto sin la actuación de ningún elemento mecánico.

Las instalaciones activas son utilizadas para el calentamiento de fluidos, normalmente agua, y para la refrigeración de aire a partir de la concentración de la radiación solar.

Dependiendo de la temperatura final alcanzada por el fluido a la salida, las instalaciones activas para el calentamiento de fluidos se dividen en:

- Baja temperatura (las más extendidas)
- Media temperatura
- Alta temperatura

### **3.3.2 Clasificación de los Sistemas de Energía Solar Térmica**

Los sistemas de energía solar térmica se clasifican de acuerdo con el grado de temperatura obtenido al calentar un fluido, en:

#### **A. Energía solar térmica de baja temperatura:**

Destinada a aquellas aplicaciones que no exigen temperaturas del agua superiores a los 90°C. Así por ejemplo, agua caliente sanitaria (ACS) y apoyo a la calefacción de viviendas, ACS en polideportivos, calentamiento de agua de piscinas.

#### **B. Energía solar térmica de media temperatura:**

Destinada a aquellas aplicaciones que exigen temperaturas del agua comprendidas entre los 80°C y los 250°C. Como, por ejemplo, la producción de fluidos térmicos para procesos industriales, la desalinización de agua de mar y refrigeración mediante energía solar.

#### **C. Energía solar térmica de alta temperatura:**

Destinada a aquellas aplicaciones que requieran temperaturas del agua superiores a los 250°C. Así, por ejemplo, la generación de vapor para la producción de electricidad a gran escala.

Como hemos visto, entre estos sistemas solares activos para calentar agua, se puede señalar que la energía solar térmica de baja temperatura es la que más se aplica al sector residencial o de viviendas, y es a la que se dedicará el presente proyecto.

Siendo ACS la necesidad en la residencia se analizara y profundizara tan solo en el sistema de energía solar térmica de baja temperatura y no en los otros por no ser necesario considerarlos.

### **3.3.3 Energía Solar Térmica de Baja Temperatura**

El sistema más simple para aprovechar la energía calorífica del sol (radiación infrarroja) es la instalación de un colector solar plano por el interior del cual se hace

pasar agua para su calentamiento. Esta agua es usada principalmente con fines sanitarios.

Con un sistema de estas características se podrá calentar agua hasta una temperatura de aproximadamente 80°C. Aparte del colector solar se necesita disponer de un método de almacenamiento para el agua producida por el colector de manera que sea capaz de satisfacer la demanda en condiciones en que la radiación solar sea insuficiente.

Las instalaciones para la producción de ACS se pueden clasificar en:

### A. CIRCUITO ABIERTO

El agua que circula por los colectores se usa directamente para el consumo. Estas instalaciones no disponen de intercambiador, quedando su aplicación limitada por factores tales como la calidad del agua, la existencia de heladas estacionales, o el exceso de presiones.

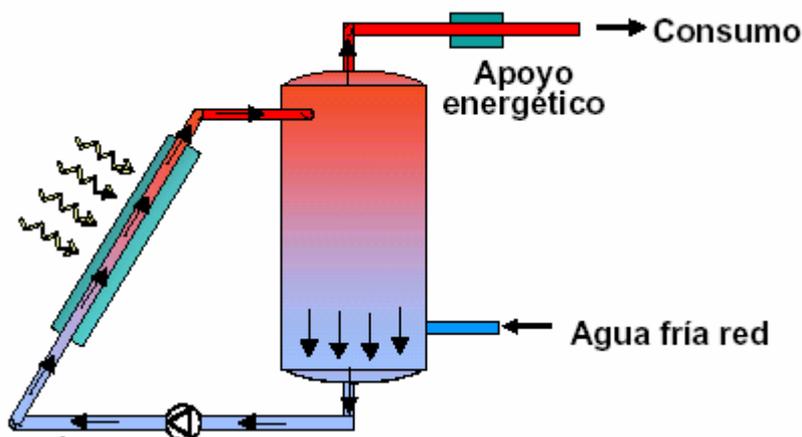


Figura 3.17 Esquema de un circuito abierto

### B. CIRCUITO CERRADO

Se puede observar la distinción de dos circuitos diferentes. El circuito primario estaría constituido por los colectores donde se produce el calentamiento del agua con un anticongelante llamado glicol o también se utiliza aceite de tipo térmico y se lo hace circular gracias a la bomba de impulsión.

Este fluido cede su calor por medio de un intercambiador al agua que circula por el circuito secundario, siendo ésta agua la que es almacenada en el acumulador. Como elemento independiente del depósito de acumulación además de la bomba del circuito secundario, se encuentra la fuente energética auxiliar, que entra en funcionamiento cuando la temperatura del agua de salida del acumulador es inferior los requerimientos de la demanda.

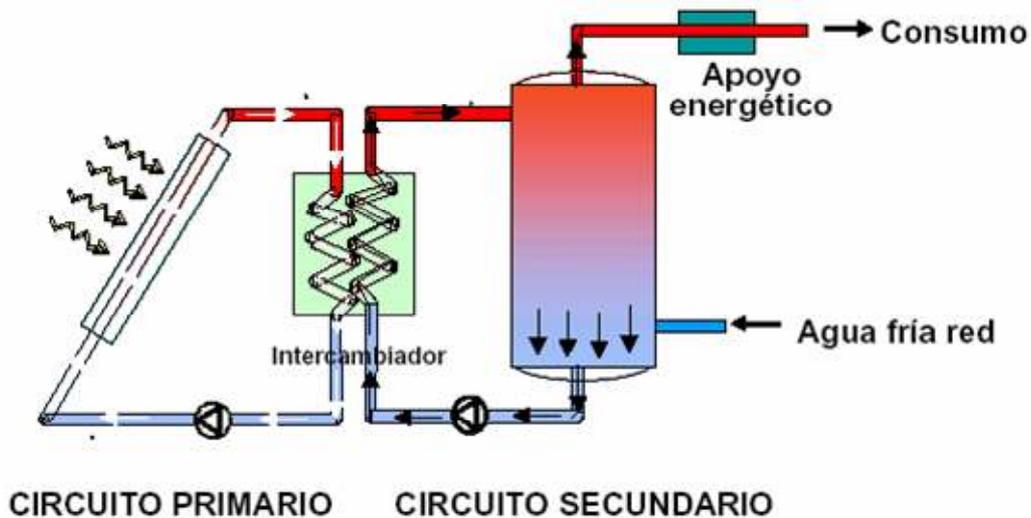


Figura 3.18 Esquema de un circuito cerrado.

Este sistema tiene también otras variaciones las cuales tan solo influyen en la posición de los componentes y mas no en el funcionamiento básico del sistema.

### 3.3.4 Partes del Sistema de Energía Solar Térmica de Baja Temperatura

Las instalaciones de baja temperatura requieren para su funcionamiento el acoplamiento de cuatro subsistemas principales:

1. **Subsistema de captación:** cuya finalidad es la captación de la energía solar.
2. **Subsistema de almacenamiento:** cuya finalidad es adaptar en el tiempo la disponibilidad de energía y la demanda, acumulándola cuando está disponible, para poderla ofrecer en cualquier momento en que se solicite.
3. **Subsistema de distribución y consumo:** cuya finalidad es trasladar a los puntos de consumo el agua caliente producida.

4. **Subsistema de control:** cuya finalidad es la de coordinar el funcionamiento del sistema y protegerlo contra condiciones extremas.

El funcionamiento de los cuatro subsistemas está condicionado por la meteorología, fundamentalmente radiación solar y temperatura, así como por la demanda.

### A. Subsistema de captación

El subsistema de captación está constituido por el colector solar (o colectores solares) que son los elementos encargados de captar la energía contenida en la radiación solar y transferirla al fluido a calentar.

El tipo de colectores más extendido es el denominado colector solar plano. Los colectores solares planos destinados al calentamiento de agua pueden estar fabricados en distintos materiales (acero, cobre, aluminio, plástico) pero están basados siempre en el mismo principio, denominado “efecto invernadero”, consistente en captar en su interior la energía solar, transformándola en energía térmica e impidiendo su salida al exterior.

La característica específica de los colectores planos es que carecen de cualquier tipo de concentración de la energía incidente; captan tanto la radiación directa, como la difusa y carecen de cualquier forma de seguimiento de la posición del sol, a lo largo del día.

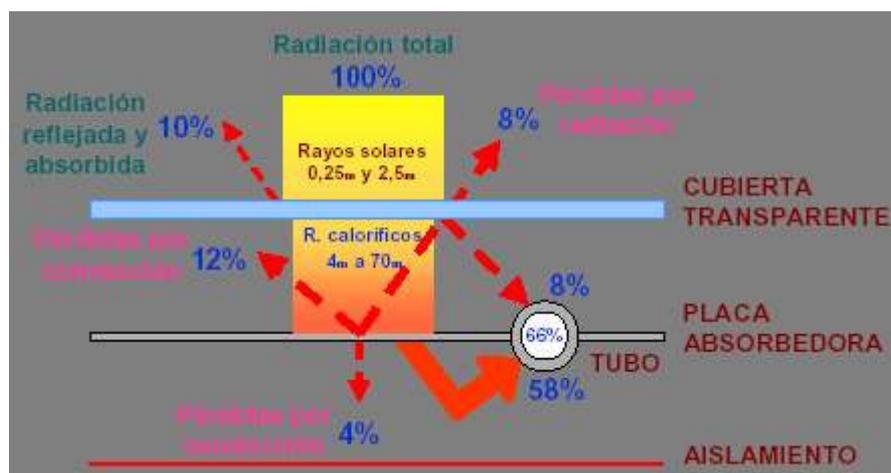


Figura 3.19 Efecto invernadero

Los colectores solares deben ser ubicados en una posición donde se obtenga la mayor cantidad de radiación solar posible. La dirección óptima es hacia el Ecuador.

La relaciones geométricas entre un plano de una orientación particular relativa a la tierra a cualquier hora y la radiación solar incidente que es la posición relativa del sol al plano, puede ser descrita en términos de varios ángulos como se indica en la figura 3.20 y los cuales se describen a continuación:

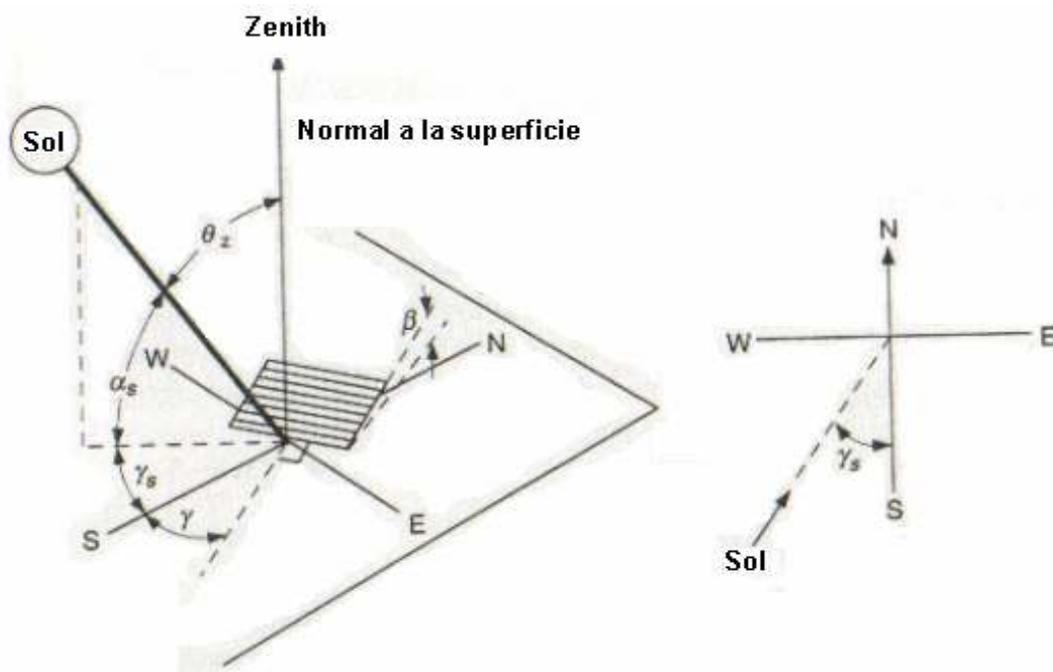


Figura 3.20 Ángulos solares

Latitud ( $\phi$ ): Distancia angular de un punto con respecto al plano ecuatorial, norte positiva y sur negativa;  $-90 \leq \phi \leq 90$  grados.

Declinación ( $\delta$ ): Es la posición angular del sol con relación al plano ecuatorial al medio día, norte positiva y sur negativa;  $-23.45 \leq \delta \leq 23.45$  grados.

Inclinación ( $\beta$ ): Ángulo entre la horizontal y el plano de análisis;  $0 \leq \beta \leq 180$  grados.

Azimut de superficie ( $\gamma$ ): Desviación de la proyección de la normal a la superficie en un plano horizontal y el meridiano que pasa por ese sitio, hacia el sur ángulo cero, este negativo y oeste positivo;  $-180 \leq \gamma \leq 180$ .

Ángulo horario ( $\omega$ ): Se debe al desplazamiento angular del sol y el meridiano del sitio, 15 grados por hora, en la mañana negativa y en la tarde positivo.

Ángulo de incidencia ( $\theta$ ): Es el ángulo comprendido entre la dirección de la radiación solar y la perpendicular a la superficie.

Ángulo de Zenith ( $\theta_z$ ): Ángulo entre la perpendicular al observador y el sol.

En la figura 3.20 se representan algunos de los ángulos detallados anteriormente sin embargo, aquellos que no se encuentran especificados son ángulos complementarios que no son utilizados para los cálculos posteriores. Adicionalmente se encuentran detallados otros ángulos que no se encuentran en la figura y no requieren de un esquema para su total entendimiento.

El banco de colectores debe estar ligeramente inclinado hacia arriba en la esquina de salida del arreglo para eliminar la presencia de aire y permitir el flujo por termosifón.

En muchos casos es conveniente instalar los colectores sobre la estructura de un techo ya existente a pesar de que esta no posea el ángulo más adecuado. Son tolerables variaciones de hasta 15 o 20 grados del mejor ángulo.

Cabe indicar que la inclinación de los colectores debe ser de al menos 10 grados, con la finalidad de ayudar al efecto de termosifón y limpieza por medio de la lluvia de cualquier suciedad que se deposite en la superficie de los colectores.

Es importante tener un especial cuidado en prevenir que se produzcan sombras sobre los colectores durante las horas de radiación solar debido a árboles o arbustos que suelen crecer vigorosamente cerca de la edificación. Adicionalmente al diseñar se debe tomar en cuenta que no existan edificaciones adyacentes u otros objetos que puedan causar sombra, especialmente entre 9:00 a.m. y 4:00 p.m.

## **B. Subsistema de almacenamiento**

Si se quiere aprovechar al máximo las horas de sol, será necesario acumular la energía en aquellos momentos del día en que esto sea posible y utilizarla cuando se produzca la demanda.

Lo habitual es almacenar la energía en forma de calor sensible por medio del agua que se pasará a consumo con posterioridad. Pueden encontrarse en el mercado distintos tipos de acumuladores para agua caliente, aunque en instalaciones pequeñas o medianas es recomendable la utilización de acumuladores específicos para energía solar.

Una nueva opción para la acumulación del agua es la propuesta en la tesis de la facultad de ingeniería mecánica de título “Estudio de un Nuevo Sistema de Agua Caliente en Colectores Solares Planos” donde hace referencia a un tanque de almacenamiento, este nuevo sistema se lo debe tomar en cuenta para el diseño del sistema.

### **Estratificación**

El desarrollo de la estratificación en tanques de agua caliente es generalmente complicado debido a los continuos movimientos del agua. Sin embargo la estratificación puede realizarse mediante un adecuado diseño de las conexiones de entrada y salida del tanque.

La estratificación es el fenómeno que ocurre cuando el agua caliente flota sobre el agua fría en el tanque de almacenamiento, y es importante para los sistemas de agua caliente por energía solar porque facilita el calentamiento del agua fría de la base del tanque y ubica el agua caliente en la parte superior del tanque para su uso.

Para realizar un adecuado efecto de estratificación es importante tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- El agua dirigida hacia los colectores es el agua más fría de la parte baja del tanque.

- Para reducir la mezcla, el agua caliente de los colectores debe ingresar por la parte superior del tanque.
- La velocidad de entrada y salida del agua en el tanque debe mantenerse baja.
- Utilizar difusores y otros elementos para reducir la turbulencia y maximizar la estratificación.

En caso de tener un respaldo de resistencias eléctricas en el tanque, estas no deben operar cuando existe radiación solar para poder obtener el máximo calentamiento por energía solar.

Como se puede apreciar la estratificación es crucial para la operación efectiva de los sistemas de calentamiento solar, y se ha calculado que el desempeño de un tanque estratificado puede ser mejor en un 38% a los tanques de carga mixta completa.

### **C. Subsistema de distribución y consumo**

Las instalaciones de energía solar térmica han de incluir necesariamente una serie de elementos indispensables para el correcto funcionamiento y control de la instalación. Algunos de ellos son obligatorios, puesto que se trata de elementos de seguridad, y otros se colocan para obtener un mejor rendimiento de la instalación y un más correcto mantenimiento (válvulas de paso, válvulas de seguridad, manómetro, termómetro)

En las instalaciones solares térmicas de baja temperatura para que la transferencia térmica sea eficaz, debemos asegurar la circulación del fluido. Esto se puede conseguir de dos formas diferentes, por termosifón (circulación natural) y mediante una bomba de circulación (circulación forzada).

#### **Circulación natural o por termosifón**

El movimiento del agua por circulación natural o termosifón se produce por la diferencia de temperaturas entre el agua fría del tanque y la caliente del colector, esto es, el agua interior del colector calentada por el sol disminuye su densidad y por tanto su peso, por lo que el mayor peso del agua fría del depósito (colocado necesariamente por encima de los colectores más de 30cm), actuando por el conducto de retorno, que une la parte inferior del depósito con la parte inferior del

colector, empuja al agua caliente del colector, menos pesada, obligándola a ascender por la tubería que une la parte superior del tanque.

Creado de esta forma el movimiento del agua del colector al depósito, éste se mantendrá mientras haya suficiente diferencia de temperaturas entre el colector y el depósito. Una vez calentada el agua del depósito las temperaturas se igualan y el movimiento cesa.

Cuando se produce una extracción de agua caliente el depósito se rellena con agua de la red, la temperatura del tanque baja y el movimiento se reinicia por sí mismo.

Es básico, en un sistema por termosifón que el diseño y montaje de la instalación favorezca el movimiento del agua caliente.

Dos son los factores que influyen en la fuerza ascensional del agua:

1. La diferencia media de temperaturas del agua a la salida del colector y en la parte baja del depósito; y,
2. La diferencia de alturas  $h$  entre el tanque y los colectores (mínimo 30cm)

Tiene la gran ventaja de ser más sencillo, pues carece de bomba de circulación. Se suele comercializar como equipos compactos.

Es el sistema aconsejable para viviendas unifamiliares con una demanda de agua caliente de unos 250 lt/día.

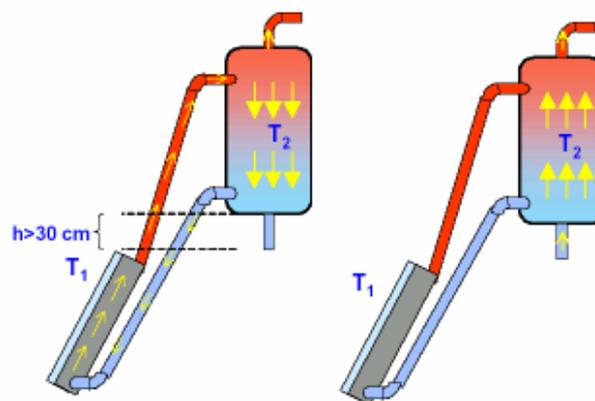


Figura 3.21 a) Efecto termosifón, b) Extracción de agua caliente

### Circulación forzada

Si queremos evitar los inconvenientes de la instalación con circulación por termosifón, la circulación del agua puede conseguirse introduciendo una bomba que hace circular el agua de forma forzada, lo cual permite regular mejor la instalación.

La bomba de circulación de una instalación pequeña (área de colector de 4m<sup>2</sup> y depósito de 200 litros) tiene una potencia relativamente pequeña, de unos 15 a 20 vatios.

Ahora el captador y el depósito pueden adoptar la posición relativa que convenga, es decir, que pueden estar al mismo nivel.

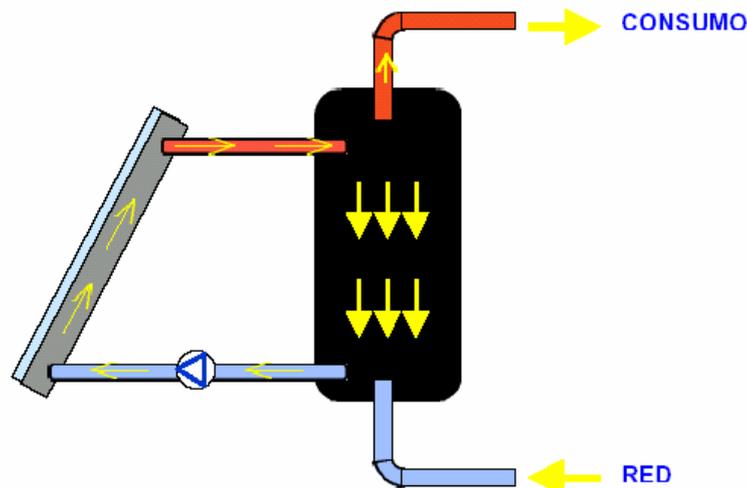


Figura 3.22 Circulación Forzada.

En la siguiente tabla se muestran las ventajas y desventajas de los sistemas cerrados, abiertos, con circulación natural y forzada, con sus respectivas combinaciones:

**Tabla 3.2 Ventajas y desventajas de los tipos de sistemas solares.**

	<b>NATURAL</b>	<b>FORZADA</b>
<b>ABIERTOS</b>	No requiere potencia eléctrica	Necesidad de potencia eléctrica
	Sencillez y bajo coste	Complejos y más caros
	Depósito a una altura superior que los colectores	Depósito en cualquier lugar
	No se puede regular la temperatura del depósito	Posibilidad de regular la temperatura
	No necesita bomba	Necesidad de bomba
	No se puede proteger contra las heladas	No se puede proteger contra las heladas
	Mayor peligro ante la corrosión	Mayor peligro ante la corrosión
	Los colectores soportan mayor presión de trabajo.	Los colectores soportan mayor presión de trabajo.
	Pequeñas instalaciones	Instalaciones medias
	Usada en viviendas unifamiliares aisladas	Viviendas unifamiliares

<b>CERRADOS</b>	No requiere potencia eléctrica	Necesidad de potencia eléctrica
	Sencillez y bajo coste	Complejos y más caros
	Depósito a una altura superior que los colectores	Depósito en cualquier lugar
	No se puede regular la temperatura del depósito	Posibilidad de regular la temperatura
	No necesita bomba	Necesidad de bomba
	Se puede usar anticongelante	Se puede usar anticongelante
	Seguridad ante la corrosión	Seguridad ante la corrosión
	Colectores sometidos a menos presión	Colectores sometidos a menos presión
	Instalaciones medias	Grandes instalaciones
	Usada en climatización de piscina	Usada en viviendas con ACS. centralizada

## **D. SUBSISTEMA DE CONTROL**

### **Controladores**

El equipamiento de control es necesario para la operación de sistemas de calentamiento solar y más aún en sistemas que cuentan con elementos de apoyo para calentamiento. El control básico que se requiere en un sistema de calentamiento solar es:

- Encendido y apagado de sistemas de bombeo.
- Encendido del subsistema auxiliar de calentamiento cuando el subsistema solar no abastece la energía requerida
- Protección del sistema de daños debido a heladas o elevadas temperaturas.

### **Termostatos**

Las bombas son controladas por medio de termostatos. La bomba se enciende para hacer circular agua en los colectores y además el termostato activa válvulas de seguridad para proteger de las altas temperaturas cortando el flujo de agua en la tubería de entrada al colector.

### **3.3.5 Aspectos Medio Ambientales**

Al igual que el resto de las energías renovables, las aplicaciones térmicas de la energía solar, presentan muchos beneficios medioambientales como evitar la contaminación atmosférica, nula o escasa repercusión sobre el suelo, el agua, la vegetación.

La utilización de la energía solar térmica en muchas ocasiones va asociada al entorno urbano, en el cual se presentan problemas medioambientales de diferentes tipos y entre los que destaca la contaminación atmosférica producida por vehículos, instalaciones térmicas domésticas. Por tanto, la aplicación de esta tecnología tiene como ventaja disminuir sensiblemente las emisiones gaseosas originadas por los sistemas de generación de agua caliente, precisamente en aquellas localizaciones en que este problema resulta más acusado.

La integración de los paneles solares térmicos de forma armoniosa con la edificación puede enmascarar el posible efecto visual negativo. Adicionalmente la aplicación de energía solar térmica en varios sectores puede ser un aspecto de interés fuera de campo estrictamente energético ya que proporciona una imagen de respeto con el medio ambiente, cuidado del entorno y calidad de vida.

### **3.4 SISTEMAS HÍBRIDOS**

Los sistemas híbridos se caracterizan en general por utilizar tecnologías de diferente naturaleza para obtener la energía de funcionamiento; en nuestro caso particular energía para generar agua caliente sanitaria.

El diseño de una instalación solar de ACS, por si sola, esta por debajo del margen de seguridad que garantice la cobertura durante todos los días del año, ya sea por razones económicas o bien por que se dispone de otra fuente de generación de ACS que complementará la generada por la instalación solar.

Aún cuando el tamaño de la instalación solar sea el correcto se producen puntas de consumo muy por encima de lo habitual, o simplemente, hay un período largo de tiempo nublado o lluvioso que impiden que la radiación solar suministre la energía necesaria al sistema, se hace indispensable un sistema auxiliar; por lo que existen necesidades de ACS que hay que garantizar en toda circunstancia.

Por tanto, hay casos en que es recomendable disponer de algún sistema de generación auxiliar que permita hacer frente con seguridad a los períodos anteriormente citados. Asimismo que garantice el confort de los usuarios del sistema de ACS.

Un sistema de generación auxiliar de ACS deberá tener las siguientes características para una óptima integración con un sistema de calentamiento solar:

- Operar automáticamente cuando sea necesario (instantáneos).
- Satisfacer la demanda en caso de falla del sistema solar.
- Compartir un sistema común de distribución con el sistema solar.

### 3.5 SELECCIÓN DEL SISTEMA MÁS APROPIADO

A continuación vamos a tomar la decisión de cual de los sistemas de ACS se adapta de mejor manera a las necesidades de la residencia, teniendo muy en cuenta las consideraciones medio ambientales de la energía renovable para la decisión. Para la elección del mejor sistema utilizaremos el método de puntos o ponderación matemática.

Existen unas características o factores similares en cada uno de los sistemas analizados, y cada una de ellas se da con distinta intensidad o peso. Además, para cada característica se admite una importancia diferente lo que crea una discriminación.

Como primer paso en la tabla 3.3 se enumeran los factores de peso, que no son más que los parámetros más importantes en considerar para la instalación de un nuevo sistema de ACS, a los cuales se les dará un valor cuantitativo para después realizar una ponderación matemática que da como resultado la mejor alternativa.

**Tabla 3.3 Factores de Peso**

		1	2	3	4	5	6	n+1	Puntos	Factor de Peso	FP en %
1	Energía Renovable	-	1	1	1	1	1	1	6.0	0.29	29%
2	Mantenibilidad	0	-	1/2	1	1	1	1	4.5	0.21	21%
3	Durabilidad	0	1/2	-	1	1	1	1	4.5	0.21	21%
4	Disponibilidad tecnológica	0	0	0	-	1	1	1	3.0	0.14	14%
5	Legionella	0	0	0	0	-	1	1	2.0	0.10	10%
6	Efecto Visual	0	0	0	0	0	-	1	1.0	0.05	5%
<b>Sumatoria:</b>									21.0	1.00	100%

1: Si el factor de la fila es mayor al factor de la columna

1/2: Si el factor de la fila es igual al factor de la columna

0: Si el factor de la fila es menor al factor de la columna

No todos los factores tienen la misma importancia. El valor que representa a esta importancia lo llamamos ponderación y se expresa en cifras. El conjunto de factores de peso y ponderación constituye el método de valoración, que es el instrumento de

medida a emplear. Determinados en cada sistema los grados correspondientes, dotados de su puntuación, podremos con una simple suma tener el valor representativo de cada sistema o en otras palabras la mejor opción.

Los sistemas que vamos a comparar son los siguientes:

1. Termostatos (sistema actual)
2. Ducha eléctrica
3. Calentador eléctrico instantáneo
4. Caldera centralizada
5. Calefones
6. Colectores solares circuito abierto
7. Colectores solares circuito cerrado

La forma de evaluar los grados para cada factor es la siguiente:

**Energía Renovable:** Si el sistema funciona con 100% de energía renovable le daremos una calificación de 10, si funciona con energía que se renueva dentro de unos cientos de años como es el ciclo de agua para generación hidroeléctrica la calificación es de 5, pero si por el contrario, la energía que utiliza el sistema tarda millones de años en regenerarse como es el caso de los hidrocarburos la calificación correspondiente es de 3.

**Mantenibilidad:** Se calificara de buena (10) si el sistema necesita escaso o nulo mantenimiento, mala (7.5) si el sistema necesita de chequeos semestrales y regular (5) para los sistemas que necesiten de mantenimientos rutinarios.

**Durabilidad:** Evaluada con los mismos grados que la mantenibilidad, la durabilidad hace referencia al tiempo que puede permanecer funcionando el sistema en circunstancias adversas como mal clima, falta de mantenimiento, dureza en el agua de suministro.

**Disponibilidad tecnológica:** este grado hace referencia a la existencia de estos sistemas en nuestro medio, si existen distribuidores autorizados y una gran disponibilidad de accesorios y repuestos, así como la cantidad de instalaciones que

usen el sistema, como ejemplo las calderas centralizadas son muy poco usadas para ACS en nuestro medio por lo que no reciben la calificación máxima y por otro lado tenemos los calentadores instantáneos eléctricos que son casi desconocidos en nuestro medio y la adquisición de los mismos es a través de importación.

**Legionella:** De esta enfermedad se habló anteriormente, y como se explicó es más propensa a activarse y propagarse en lugares donde se almacena prolongadamente agua caliente sanitaria, por lo que, si existe alta probabilidad que se desarrolle la enfermedad la calificación es 5, para una mediana 7.5 y para una baja probabilidad 10.

**Efecto Visual:** Evalúa el cambio que tendrá el edificio en su fachada y apariencia interior y exterior al instalarse cada uno de los sistemas.

La tabla 3.4 muestra la ponderación matemática; dando como resultado que la mejor opción es un sistema de calentamiento de agua solar de circuito abierto, después se ubica el sistema solar de circuito cerrado, seguido de cerca esta el sistema que actualmente se encuentra instalado de termostatos.

Para elegir el sistema de respaldo la consideración es que debe ser un sistema que actúe exclusivamente cuando el sistema principal no abastezca con la temperatura adecuada del agua, en la ponderación los sistemas de respaldo mejor calificados son la ducha eléctrica, el termostato y con igual calificación el calentador eléctrico instantáneo y el calefón, de los cuales la mejor opción sería el termostato eléctrico ya que se puede aprovechar el mismo espacio y conexiones eléctricas de existentes.

Por la múltiples opciones que existen para el sistema auxiliar de energía hacen necesario analizar las alternativas de forma muchos más detallada, lo cual no se encuentra dentro del alcances del presente proyecto.

A continuación se presenta la tabla de ponderación matemática que nos ayudó en la selección del sistema de ACS más adecuado.

Tabla 3.4 Ponderación Matemática

Sistemas Factores de Peso			Termostato		Ducha Eléctrica		Calentador Eléctrico		Caldera Centralizada		Calefones		CSA		CSC	
			RF	P	RF	P	RF	P	RF	P	RF	P	RF	P	RF	P
1	Energía Renovable	0,29	No(5)	1,45	No(5)	1,45	No(5)	1,45	No(3)	0,87	No(3)	0,87	Si (10)	2,9	Si (10)	2,9
2	Mantenibilidad	0,21	Buena (10)	2,1	Buena (10)	2,1	Regular (7.5)	1,58	Regular (7.5)	1,58	Regular (7.5)	1,58	Regular (7.5)	1,58	Regular (7.5)	1,58
3	Durabilidad	0,21	Buena (10)	2,1	Buena (10)	2,1	Regular (7.5)	1,58	Buena (10)	2,1	Regular (7.5)	1,58	Regular (7.5)	1,58	Regular (7.5)	1,58
4	Disponibilidad tecnológica	0,14	Buena (10)	1,4	Buena (10)	1,4	Mala (5)	0,7	Regular (7.5)	1,05	Buena (10)	1,4	Buena (10)	1,4	Regular (7.5)	1,05
5	Legionella	0,10	Alto(5)	0,5	Bajo (10)	1	Bajo (10)	1	Medio (7.5)	0,75	Bajo (10)	1	Medio (7.5)	0,75	Bajo (10)	1
6	Efecto Visual	0,05	Bajo (10)	0,5	Alto(5)	0,25	Bajo (10)	0,5	Alto(5)	0,25	Medio (7.5)	0,38	Alto(5)	0,25	Alto(5)	0,25
<b>Sumatoria:</b>		1,00		8,05		8,3		6,81		6,6		6,81		8,46		8,36
<b>Prelación:</b>			<b>4</b>		<b>3</b>		<b>5</b>		<b>7</b>		<b>6</b>		<b>1</b>		<b>2</b>	

RF : Rating factor o Factor de peso

P : Ponderación

CSA : Colectores solar circuito abierto

CSC : Colectores solar circuito cerrado

## CAPÍTULO 4

### CÁLCULO, DISEÑO, DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DEL SISTEMA

#### 4.1 DISEÑO DEL SISTEMA PRINCIPAL

##### 4.1.1 Designación del Consumo de la Residencia

La demanda de agua de servicio es muy variable de acuerdo a la ubicación geográfica, costumbres, aplicación y situación socio económica. Todos estos factores hacen que la determinación del consumo de agua de servicio esté condicionada a criterio del diseñador. Es por esta razón que varios autores varían mucho en la determinación de un valor exacto para el consumo de ACS por persona al día.

Es importante indicar que el agua que se consume finalmente va estar compuesta por una porción de agua fría, y otra de agua caliente que el sistema solar debe abastecer.

Para esta determinación se ha tomado como referencia bibliográfica a varios autores de obras de ingeniería sanitaria, más concretamente a P Lemvigh – Muller en su obra *Energía Solar Térmica Manual de Instalación*<sup>8</sup>, en la cual cita la cifra de 50 litros de agua caliente por persona al día utilizados para ducharse en aproximadamente 10 minutos y un consumo en lavamanos normal, la temperatura de 35°C para consumo es bastante exacto, adicionalmente se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Puntos de consumo: ducha y lavamanos
- Temperatura promedio de agua fría en la ESPE 12 °C.
- Mínima temperatura requerida de agua caliente en el consumo 35°C, sin embargo, la temperatura deseada en el tanque es de 60°C.
- El caudal promedio de salida del agua en las duchas es de 4.6 lt /min.

---

<sup>8</sup> Lemvigh y Muller, *Energía Solar Térmica: Manual de Instalación*, pág. 35

Por medio de las consideraciones anteriores se determina la demanda de ACS total de la siguiente manera:

- La estadía máxima de la residencia: 200 personas
- Frecuencia de estadía: 94 %
- Número personas que se podrían bañar en la residencia:  
 $200 \text{ personas} \times 94 \% = 188 \text{ personas}$
- Consumo diario por persona de agua caliente a 60°: 50 lt/día
- Consumo total de la Residencia de agua mezclada a 60°:  
 $50 \text{ lt/día} \times 188 \text{ personas} = 9400 \text{ lt/día}$
- Volumen de agua caliente a 60° ( $VAC_{60^\circ}$ ) = 9400 lt/día

La cantidad de agua que debe estar caliente es de 9.400 litros o 9,4 metros cúbicos de agua para que pueda abastecer a la residencia en la hora de mayor consumo; siendo el pico más alto en las horas comprendidas entre las 22:00 y las 8:00 horas las cuales son horas en las que la radiación solar es muy escasa entre las 6:00 y las 8:00 horas y nulas en las horas comprendidas entre las 22:00 y las 5:00 horas.

#### **4.1.2 Estudio de la Demanda Energética del Establecimiento**

La demanda energética de interés es aquella que se requiere únicamente para el calentamiento de agua del establecimiento y se determina de acuerdo a la cantidad de energía que se requiere para elevar la temperatura del volumen de agua que se consume.

Actualmente toda la demanda energética se encuentra abastecida en su totalidad por energía eléctrica; por medio de la utilización de energía solar se pretende reducir el consumo de electricidad a valores mínimos lo que se traduciría en disminución de gastos.

El cálculo de la demanda energética que se muestra, se encuentra realizado para el consumo de 9,4 metros cúbicos de agua lo cual es la cantidad de ACS

que necesita la residencia; por lo tanto la demanda energética actual se calcula a continuación:

$$VAC_{60^{\circ}} = 9,4 \text{ m}^3$$

$$T_{\text{ingreso}} = 12^{\circ}\text{C} = 285,15^{\circ}\text{K}$$

$$T_{\text{consumo}} = 60^{\circ}\text{C} = 333,15^{\circ}\text{K}$$

$$Cp_{\text{agua}} = 4,179 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{K}} \cdot 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,000277778 \frac{\text{KW} - h}{\text{KJ}}$$

$$Cp_{\text{agua}} = 1,16083 \frac{\text{KW} - h}{\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

$$Q = VAC_{60^{\circ}} \cdot Cp_{\text{agua}} \cdot \Delta t$$

$$Q = 9,4 \text{ m}^3 \cdot 1,16083 \frac{\text{KW} - h}{\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{K}} \cdot (333,15^{\circ}\text{K} - 285,15^{\circ}\text{K})$$

$$Q = 523,76 \frac{\text{KW} - h}{\text{dia}}$$

$$Qm = 523,76 \frac{\text{KW} - h}{\text{dia}} \cdot 30 \frac{\text{días}}{\text{mes}}$$

$$Qm = 15.713,05 \frac{\text{KW} - h}{\text{mes}}$$

Donde:

**VAC<sub>60°</sub>** = Volumen de agua caliente a 60°

**Cp<sub>agua</sub>** = Calor Específico del Agua

**Δt** = Diferencial de Temperatura

**Q** = Demanda de energía al día

**Qm** = Demanda de energía mensual

La demanda energética para calentar el agua es de 15.713,05 KW-h la cual debe ser disminuida puesto que es un consumo muy elevado y costoso para la residencia.

#### 4.1.3 Determinación de Factores Climáticos

Los factores climáticos son un parámetro a considerar puesto que para un sistema de ACS solar estos tienen una incidencia fundamental en el funcionamiento del sistema.

Los datos fueron recolectados del INAMHI<sup>9</sup> y de la estación climática ubicada en el IASA<sup>10</sup>, para el sector de Sangolquí, los factores principales se describen en la tabla 4.1:

**Tabla 4.1 Datos Climatológicos en el sector de Sangolquí**

<b>PARÁMETROS CLIMÁTICOS</b>	<b>VALORES</b>
Heliofanía	4,5 h/día
Temperatura Media	14°C
Velocidad del viento	3,2 m/seg
Precipitaciones	1.280 mm
Humedad Relativa	68%
Presión Atmosférica	548 mm Hg
FUENTE : Centro Meteorológico del IASA y INAMHI	

Para el análisis de los colectores solares planos, es indispensable la consideración de ciertos factores climáticos que permiten la cuantificación de pérdidas totales de calor en los mismos y adicionalmente permiten la determinación de su eficiencia.

Se ha considerado como factores climáticos importantes a la temperatura ambiente, velocidad del viento y la radiación promedio mensual en el sector de Sangolquí ya que esta depende de la nubosidad conjuntamente con otros factores climáticos que determinan su valor.

#### **A. Valores de radiación**

Para el análisis de la radiación en el proyecto se ha tomado la radiación real para la ciudad de Quito, con datos mensuales proporcionados por el INAMHI para los años 2002 hasta 2006, estos datos se muestran en la tabla 4.2.

<sup>9</sup> INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

<sup>10</sup> IASA: Instituto Agropecuario Superior Andino

**Tabla 4.2 Radiación real promedio desde 2002 hasta 2006.**

<b>MES \ AÑO</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>PROMEDIO MENSUAL</b>
<b>Enero</b>	4485,56	5022,62	5509,49	4579,42	3893,45	<b>4698,11</b>
<b>Febrero</b>	4009,92	4734,92	4295,96	4600,86	4107,80	<b>4349,89</b>
<b>Marzo</b>	3917,56	3955,04	4217,33	3785,49	3829,53	<b>3940,99</b>
<b>Abril</b>	3854,08	3912,56	3875,32	3993,16	4111,23	<b>3949,27</b>
<b>Mayo</b>	4328,91	4162,94	3865,65	4617,76	4587,67	<b>4312,59</b>
<b>Junio</b>	4883,96	3655,61	4521,47	4250,96	4261,30	<b>4314,66</b>
<b>Julio</b>	4938,83	4777,80	3822,19	5171,29	4701,45	<b>4682,31</b>
<b>Agosto</b>	5872,72	4685,37	4978,83	4881,70	4760,53	<b>5035,83</b>
<b>Septiembre</b>	5229,05	4399,45	4200,58	4245,57	4768,64	<b>4568,66</b>
<b>Octubre</b>	4470,32	4309,51	4593,09	4036,35	4743,03	<b>4430,46</b>
<b>Noviembre</b>	4186,86	4379,74	4306,14	4542,04	4042,84	<b>4291,52</b>
<b>Diciembre</b>	4129,90	4151,12	4521,92	3788,33	3867,08	<b>4091,67</b>
<b>Promedio Anual</b>	<b>4529,89</b>	<b>4345,56</b>	<b>4392,33</b>	<b>4374,41</b>	<b>4306,21</b>	<b>4360,56</b>

FUENTE : Instituto Nacional de Medio Ambiente e Hidrología

El valor de radiación con el cual se realizaran los cálculos es el promedio de los últimos cinco años con un valor de 4.360,56 W-h/m<sup>2</sup>.

### **B. Velocidad del viento y temperatura ambiente**

Por motivo de cálculos es necesario disponer de estos parámetros en especial para el cálculo de pérdidas de calor por convección con el ambiente. Los datos a continuación han sido proporcionados por el INAMHI de anuarios de cinco años consecutivos tanto para velocidad del viento como temperatura ambiente.

**Tabla 4.3 Velocidad del viento y temperatura ambiente.**

<b>AÑO</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Velocidad del viento (Km/h)</b>
1991	15	3.8
1992	15.2	3.8
1993	14.8	3.5
1994	14.9	3.5
1995	14.9	3.06
<b>Promedio:</b>	<b>14.9</b>	<b>3.5</b>

FUENTE : Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

Es importante indicar que existen publicaciones posteriores a 1995 de anuarios para la velocidad del viento pero estos tienen un valor comercial elevado y no se los pudo obtener. Al momento de consulta de estos parámetros se estaba analizando en el INAMHI la posibilidad de ofrecer gratuitamente estos datos.

En comparación con los datos proporcionados por el centro meteorológico del IASA se puede observar que no existe una variación mayor al 10 % por lo que se utilizara el valor proporcionado por el IASA por ser el dato más reciente.

La consideración acerca de la temperatura ambiente promedio se toma un valor de 14°C siendo este un dato más bajo que el promedio proporcionado por el INAMHI; el motivo de seleccionar este dato es por aproximación y se selecciona un valor menor para seguridad en los cálculos a realizarse.

En cuanto a la temperatura promedio del agua, la ESPE no posee información de este tipo; y el INAMHI únicamente tiene información de aguas subterráneas y de estaciones distantes a nuestra aplicación. Por esta razón se asume como valor promedio de 12°C como recomendación del EMAP-Q.

#### **4.1.4 Diseño de Sistema Principal**

El sistema principal es aquel que aporta con la energía solar para la producción del ACS. Este sistema consiste en un sistema de circuito abierto que esta compuesto de varias partes las cuales son el arreglo de colectores solares, un tanque acumulador primario y una bomba de recirculación y otros componentes adicionales que ayudaran al óptimo funcionamiento del sistema.

El sistema funciona cuando el agua es calentada en los colectores hasta llegar a un diferencial de temperatura positivo entre el tanque acumulador y el fluido existente en los colectores y una vez que alcanza esta temperatura, se activa una bomba de recirculación haciendo que el agua se caliente dentro de los colectores luego ingrese al tanque y se vaya acumulando para su posterior consumo en la residencia politécnica como se describe en la figura 4.1.

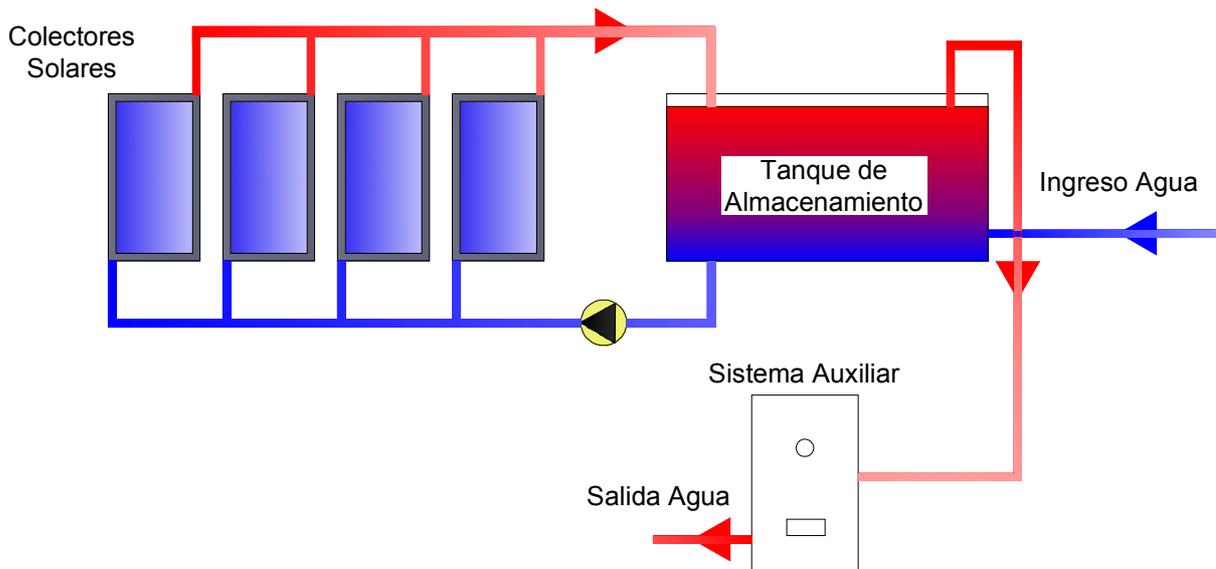


Figura 4.1 Esquema Sistema ACS.

### A. Diseño de Colectores Solares Planos

La residencia Politécnica se encuentra ubicada en Sangolquí en la avenida El Progreso. Su posición geográfica exacta es Sur  $00^{\circ}18'53,1''$ ; Oeste  $078^{\circ}26'41,7''$

Según la geometría del edificio vista desde la parte superior existen varias posibilidades de ubicación de los colectores sobre la cubierta de la residencia politécnica. Las consideraciones a ser tomadas para la ubicación del sistema, son el no tener objetos los cuales puedan producir sombras y esto entorpezca el desempeño del sistema solar; de igual forma otro factor importante es la estructura del edificio la cual debe tener la capacidad de soportar el peso de todo sistema solar de ACS.



**Fotografía 4.1 Techo ala derecha Residencia Politécnica**



**Fotografía 4.2 Techo ala izquierda Residencia Politécnica**

Luego de una simple inspección visual se observa que la estructura de la residencia tiene la suficiente rigidez para soportar la carga que produce el sistema puesto que es una losa de hormigón de aproximadamente 20 cm. de espesor; de igual forma las sombras producidas en el techo son muy pocas y muy fáciles de evitar puesto que estas son generadas por la vegetación circundante al edificio y no se encuentra ningún otro obstáculo cerca por ser el

único y más alto objeto en el sector del campus politécnico como se observa en las fotografías.



**Fotografía 4.3 Parte posterior de la Residencia Politécnica**



**Fotografía 4.4 Parte posterior de la Residencia Politécnica**

Para poder ubicar los colectores sobre el techo, se necesitaría distintas adecuaciones en la infraestructura de la residencia las cuales comprenderán obra civil con la que se debe fijar los soportes porta colectores y el tanque

acumulador a la losa, a más de esto se debe adecuar un sitio en el que va ubicada la bomba de recirculación del sistema, este sitio estará protegido de los factores medio ambientales que puedan afectar al óptimo funcionamiento de la bomba; a más de estos trabajos se debe realizar labores de fontanería para poder llevar el agua que abastecerá al tanque acumulador y al sistema en si y de igual forma el circuito que llevara el agua caliente hasta los puntos de consumo dentro de la residencia.

El gráfico 4.1 presenta una carta solar que nos permite determinar el ángulo de azimut más apropiado para la orientación de nuestros colectores en las instalaciones de la residencia.

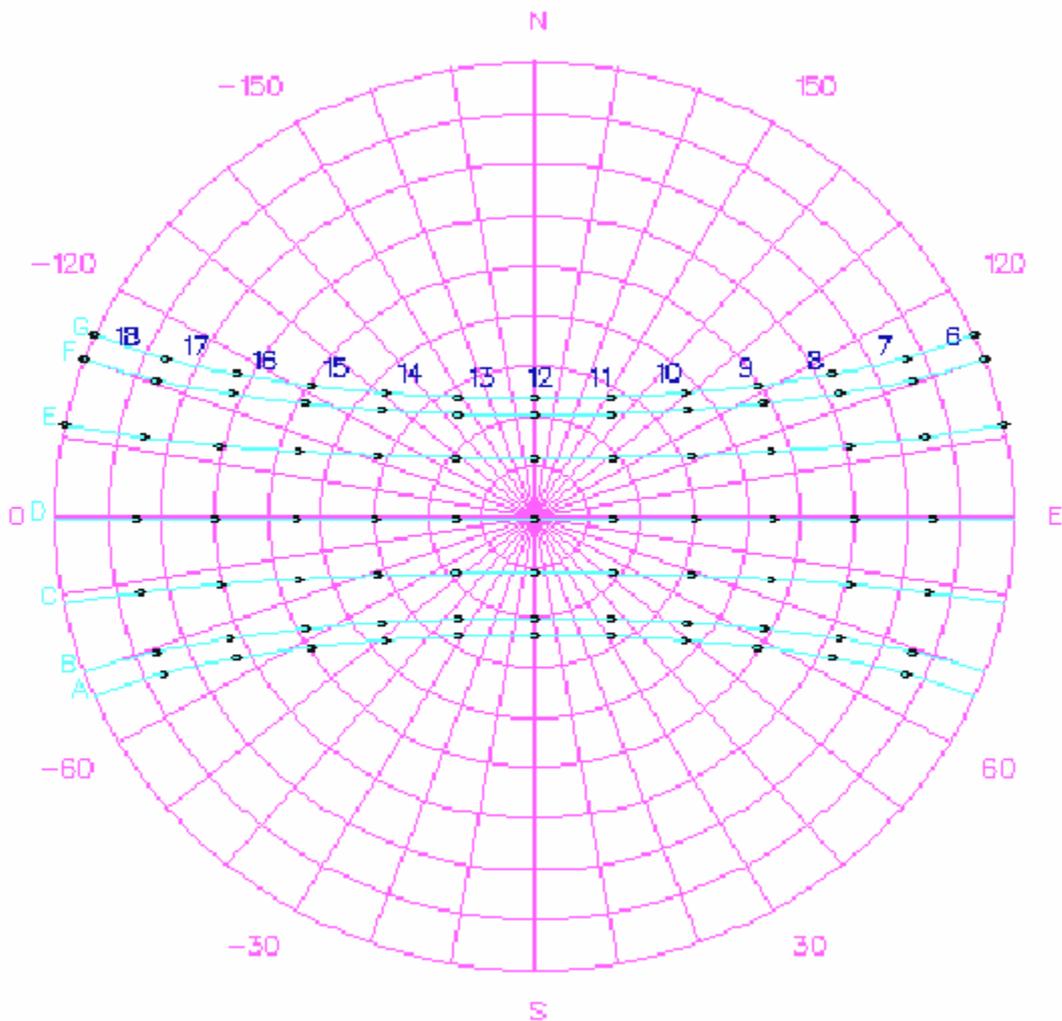


Gráfico 4.1 Carta solar (Programa sole.exe, <http://www.flasolar.com> )

Cómo se puede observar en la carta solar, es factible orientar los colectores tanto hacia el norte como hacia el sur por ubicación geográfica de la ciudad muy cercana a la latitud cero. La carta solar nos muestra la trayectoria del sol durante el día y para cada mes del año, en varios meses, ésta trayectoria se repite.

Para la selección de una trayectoria adecuada, es preciso ubicarse exactamente en el sitio donde se van a colocar los colectores y alinear el Norte geográfico con el Norte de la carta solar. Posteriormente se observa la curva más apropiada considerando las posibles zonas de sombra que afectan a la trayectoria solar.

Se selecciona la curva C de la carta solar debido a que favorece en trayectoria solar en dos meses y adicionalmente es una curva intermedia entre las demás trayectorias hacia el sur-este como recomienda la teoría.

La orientación de los colectores debe ser preferiblemente hacia el sur puesto que la ubicación de la ESPE es en el hemisferio sur aunque es muy pequeña la desviación dentro del hemisferio por la cercanía que se tiene a la línea equinoccial; de igual forma la trayectoria del sol se desempeña en este hemisferio para la ubicación de la residencia por lo tanto el campo solar estar ubicado hacia el sur.

Todos los colectores tendrán una inclinación ( $\beta$ ) de  $15^\circ$ . La inclinación se determina como  $15^\circ$  más la latitud del sitio y es necesaria para evitar la acumulación de polvo, agua y contaminación sobre la superficie del vidrio permitiendo que la lluvia mantenga la cubierta libre de estos factores los cuales podrían disminuir la eficiencia de los colectores solares.

## B. Cálculo y Dimensionamiento

### Determinación de Pérdidas Totales

Los colectores solares planos así como tienen la finalidad de captar la energía para calentar el agua utilizada en suministro de agua caliente, tienen la desventaja de no estar libres de pérdidas de calor hacia el ambiente. Estas pérdidas se clasifican en superiores, laterales e inferiores; siendo las primeras las de mayor importancia para el diseño de los colectores figura 4.2.

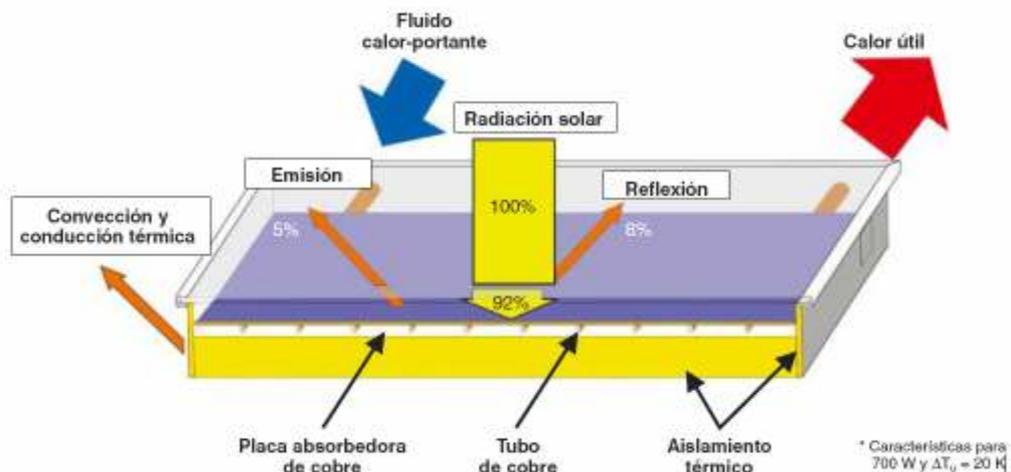


Figura 4.2 Pérdidas en Colectores Solares

Para la determinación de las pérdidas superiores existen dos métodos diferentes que se pueden seguir, el método de Holland y el de Klein.

El primer método permite obtener el valor de las pérdidas superiores involucrando la distancia entre la cubierta transparente y la placa absorbidora y el segundo es un método más sencillo para la determinación de las pérdidas.

A continuación se detalla cómo se realiza el análisis por medio del método de Holland, los términos de las ecuaciones se detallan posteriormente.

**Tabla 4.4 Datos para diseño de sistema principal**

<b>ORDEN</b>	<b>PARAMETRO</b>	<b>SIMBOLO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
<b>1</b>	Distancia entre Placa y Cubierta	L	m	0,05024
<b>2</b>	Velocidad del viento	Vv	m/s	3,2
<b>3</b>	Temperatura Ambiente	Ta	°C	20
<b>4</b>	Ángulo entre la superficie de análisis y la horizontal	$\beta$	-	15
<b>5</b>	Emitancia de la placa	$\varepsilon_p$	-	0,91
<b>6</b>	Emitancia de la cubierta	$\varepsilon_{c1}$	-	0,85
<b>7</b>	Gravedad	g	m/s <sup>2</sup>	9,8
<b>8</b>	Constante Steffan Boltzman	$\sigma$		5,67 x 10 <sup>-8</sup>
<b>9</b>	Temperatura en la placa	Tp	°K	420
<b>10</b>	Temperatura en la cubierta	Tc	°K	338,5
<b>11</b>	Coeficiente de expansión de los gases	$\beta'$	1/°K	2,637
<b>12</b>	Número de Prant	Pr		0,69228
<b>13</b>	Viscosidad cinemática del aire	$\nu$	m <sup>2</sup> /s	2,38064 x 10 <sup>-5</sup>
<b>14</b>	Conductividad del aire	k	W/m°K	0,032141

Como se puede apreciar, para realizar la determinación de las pérdidas superiores se hace a partir de tres tipos de datos. Los primeros que son parte del diseño con valores reales o establecidos, los otros que son asumidos y los últimos que son aquellos sacados de tablas.

Dentro de los valores asumidos están la temperatura de la cubierta transparente y la temperatura de la placa absorbadora. Estos valores no son

asumidos de una manera aleatoria sino siguiendo algunos criterios que se acercan a un valor real. En el caso de la temperatura de la cubierta transparente, se escoge un valor inicialmente de manera aleatoria y luego de encontrar el valor de las pérdidas superiores se realiza un proceso iterativo para la determinación de esta temperatura hasta que su valor no varíe sustancialmente.

En cuanto a la temperatura de la placa absorbadora, el texto de Duffie y Beckman proporciona gráficas que involucran el número de cubiertas transparentes, la temperatura ambiente, el coeficiente de pérdidas superiores, la emisividad de la placa y el coeficiente convectivo del viento. Conociendo estos valores es posible acercarse mucho al valor real de temperatura de la misma.

Para la distancia entre la cubierta transparente y la placa absorbadora, existen recomendaciones que indican un rango de 1,5 a 2 pulgadas (38,1 a 50,8 mm) para el valor de esta distancia. En este proyecto se ha seleccionado un valor de 50 milímetros como valor intermedio de lo recomendado.

Si se toma en cuenta que la mayor pérdida de calor en los colectores está en la parte superior, y que adicionalmente no es posible colocar un material aislante en el mismo a más del aire, entonces se pensaría que a mayor volumen de aire en el colector menores pérdidas. Esta aseveración no es del todo cierta debido a que si se permite la presencia de gran cantidad de aire que va a estar calentándose indiscutiblemente se va a producir una circulación del mismo en el interior de los colectores por diferencia de densidades. Como es de conocimiento el aire caliente tiende a subir y esta circulación provoca un aumento en el coeficiente convectivo interno.

Se realiza el cálculo del número de Raleigh para lo cual se utiliza los datos previos

Número de Raleigh

$$Ra = \frac{g \cdot \beta' \cdot (T_p - T_c) \cdot L^3}{\nu} \cdot Pr \quad 4.1$$

$$Ra = 3.262 \times 10^5$$

Lo siguiente paso obtener el número de Nusselt en este formula tan solo se toma en cuenta los valores que se generan con valores positivos y los negativos se desprecia.

Número de Nusselt

$$Nu = 1 + 1,44 \cdot \left(1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos \beta}\right) \cdot \dots \quad 4.2$$

$$\dots \left(1 - \frac{\sin(1,8 \cdot \beta)^{1,6} \cdot 1708}{Ra \cdot \cos \beta}\right) \cdot \left[\left(\frac{Ra \cdot \cos \beta}{5830}\right)^{\frac{1}{3}} - 1\right]$$

$$Nu = 5,211$$

Luego proseguimos con el cálculo de las pérdidas producidas entre la placa absorbadora y la cubierta transparente el cálculo se lo realiza con una similitud a una analogía eléctrica, primero se utilizan formulas con las cuales obtendremos los coeficientes de transferencia de calor por convección y luego las simulación de resistencias eléctricas.

Convección forzada flujo interno en cavidad rectangular inclinada

$$h_{pc} = \frac{Nu \cdot k}{L} \quad 4.3$$

$$h_{pc} = 3,334 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Coefficiente de transferencia radiante entre placa y cubierta

$$hr_{1pc} = \frac{\sigma \cdot (T_p - T_c) \cdot (T_p^2 + T_c^2)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} \quad 4.4$$

$$hr_{1pc} = 9,812 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Coefficiente total de transferencia entre placa y cubierta

$$R_2 = \frac{1}{h_{pc} + h_{r_1,pc}} \quad 4.5$$

$$R_2 = 0,076 \cdot \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W}$$

Coefficiente de transferencia radiante entre cubierta y ambiente

$$h_{r_1,ca} = \sigma(T_c + T_s) \cdot (T_c^2 + T_s^2) \cdot \varepsilon c_1 \quad 4.6$$

$$h_{r_1,ca} = 5,303 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Coefficiente total de transferencia entre cubierta y medio ambiente

$$R_1 = \frac{1}{h_w + h_{r_1,ca}} \quad 4.7$$

$$R_1 = 0.043 \cdot \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W}$$

Coefficiente de Pérdidas Totales método Holland

$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad 4.8$$

$$U_t = 8.386 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

El resultado de  $U_t$  son las pérdidas totales que se producirían en la parte superior de cada uno de los colectores solares, esto quiere decir, el sector comprendido entre el exterior del colector hasta la placa absorbadora, como se ve, lo primero fue la determinación de los coeficientes de pérdidas de calor en sus diferentes modos de transferencia de calor individualmente. En los colectores se producen pérdidas tanto internas como externas por convección y radiación y adicionalmente por convección del viento.

Luego se realiza la iteración que sirve para la determinación de la temperatura de la cubierta transparente:

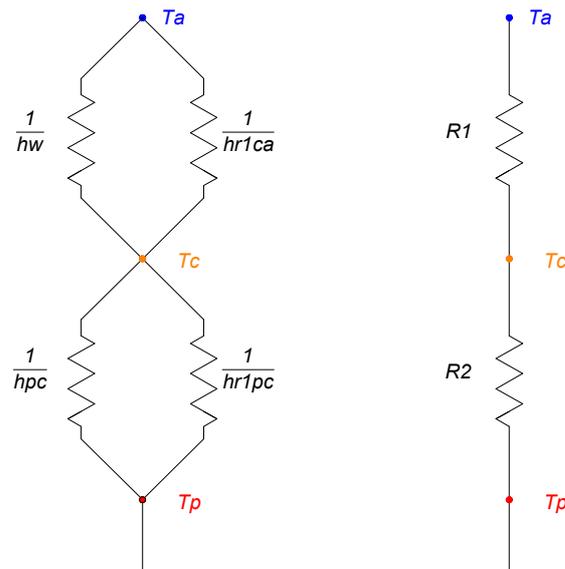
Temperatura en cubierta

$$T_{c_1} = T_p - \frac{U_t \cdot (T_p - T_a)}{hpc_1 + hr_1pc} \quad 4.9$$

$$T_{c_1} = 339,077^\circ\text{C}$$

El valor obtenido se reemplaza en el cálculo anterior en caso de querer aproximar el valor lo máximo posible, se observa que la variación de la temperatura es de aproximadamente medio grado kelvin lo que es menos del uno por ciento. Por lo que al realizar el primer cálculo no se está muy alejado de la realidad.

Se indica en la figura 4.3 la manera como esta realiza la analogía eléctrica para una mejor comprensión de los cálculos realizados con anterioridad.



**Figura 4.3 Analogía Eléctrica de parte superior de colectores**

El otro método para realizar es el de Klein el cual es más sencillo que el mencionado anteriormente; este método involucra casi todas las variables que el método anterior a excepción de que éste no toma en cuenta la temperatura de la cubierta transparente ni la distancia entre placa absorbadora y cubierta transparente. Lo que aumenta su confiabilidad por no tener muchos valores asumidos.

Otra ventaja que se destaca es la facilidad de que utilizando simplemente una expresión matemática podamos encontrar el coeficiente de pérdidas superiores

$$f = (1 + 0,089 \cdot hw - 0,1166 \cdot hw \cdot \varepsilon p) \cdot (1 + 0,07866 \cdot N) \quad 4.10$$

$$f = 0,749$$

$$c = 520 \cdot [1 - (0,000051 \cdot \beta)^2] \quad 4.11$$

$$c = 520$$

$$es = 0,43 \left( 1 - \frac{100}{T_p} \right) \quad 4.12$$

$$es = 0,328$$

Coefficiente de Pérdidas Totales método Klein

$$Ut_2 = \left[ \frac{N}{\frac{c}{T_p} \cdot \left( \frac{T_p - T_a}{N + f} \right)^{es} + \frac{1}{hw}} \right]^{-1} + \dots \quad 4.13$$

$$\dots \frac{\sigma \cdot (T_p^2 + T_a^2) \cdot (T_p + T_a)}{(\varepsilon p + 0,00591 \cdot N \cdot hw)^{-1} + (2 \cdot N + f - 1 + 0,133 \cdot \varepsilon p) \cdot \frac{1}{\varepsilon c_1} - N}$$

$$Ut_2 = 7,221 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

El valor de pérdidas superiores obtenido a través de el método de Klein da como resultado un valor menor que el obtenido por el método Holland para tener una mayor eficiencia utilizamos el valor más crítico que en este caso sería el primero puesto que supone un mayor número de pérdidas por área de colector.

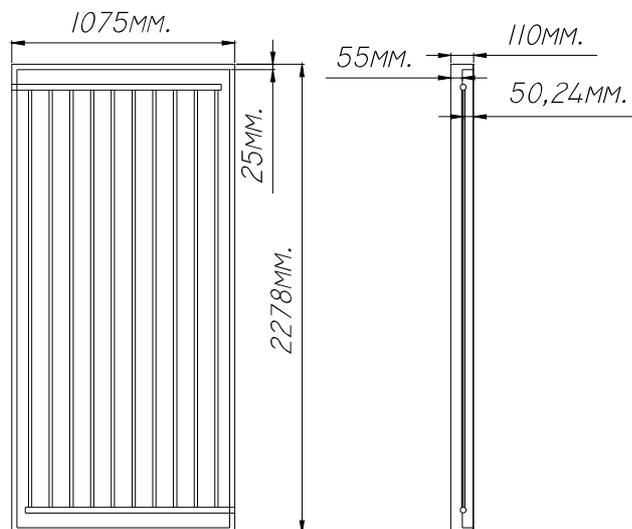
El siguiente paso es la determinación de las pérdidas producidas en la parte posterior del colector así como en los laterales, estas pérdidas también son representadas dentro de la analogía eléctrica de la figura 4.7 complementándola.

Se utilizan algunos datos de la tabla 4.5 y se los complementa con datos adicionales acerca del aislante, las dimensiones de los colectores a continuación descritos:

**Tabla 4.5 Datos de pérdida posteriores**

ORDEN	PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	CANTIDAD
1	Coefficiente de aislante Lana AW La Llave	$K_{\text{ais}}$	W/m °K	0,038
2	Espesor del aislante lateral	$L_{\text{ais-lat}}$	m	0,025
3	Espesor del aislante lateral	$L_{\text{ais-post}}$	m	0,025
4	Largo del colector solar	Largo	m	2,278
5	Ancho del colector solar	Ancho	m	1,075
6	Alto del colector solar	Alto	m	0,11

Para una mejor comprensión de las medidas especificada en la tabla de datos, nos guiaremos en la figura 4.4.



**Figura 4.4 Medidas de Aislantes y Diseño Colector Solar**

Luego se procede a la determinación de los coeficientes de pérdidas laterales y posteriores que se van a presentar, estos existen aún considerando que posee las partes laterales y la cara posterior se encuentra aislada con lana de vidrio, se utilizan distintas formulas expresadas a continuación.

Coeficiente de Pérdidas Posteriores

$$U_b = \frac{K_{ais-post}}{L_{ais-post}} \quad 4.14$$

$$U_b = 0,691 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Coeficientes de Pérdidas Laterales

$$U_e = \frac{\left( \frac{K_{ais-post}}{L_{ais-post}} \right) \cdot Alto \cdot 2 \cdot (Largo + Ancho)}{Largo \cdot Ancho} \quad 4.15$$

$$U_e = 0,458 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Coeficientes de Pérdidas Totales en el Colector

$$U_I = U_t + U_b + U_e \quad 4.16$$

$$U_I = 9,535 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

De esta manera se llego a encontrar un valor de pérdidas totales en el colector, y a completar la figura 4.3 de la analogía eléctrica del colector en la figura 4.5.

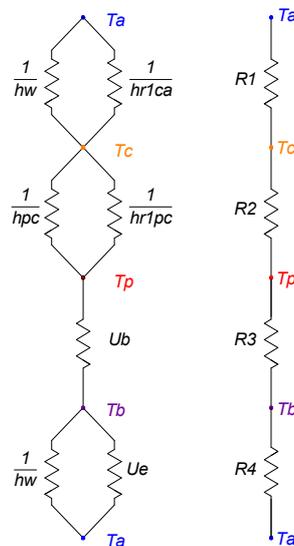


Figura 4.5 Analogía Eléctrica completa

El valor de las pérdidas totales en el colector va a permitir encontrar un factor de remoción de calor que no es más que una constante que se multiplica al valor teórico de calor que el colector estaría en la capacidad de captar.

Para la obtención de este valor se utiliza ciertos datos los cuales se explican y exponen a continuación

**Tabla 4.6 Datos para pérdidas totales**

<b>ORDEN</b>	<b>PARAMETRO</b>	<b>SIMBOLO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
<b>1</b>	Área de Colector	Ac	m <sup>2</sup>	2,449
<b>2</b>	Coeficiente Conducción de la Placa Absorbadora	Kp	W/m °K	43
<b>3</b>	Flujo másico	Mp	Lt/ s	0,612
<b>4</b>	Coeficiente conducción material unión placa-tubo	Kb	W/m °K	38
<b>5</b>	Capacidad calorífica del agua	Cp	J/kg °K	4,190

El coeficiente de conducción de la placa absorbadora pertenece al tol negro este dato se obtuvo de tablas<sup>11</sup>, el flujo másico es tomado de la recomendaciones teóricas<sup>12</sup>, el coeficiente de convección entre tubería y fluido (agua) de igual forma se lo obtuvo siguiendo recomendaciones teóricas de algunos libros donde se menciona valores de 300 W/m<sup>2</sup>°K para flujo Laminar y Circulación Forzada, 1500 W/ m<sup>2</sup>°K para flujo turbulento y Circulación Forzada, para el valor del coeficiente de conducción del material de unión se asume que es una unión simple esto quiere decir la placa junto al tubo.

Otros datos necesarios son aquellos datos constructivos los cuales están especificados en la tabla 4.6.

<sup>11</sup> Holman, Transferencia de Calor, Pág. 438

<sup>12</sup> Duffie y Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes.

Tabla 4.7 Datos de diseño de placa y tubos de colector

ORDEN	PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	CANTIDAD
1	Separación de tubería	W	m	0,10
2	Diámetro externo de la tubería	D	m	0,015875
3	Diámetro interno de la tubería	Di	m	0,013843
4	Ancho de la soldadura	b	M	0,007
5	Espesor de la soldadura	$\gamma$	-	0,0015
6	Espesor de la Plancha	$\delta$	-	0,0005

La distancia entre los tubos se a tomado como referencia bibliográfica de información práctica, los valores recomendables están entre 4 a 6 in esto quiere decir de 100 a 150 mm el valor que se a escogido es de 100 mm.

Los diámetros de la tubería son los especificados para la tubería de cobre tipo L, estos valor son los especificados en el manual del ingeniero químico.

Las cantidades referentes a la soldadura son valores representativos para la realización de los cálculos matemáticos, ya que en la realidad, constructivamente estos datos son variables, finalmente el dato referente al espesor de la placa absorbadora es el que se encuentra en el mercado.

Lo primero que realizaremos será la comprobación de la existencia de flujo turbulento en el circuito interno del colector.

Área interna del tubo

$$A_{int} = \pi \cdot \left( \frac{Di}{2} \right)^2 \quad 4.17$$

$$A_{int} = 1,505 \times 10^{-4} \cdot m^2$$

Velocidad del agua dentro del tubo

$$V = \frac{mp}{A_{int} \cdot densidad} \quad 4.18$$

$$V = 3,322 \cdot \frac{m}{s}$$

Número de Reynolds

$$Re = \frac{V \cdot D}{densidad} \quad 4.19$$

$$Re = 5,274 \times 10^{-5}$$

Luego de establecer que el fluido se encuentra en flujo turbulento proseguimos a la determinación de las variables numéricas de cálculo que nos permitirá encontrar el factor de remoción de calor del Colector

Variables de Cálculo

$$m = \sqrt{\frac{UI}{Kp \cdot \delta}} \quad 4.20$$

$$m = 21,059$$

$$F = \frac{\tanh\left[m \cdot \left(\frac{w-D}{2}\right)\right]}{m \cdot \left(\frac{w-D}{2}\right)} \quad 4.21$$

$$F = 0,801$$

$$Cb = \frac{Kb \cdot b}{\gamma} \quad 4.22$$

$$Cb = 177,333$$

Factor de Eficiencia del Colector

$$F' = \frac{\frac{1}{UI}}{w \cdot \left[ \frac{1}{UI \cdot [D + (w - D) \cdot F]} + \frac{1}{Cb} + \frac{1}{\pi \cdot Di \cdot hf} \right]} \quad 4.23$$

$$F' = 0,801$$

Factor de Remoción de Calor del Colector

$$Fr = \frac{mp \cdot Cp}{Ac \cdot UI} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{Ac \cdot UI \cdot F'}{mp \cdot Cp}} \right) \quad 4.24$$

$$Fr = 0,807$$

Con el valor obtenido del factor de remoción de calor tendremos que la disminución en la cantidad de calor que se puede captar no es muy significativa y al aplicar este factor se aproxima mucho más a la cantidad de calor real que generan los colectores.

Este factor de remoción de calor es aquel que se utiliza para la determinación del calor útil que nos proporcionan los colectores, su eficiencia y determinar el área de colectores que sería necesaria

El siguiente paso es la obtención de valores de calor útil que se presentaría en un día promedio en los colectores, como se mencionó anteriormente para la realización de este cálculo se utilizara los valores medios de los últimos cinco años y se ha seleccionado el día 30 de mayo del 2006 el cual tiene una radiación de 4.358,37 W-h/m<sup>2</sup> que esta muy próximo al promedio de los últimos años que es de 4.360,56 W-h/m<sup>2</sup>.

El cálculo del calor útil se realiza para cada hora de radiación para lo que se realizara un ejemplo de cálculo y se elaborara una tabla con los valores para cada hora de radiación y con los respectivos incrementos de temperatura.

### C. Determinación Del Número De Colectores

Para la determinación de ciertas variables necesarias para el cálculo del calor útil es primordial decidir con anterioridad el área de colectores y la capacidad del tanque, se realiza varias iteraciones con distintas capacidades y áreas para determinar guiándose con el área obtenida a través de la fórmula de calor útil, la eficiencia que se tendrá en los distintos campos solares y la temperatura a la cual llegaríamos con esta combinación; en las tablas posteriormente presentadas se observa la variación que existirá según áreas, capacidades y eficiencia.

Las tablas presentadas están elaboradas para distintas áreas las que variaremos desde los 900 litros hasta los 1.500 litros y en donde se encontraran dos tipos de áreas Ac1 la cual es el área sacada del número de colectores por el área de cada colector, el área Ac2 la cual es la obtenida de la fórmula de calor útil; el motivo por el que se obtiene estas áreas es para compararlas entre sí y seleccionar las que sean más parecidas, la otra variable es la temperatura máxima a la cual llegaría el agua y la eficiencia del sistema, todas estas variables son variables con las cuales se tomará la decisión de seleccionar un sistema para continuar con los cálculos necesarios del sistema.

**Tabla 4.8 Datos con volúmenes y número de colectores**

Para 900 lt					
Ac1	Ac2	N	Ac1-Ac2	T	Eficiencia
19,67	21,67	9	2,00	55,23	55,45
21,85	22,46	10	0,61	58,48	53,49
24,04	23,28	11	-0,76	61,45	51,61
26,23	24,13	12	-2,10	64,14	49,8
28,41	24,87	13	-3,54	66,91	48,32
30,60	25,5	14	-5,10	69,76	47,12
32,78	26,16	15	-6,62	72,42	45,94

Continuación Tabla 4.8

Para 1000 litros					
Ac1	Ac2	N	Ac1-Ac2	T	Eficiencia
19,67	23,31	9	3,64	52,05	57,27
21,85	24,08	10	2,23	55,23	55,45
24,04	24,87	11	0,83	58,17	53,69
26,23	25,69	12	-0,54	60,87	51,98
28,41	26,53	13	-1,88	63,36	50,33
30,60	27,35	14	-3,25	65,73	48,82
32,78	27,98	15	-4,80	68,36	47,72

Para 1100 litros					
Ac1	Ac2	N	Ac1-Ac2	T	Eficiencia
19,67	24,97	9	5,30	49,26	58,81
21,85	25,72	10	3,87	52,35	57,1
24,04	26,49	11	2,45	55,23	55,45
26,23	27,28	12	1,05	57,91	53,84
28,41	28,09	13	-0,32	60,4	52,29
30,60	28,92	14	-1,68	62,7	50,78
32,78	29,78	15	-3,00	64,84	49,31

Para 1200 litros					
Ac1	Ac2	N	Ac1-Ac2	T	Eficiencia
19,67	26,56	9	6,89	46,79	60,12
21,85	27,38	10	5,53	49,79	58,52
24,04	28,13	11	4,09	52,6	56,96
26,23	28,89	12	2,66	55,23	55,45
28,41	29,68	13	1,27	57,7	53,98
30,60	30,49	14	-0,11	60	52,54
32,78	31,32	15	-1,46	62,14	51,15

**Continuación Tabla 4.8**

Para 1300 litros					
Ac1	Ac2	N	Ac1-Ac2	T	Eficiencia
19,67	26,95	9	7,28	44,84	61,67
21,85	27,71	10	5,86	47,5	59,75
24,04	28,45	11	4,41	50,23	58,28
26,23	29,28	12	3,05	52,81	56,85
28,41	30	13	1,59	55,23	55,45
30,60	30,81	14	0,21	57,51	54,09
32,78	31,63	15	-1,15	59,65	52,76

Para 1400 litros					
Ac1	Ac2	N	Ac1-Ac2	T	Eficiencia
19,67	29,54	9	9,87	43,2	63,28
21,85	30,63	10	8,78	45,57	61,03
24,04	31,45	11	7,41	48,1	50,43
26,23	32,19	12	5,96	50,61	58,07
28,41	32,94	13	4,53	52,99	56,74
30,60	33,71	14	3,11	55,23	55,45
32,78	34,5	15	1,72	57,35	54,18

Para 1500 litros					
Ac1	Ac2	N	Ac1-Ac2	T	Eficiencia
19,67	30,85	9	11,18	41,79	64,93
21,85	32,05	10	10,20	44	62,5
24,04	33,08	11	9,04	46,23	60,54
26,23	33,85	12	7,62	48,61	59,16
28,41	34,59	13	6,18	50,94	57,89
30,60	35,35	14	4,75	53,14	56,66
32,78	36,12	15	3,34	55,23	55,45

Como se observa en las tablas los valores que más se acercan entre las áreas son lo de 1.200 litros, 14 colectores y 1.300 litros, 14 colectores la cual tiene una variación muy pequeña en lo que es el área con lo que el siguiente criterio de decisión ahora se basara en lo que es la eficiencia de cada uno de los sistemas con lo que se decide por el conjunto de 1.200 litros de capacidad y

con 14 colectores ya que tiene una eficiencia de 52,54% y se logra calentar agua a una temperatura mayor que la del sistema de 1.300 litros con la misma cantidad de colectores.

El cálculo del calor útil se lo realiza para la radiación que existe en las distintas horas del día que va desde las 6:00 horas hasta las 18:00 horas, tiempo en el que existe presencia del sol y por ende radiación; por lo prolongado de los cálculos se realiza un ejemplo de cálculo para las hora de 7:00 a 8:00 con una temperatura inicial del agua de 10°C y una temperatura ambiental a esta hora de 8°C la cual a sido obtenida de datos anteriormente mencionados y asumidos según promedios.

Calor Útil de 7:00 a 8:00

$$Qu = Ac \cdot Fr \cdot [S - U_l \cdot (T_i - T_a)] \quad 4.25$$

$$Qu = 1875,04 \text{ W}$$

Temperatura del Agua (Ti)

$$T = \frac{Q}{mp \cdot Cp} + T_{i_{anterior}} \quad 4.26$$

$$T_i = 11,24^\circ\text{C}$$

**Tabla 4.9 Radiación Solar, Calor Útil y Temperatura**

Hora			Rad(W/m <sup>2</sup> )	Ta(°C)	Qu(W)	Ti(°C)
6	a	7	29,50	8	257,5479	10,00
7	a	8	86,17	8,9	1875,036	11,24
8	a	9	346,33	11,3	8597,665	16,92
9	a	10	651,50	14,9	15667,65	27,28
10	a	11	783,83	19	17466,25	38,82
11	a	12	866,67	22,9	17709,26	50,52
12	a	13	716,17	26	11942,06	58,42
13	a	14	358,00	27,8	1622,889	59,49
14	a	15	178,67	28	-3028,19	59,49
15	a	16	145,00	27,6	-3957,27	59,49
16	a	17	174,33	26,9	-3396,04	59,49
17	a	18	21,50	25,9	-7420,54	59,49
18	a	19	1,00	25,9	-7928,59	59,49

En la tabla anterior están especificados los valores de calor útil y la temperatura máxima que llegaría el agua en el tanque con estos datos podremos obtener el valor de la eficiencia que tendría el sistema de 14 colectores para calentar 1.200 litros de agua; para el cálculo de la eficiencia se debe tan solo tomar los valores positivos de calor útil.

Eficiencia

$$\eta = \frac{Qu}{Radiación \cdot Ac} \quad 4.27$$

$$\eta = 56,34$$

## **4.2 DISEÑO MECÁNICO DEL RECIPIENTE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA CALIENTE**

Una vez determinado según el número de personas en la residencia y el consumo promedio de agua caliente por persona al día, el volumen de tanque de almacenamiento total necesario por día, se procede al dimensionamiento del mismo.

Como primer paso para el diseño del recipiente de almacenamiento se tomaron las consideraciones de las normas ASHRAE<sup>13</sup>, en las cuales recomienda:

- Colocar el recipiente de manera horizontal.
- Usar acero para la construcción del recipiente.
- Mantener una relación en donde el largo sea de 1,5 a 2 veces el diámetro del recipiente.

Para una distribución uniforme, como se vio anteriormente en el diseño de los paneles, se ha seleccionado recipientes de 1.200 litros de capacidad, para el diseño de los mismos consideraremos un aumento del volumen del 10%, para efectos que el recipiente no trabaje a su máxima capacidad.

---

<sup>13</sup> ASHRAE: The American Society of Heating, Refrigeratig and Air-Conditioning and Engineers.

Tabla 4.10 Datos de Volumen del Tanque

ORDEN	PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	CANTIDAD
1	Volumen de agua necesario	Vn	lt	1200
2	Volumen de trabajo	Vt	lt	1320
3	Longitud del tanque	Long	m	1.62
4	Radio interno del tanque	ri	m	0.51

Comprobación de Relación entre largo y ancho

$$relación = \frac{l}{2 \cdot ri} \quad 4.28$$

$$relación = 1,588$$

Determinado el largo y el ancho del recipiente es necesario determinar el espesor, para lo cual se hizo referencia al libro: “Manual de Recipientes a Presión: Diseño y Cálculo”, de Eugene F. Megyesy.

Entre los datos iniciales para el cálculo del espesor del recipiente hay que definir la presión de operación del recipiente, la cual será la presión de la red de agua potable que fluctúa entre 60 y 70 psi, a esto se recomienda diseñar el recipiente y sus componentes para una presión mayor. Este requisito se satisface utilizando una presión de diseño de 30 psi o 10% más que la presión de trabajo, la que sea mayor; para nuestro caso en particular es 30 psi. También debe tomarse en consideración la presión del fluido contenido en el recipiente, para nuestro caso la presión que ejerce el fluido es de 1,3 psi<sup>14</sup>

Presión de Diseño

$$Pd = 70psi + 30psi + 1,3psi \quad 4.29$$

$$Pd = 101,3 \cdot psi$$

<sup>14</sup> Eugene F. Megyesy, Manual de Recipientes a Presión: Diseño y Cálculo, pág. 29

El material a ser usado para la construcción del tanque es acero inoxidable, con un valor de esfuerzo de tensión máximo permitido de 18.8000 psi<sup>15</sup>, a 60°C.

Otro dato necesario es el valor de eficiencia de la junta que para nuestro caso es de 0,70%<sup>16</sup>, ya que nuestra junta a tope hecha por doble cordón de soldadura no será inspeccionada por radiografía.

Con los datos anteriores es posible obtener el espesor de pared requerido para el cuerpo del recipiente:

**Tabla 4.11 Datos de diseño de tanque**

<b>ORDEN</b>	<b>PARAMETRO</b>	<b>SIMBOLO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
<b>1</b>	Presión de Diseño	Pd	psi	101,3
<b>2</b>	Esfuerzo de tensión máximo para el acero inoxidable	S	psi	18800
<b>3</b>	Eficiencia de la junta	E	-	0,7
<b>4</b>	Radio interno del tanque en pulgadas	ri	in	20,07868

Espesor de pared requerido

$$t = \frac{Pd \cdot ri}{S \cdot E - 0,6 \cdot Pd} \quad 4.30$$

$$Pd = 0,155 \cdot in$$

Las normas ASME<sup>17</sup> (UCS-25)<sup>18</sup> no prescriben la magnitud del margen por corrosión excepto para recipientes con espesores mínimos requeridos de 0,25 pulgadas para servicio de vapor, agua o aire comprimido, lo cual se encuentra dentro de nuestro caso, para los cuales indica un margen por corrosión no menor a la sexta parte del espesor de la placa calculado. Sin ser necesario que

<sup>15</sup> Eugene F. Megyesy, Manual de Recipientes a Presión: Diseño y Cálculo, pág. 160

<sup>16</sup> Eugene F. Megyesy, Manual de Recipientes a Presión: Diseño y Cálculo, pág. 142

<sup>17</sup> ASME: American Society of Mechanical Engineers

<sup>18</sup> Código UCS-25 Para recipientes construidos con acero al carbón y de baja aleación

la suma del espesor calculado más el margen de corrosión exceda de 0,25 pulgadas.

Corrosión Admisible

$$CA = \frac{1}{6} \cdot t \quad 4.31$$

$$CA = 0,026 \cdot in$$

Espesor de Pared Diseñado

$$td = t + CA \quad 4.32$$

$$td = 0,181 \cdot in$$

$$td = 4,59 \cdot mm$$

Para el espesor de las cabezas hemisféricas del tanque, se utilizan los mismos valores de corrosión admisible y eficiencia de la junta que los utilizados para calcular el espesor del cuerpo. El cálculo para determinar el espesor de la pared de la cabeza hemisférica del recipiente es el siguiente:

Espesor de pared requerido para cabeza

$$tc = \frac{Pd \cdot ri}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot Pd} \quad 4.33$$

$$Pd = 0,077 \cdot in$$

Espesor de Pared Diseñado para cabeza

$$tcd = tc + CA \quad 4.34$$

$$tcd = 0,103 \cdot in$$

$$tcd = 2,61 \cdot mm$$

En lo cálculos anteriores se a obtenido los espesores de pared de diseño, tanto para el cuerpo como para la cabeza del recipiente, estos espesores son los mínimos con los cuales se garantizara la expectativa de 20 años de vida para el recipiente.

### **4.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE CIRCULACIÓN HIDRÁULICO**

Es necesario realizar una descripción de como es la circulación del fluido dentro del sistema solar de generación de ACS, para que se pueda entender el motivo de las decisiones tomadas antes de los cálculos pertinentes.

Inicialmente el agua ingresara al sistema a través de una tubería externa que llegara hasta la terraza del edificio para abastecer a los cuatro sistemas de catorce colectores de cada una de las alas de la residencia, siendo innecesario el saber con el caudal con el que llegara el agua al sistema.

Luego de que el fluido llega al tanque comienza a circular a través de una tubería madre con un flujo determinado por una bomba que lograra que el agua se encuentre circulando con un flujo turbulento dentro del sistema, esta tubería madre se encuentra ramificada en catorce partes siendo una toma para cada colector.

En el momento que ingresa a los colectores el agua pasa por los diez tubos de bajo diámetro que se encuentran dentro del colector, en donde se produce la transferencia de calor hacia el líquido y sale a la tubería que lo llevara nuevamente al tanque de almacenamiento y volviendo a repetirse el circuito nuevamente.

Se a descrito la manera como circula el fluido dentro del sistema pero para que exista un mayor comprensión se a esquematizado el circuito de funcionamiento como se lo observa en la figura 4.7.

#### **4.3.1 Selección de Diámetro de Tuberías**

Para la selección de la tubería se realiza un cálculo en el que se toma en cuenta criterios bibliográficos y profesionales con personas con experiencia en el área de mecánica de fluidos.

La elaboración de los cálculos para el diámetro de la tubería de ingreso y salida se utiliza el caudal con el que el líquido se encontrara dentro de los colectores en los tubos de ½ pulgadas, según libros<sup>19</sup> de energía solar donde:

Recomienda utilizar entre 0,2 lt/s m<sup>2</sup> a 0,5 lt/s m<sup>2</sup>, se selecciona 0,25 lt/s m<sup>2</sup> para la selección de la tubería del sistema; el criterio para la selección se basa en la velocidad que tendrá el fluido en la tubería que debe ser entre 2,4 m/s a 7,5 m/s este criterio es una recomendación de Robert L. Mott en su libro Mecánica de Fluidos Aplicada.

Se compara la velocidad real que se presenta en la tubería y este dentro de los rangos que hemos seleccionado para comparar, es necesario realizar varios cálculos para encontrar estos valores por tanto se realiza una tabla donde se encuentran los valores para distintos diámetros, se realiza un ejemplo del cálculo para el diámetro de 2 ½ pulgadas.

**Tabla 4.12 Datos de diseño para selección de tubería**

<b>ORDEN</b>	<b>PARAMETRO</b>	<b>SIMBOLO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
<b>1</b>	Flujo másico	mp	lt/s m <sup>2</sup>	0,25
<b>2</b>	Flujo másico en m <sup>3</sup>	mp	m <sup>3</sup> /s m <sup>2</sup>	0,00025
<b>3</b>	Área del colector	Ac	m <sup>2</sup>	2,4
<b>4</b>	Número de Colectores para tubería salida de la bomba	Nc	-	14
<b>5</b>	Número de Colectores para tubería al ingreso del tanque	Ncs	-	7
<b>6</b>	Diámetro nominal	Dn	in	2 ½
<b>7</b>	Diámetro interno en metros	Di	m	0,062611

<sup>19</sup> Duffie y Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes.  
Kreider y Kreith, Solar Energy Handbook.

Caudal en la Salida de la bomba

$$Q_s = N_c \cdot m_p \cdot A_c \quad 4.35$$

$$Q_s = 0,008568 \text{ m}^3/\text{s}$$

Área interna del tubo

$$A = \pi \cdot \left(\frac{D_i}{2}\right)^2 \quad 4.36$$

$$A = 0,003079 \cdot \text{m}^2$$

Velocidad real

$$V_{real} = \frac{Q_s}{A} \quad 4.37$$

$$V_{real} = 2,7828 \cdot \text{m} / \text{s}$$

**Tabla 4.13 Probables diámetros de tuberías para salida de la bomba.**

<b>Tubería de Salida de la Bomba</b>			
<b>Dn (in)</b>	<b>Di(m)</b>	<b>A(m<sup>2</sup>)</b>	<b>V<sub>real</sub>(m/s)</b>
1	0,026035	0,000532	16,094386
1 1/4	0,032130	0,000811	10,567399
1 1/2	0,038227	0,001148	7,465332
2	0,050419	0,001997	4,291421
2 1/2	0,062611	0,003079	2,782840
3	0,074803	0,004395	1,949627
3 1/2	0,086995	0,005944	1,441455

En la tubería de salida de la bomba se puede observar que los diámetros de 2 ½, 2 y 1 ½ pulgadas se encuentran dentro del rango de selección, se toma la decisión de seleccionar la tubería de 2 pulgadas por tener un valor intermedio lo que nos aseguraría que siempre va a trabajar dentro de este rango.

Los cálculos para la tubería de ingreso al tanque de almacenamiento son muy similares a los realizados con anterioridad para la tubería de salida de la bomba con la diferencia que utilizan el número de colectores antes del tanque de igual manera se realizara un ejemplo de cálculo para el tubo de 2 pulgadas.

Caudal en el Ingreso del Tanque

$$Q_s = N_c \cdot m_p \cdot A_c \quad 4.38$$

$$Q_s = 0,004284 \text{ m}^3/\text{s}$$

Área interna del tubo

$$A = \pi \cdot \left(\frac{D_i}{2}\right)^2 \quad 4.39$$

$$A = 0,001997 \cdot \text{m}^2$$

Velocidad real

$$V_{real} = \frac{Q_s}{A} \quad 4.40$$

$$V_{real} = 2,1457 \cdot \text{m} / \text{s}$$

**Tabla 4.14 Probables diámetros de tuberías para ingreso al tanque**

<b>Tubería de Ingreso al Tanque</b>			
<b>Dn (in)</b>	<b>Di(m)</b>	<b>A(m<sup>2</sup>)</b>	<b>V<sub>real</sub>(m/s)</b>
1	0,026035	0,000532	8,047193
1 1/4	0,032130	0,000811	5,283700
1 1/2	0,038227	0,001148	3,732666
2	0,050419	0,001997	2,145710
2 1/2	0,062611	0,003079	1,391420
3	0,074803	0,004395	0,974814
3 1/2	0,086995	0,005944	0,720727

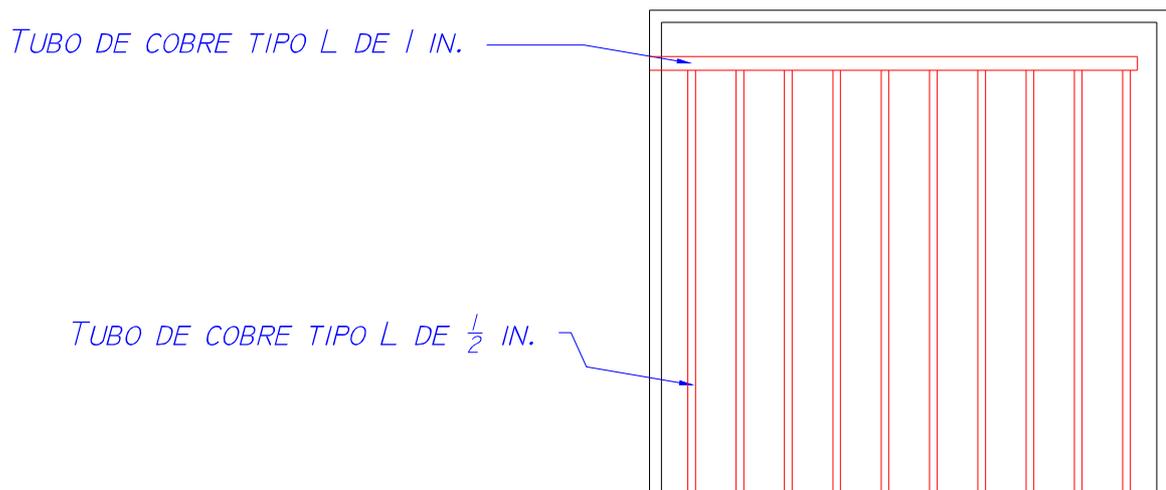
En el cuadro se encuentra que los diámetros con los que se pueden trabajar son de 1 ¼, 1 ½ y 2 pulgadas siendo estos los que están dentro del rango de

selección; el diámetro seleccionado es el de 2 pulgadas para que así se utilice el mismo que esta designado para la tubería a la salida de la bomba.

Con respecto a los diámetros seleccionados para la tubería que se encuentra dentro del colector se utiliza tubos de 1 pulgada para el ingreso y salida del líquido a la parrilla donde se eleva la temperatura del agua, siendo los tubos de la parrilla de  $\frac{1}{2}$  pulgada, estos diámetros han sido designados por recomendación técnica del director del laboratorio de energías no convencionales de la Escuela Politécnica del Ejercito.

Se han realizado varias pruebas con distintos diámetros de tubería y se ha encontrado que estos diámetros son los apropiados para el buen funcionamiento del sistema, un claro ejemplo de colector con esta tubería que esta en funcionamiento, se encuentra en el generador de biogás ubicado en las instalaciones de la escuela junto al pabellón de entrenamiento canino.

En la figura 4.6 se observa como esta distribuida la tubería dentro del colector solar.



**Figura 4.6 Tubería Colector Solar**

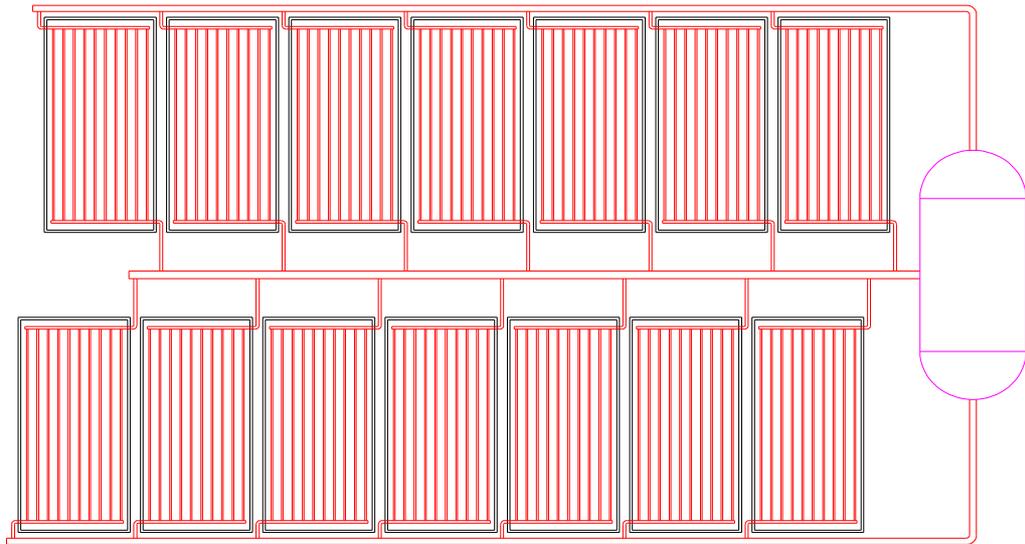
### **4.3.2 Determinación de Pérdidas Hidráulicas**

Luego de haber encontrado y designado las tuberías con las cuales se trabajaran tanto los colectores como el abastecimiento de agua al sistema y todo el circuito se prosigue a determinar las pérdidas hidráulicas que se tendrá para así saber con que tipo de bomba se va a trabajar para lograr el caudal deseado dentro de los colectores y así estar seguro que en el colector exista un flujo turbulento lo que permitirá que exista un intercambio de calor más eficiente y por ende un mejor funcionamiento del sistema de ACS.

Los cálculos se realizan para la determinación de las pérdidas que se provocan tanto en tuberías como en los accesorios del circuito hidráulico, como es lógico existirá un elevado número de pérdidas para el circuito por la gran cantidad de accesorios.

Para simplificar los cálculos se los realizara para un colector; por otra parte se encontrara los valores para la tubería que existe entre la bomba y los colectores y la que va desde los colectores hasta el tanque de almacenamiento.

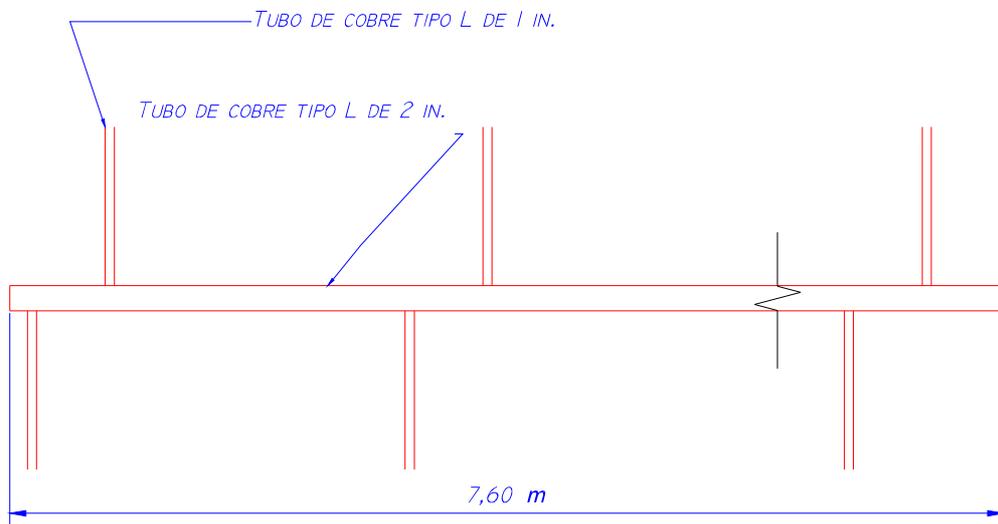
Es aconsejable realizar una lista de materiales para cada uno de los tres elementos que hemos considerado para el análisis de pérdidas se elabora una tabla con los elementos de cada tramo, en la figura 4.7 se observa un esquema (para una mejor visualización del esquema ver anexo F)



**Figura 4.7 Esquema Sistema ACS**

**A. Pérdidas Hidráulicas en Tubería entre Bomba y Colectores**

Como se diseño anteriormente en este tramo se tendrá una tubería de 2 pulgadas y varias te de 1 pulgada con flujo derivado como se observa en la figura 4.8.



**Figura 4.8 Tubería entre bomba y Colectores**

**Tabla 4.15 Datos de tubería entre bomba y colectores**

<b>Tubería entre Bomba y Colectores</b>			
	<b>Dn(in)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Longitud (m)</b>
<b>Tubería</b>	2	1	7,60
<b>Te</b>	2 a 1	14	-

Luego de haber obtenido los elementos del tramo en análisis se prosigue a realizar los cálculos pertinentes antes de esto se recolecta ciertos datos necesarios para el cálculo.

**Tabla 4.16 Datos previos para el cálculo de pérdidas hidráulicas**

<b>ORDEN</b>	<b>PARAMETRO</b>	<b>SIMBOLO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
<b>1</b>	Número de Colectores	Nc	unid	14
<b>2</b>	Flujo másico en cada colector	mp	m <sup>3</sup> /s	0,000612
<b>3</b>	Temperatura del agua	t	°C	60
<b>4</b>	Viscosidad dinámica	$\mu$	N s/m <sup>2</sup>	4,665 x 10 <sup>-4</sup>
<b>5</b>	Viscosidad cinemática	$\nu$	m <sup>2</sup> /s	4,745 x 10 <sup>-7</sup>
<b>6</b>	Densidad	$\delta$	kg/m <sup>3</sup>	983,2
<b>7</b>	Peso Especifico	$\gamma$	N/m <sup>3</sup>	9642
<b>8</b>	Rugosidad de tubería de cobre	$\epsilon$	m	1,5 x 10 <sup>-6</sup>
<b>9</b>	Diámetro externo tubo de 1 in.	de <sub>1in</sub>	in	1,125
<b>10</b>	Espesor tubo de 1 in.	e <sub>1in</sub>	in	0,05
<b>11</b>	Diámetro externo tubo de 2 in.	de <sub>2in</sub>	in	2,125
<b>12</b>	Espesor tubo de 2 in.	e <sub>2in</sub>	in	0.07
<b>13</b>	Coeficiente de pérdidas para conexiones <sup>20</sup> en T con flujo derivado	Kt	-	1

<sup>20</sup> Musson Young, Mecánica de Fluidos.

En los datos se encuentran valores ya dados como el flujo másico necesario en el colector, los datos del agua es información bibliográfica<sup>21</sup>, los valores para tuberías son obtenidos de manuales<sup>22</sup>.

Caudal en la tubería de 1 in

$$Q_{t1in} = mp \quad 4.41$$

$$Q_{t1in} = 0,000612 \text{ m}^3/\text{s}$$

Área interna de tubo de 1 in

$$A_{t1in} = \pi \cdot \left( \frac{di_{1in}}{2} \right)^2 \quad 4.42$$

$$A_{t1in} = 0,000532 \text{ m}^2$$

Velocidad del agua en tubería de 1 in

$$V_{t1in} = \frac{Q_{t1in}}{A_{t1in}} \quad 4.43$$

$$V_{t1in} = 1,149599 \text{ m/s}$$

Caudal en la tubería de 2 in

$$Q_{t2in} = mp \cdot Nc \quad 4.44$$

$$Q_{t2in} = 0,008568 \text{ m}^3/\text{s}$$

Área interna de tubo de 2 in

$$A_{t2in} = \pi \cdot \left( \frac{di_{2in}}{2} \right)^2 \quad 4.45$$

$$A_{t2in} = 0,001997 \text{ m}^2$$

---

<sup>21</sup> Robert L. Mott, Mecánica de Fluidos Aplicada

<sup>22</sup> Manual del Ingeniero Químico

Velocidad del agua en tubería de 2 in

$$V_{t2in} = \frac{Q_{t2in}}{A_{t2in}} \quad 4.46$$

$$V_{t2in} = 4,291421 \text{ m/s}$$

Número de Reynolds en tubería de 2 in

$$Re_{t2in} = \frac{V_{t2in} \cdot di_{t2in}}{\nu} \quad 4.47$$

$$Re_{t2in} = 455994,003937$$

Factor de fricción para tubería de 2 in

$$f_{t2in} = \frac{0,25}{\log \left[ \frac{1}{3,7 \cdot \left( \frac{di_{t2in}}{\varepsilon} \right)} + \frac{5,74}{(Re_{t2in})^{0,9}} \right]^2} \quad 4.48$$

$$f_{t2in} = 0,013746$$

Pérdidas por fricción en tubería de 2 in

$$hl_{t2in} = f_{t2in} \cdot \frac{l_{t2in}}{di_{t2in}} \cdot \frac{(V_{t2in})^2}{2 \cdot g} \quad 4.49$$

$$hl_{t2in} = 1,945561 \text{ m}$$

Pérdidas individuales de conexiones en T en tubería de 2 in 1 in

$$hm_{t2in-1in} = kt \cdot \frac{(V_{t1in})^2}{2 \cdot g} \quad 4.50$$

$$hm_{t2in-1in} = 0,067382 \text{ m}$$

Pérdidas totales de conexiones en T en tubería de 2 in 1 in

$$hmt_{t2in-1in} = hm_{t2in-1in} \cdot Nc \quad 4.51$$

$$hmt_{t2in} = 0,943344 \text{ m}$$

Pérdidas totales en tubería entre bomba y colectores

$$ht_{b-c} = hmt_{t2in-1in} + hl_{t2in} \quad 4.52$$

$$ht_{b-c} = 2,8889 \text{ m}$$

El valor de las pérdidas totales en tubería entre la bomba y los colectores es el primer tramo en ser resuelto el cual será unido a los tramos restantes para así llegar al valor total.

### B. Pérdidas Hidráulicas en Tubería entre Colectores y Tanque de Almacenamiento

Como se especificó anteriormente en este tramo del circuito hidráulico se utilizara tubería de 2 pulgadas de diámetro así como en el tramo comprendido entre la bomba y los colectores, al igual se realiza un esquema del tramo y una lista de los elementos usados, se utilizaran datos obtenidos en los cálculos anteriormente realizados.

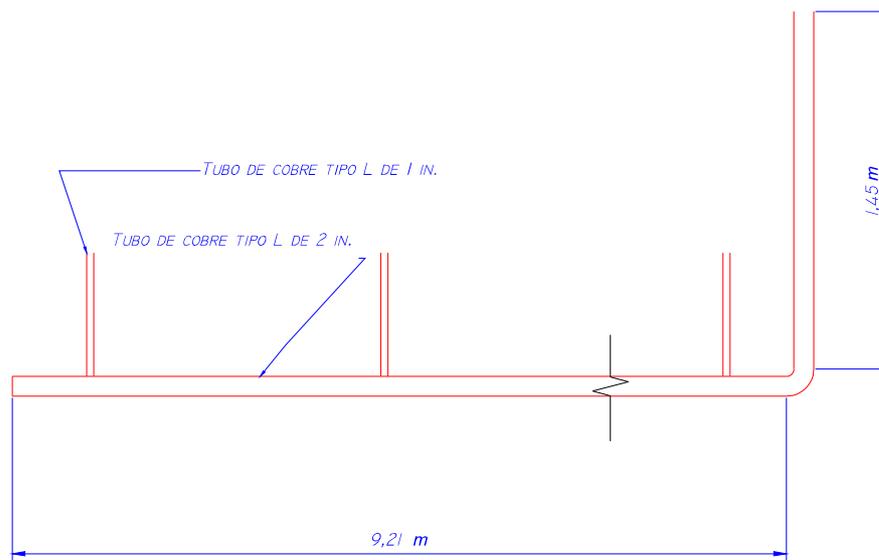


Figura 4.9 Tubería entre colector y tanque

Tabla 4.17 Tubería entre Bomba y Colectores

Tubería entre Bomba y Colectores			
	Dn(in)	Cantidad	Longitud (m)
Tubería	2	1	10,66
Te	2 a 1	7	-
Codo 90°	2	1	-

Tabla 4.18 Datos para cálculo de pérdidas hidráulicas

ORDEN	PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	CANTIDAD
1	Número de Colectores	Nc	unid	7
2	Flujo másico en cada colector	mp	m <sup>3</sup> /s	0,000612
3	Temperatura del agua	t	°C	60
4	Viscosidad dinámica	$\mu$	N s/m <sup>2</sup>	4,665 x 10 <sup>-4</sup>
5	Viscosidad cinemática	$\nu$	m <sup>2</sup> /s	4,745 x 10 <sup>-7</sup>
6	Densidad	$\delta$	kg/m <sup>3</sup>	983,2
7	Peso Especifico	$\gamma$	N/m <sup>3</sup>	9.642
8	Rugosidad de tubería de cobre	$\epsilon$	m	1,5 x 10 <sup>-6</sup>
9	Diámetro externo tubo de 1 in.	de <sub>1in</sub>	in	1,125
10	Espesor tubo de 1 in.	e <sub>1in</sub>	in	0,05
11	Caudal en el tubo de 1 in.	Q <sub>t1in</sub>	m <sup>3</sup> /s	0,000612
12	Área interna de tubo de 1 in	A <sub>t1in</sub>	m <sup>2</sup>	0,000532
13	Velocidad de fluido en tubo de 1 in	V <sub>t1in</sub>	m/s	1,149599
14	Diámetro externo tubo de 2 in.	de <sub>2in</sub>	in	2,125
15	Espesor tubo de 2 in.	e <sub>2in</sub>	in	0,07
16	Área interna de tubo de 2 in	A <sub>t2in</sub>	m <sup>2</sup>	0,001997
17	Coeficiente de pérdidas para conexiones en T con flujo en línea	Kt	-	0,2
18	Coeficiente de pérdidas para conexiones acodadas <sup>23</sup> de 2 in	K <sub>codo</sub>	-	0,2

El cálculo de la velocidad y el caudal deben realizarse nuevamente para este tramo puesto que como se observa en el esquema y en los elementos solo es para siete colectores por lo que estas variables son distintas.

<sup>23</sup> Musson Young, Mecánica de Fluidos.

Caudal en la tubería de 2 in

$$Q_{t2in} = mp \cdot Nc \quad 4.53$$

$$Q_{t2in} = 0,004284 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidad del agua en tubería de 2 in

$$V_{t2in} = \frac{Q_{t2in}}{A_{t2in}} \quad 4.54$$

$$V_{t2in} = 2,1457 \text{ m/s}$$

Número de Reynolds en tubería de 2 in

$$Re_{t2in} = \frac{V_{t2in} \cdot di_{t2in}}{\nu} \quad 4.55$$

$$Re_{t2in} = 227997,0019$$

Factor de fricción para tubería de 2 in

$$f_{t2in} = \frac{0,25}{\log \left[ \frac{1}{3,7 \cdot \left( \frac{di_{t2in}}{\varepsilon} \right)} + \frac{5,74}{(Re_{t2in})^{0,9}} \right]^2} \quad 4.56$$

$$f_{t2in} = 0,015435$$

Pérdidas por fricción en tubería de 2 in

$$hl_{t2in} = f_{t2in} \cdot \frac{l_{t2in}}{di_{t2in}} \cdot \frac{(V_{t2in})^2}{2 \cdot g} \quad 4.57$$

$$hl_{t2in} = 0,765461 \text{ m}$$

Pérdidas individuales de conexiones en T en tubería de 2 in 1 in

$$hm_{t2in-1in} = kt \cdot \frac{(V_{t1in})^2}{2 \cdot g} \quad 4.58$$

$$hm_{t2in-1in} = 0,013854 \text{ m}$$

Pérdidas totales de conexiones acodadas en tubería de 2 in

$$hm_{\text{codo } 2\text{in}} = kt \cdot \frac{(V_{t2\text{in}})^2}{2 \cdot g} \quad 4.59$$

$$hm_{\text{codo } 2\text{in}} = 0,046948 \text{ m}$$

Pérdidas totales de conexiones en tubería de 2 in

$$hm_{t2\text{in}} = hm_{t2\text{in}-1\text{in}} \cdot Nc + hm_{\text{codo } 2\text{in}} \quad 4.60$$

$$hmt_{2\text{in}} = 0,143926 \text{ m}$$

Pérdidas totales en tubería entre colectores y tanque de almacenamiento

$$ht1_{c-t} = hmt_{t2\text{in}-1\text{in}} + hl_{t2\text{in}} \quad 4.61$$

$$ht1_{c-t} = 0,909387 \text{ m}$$

Este valor de pérdidas debe ser duplicado ya que es solo de uno de los tubos que va hasta el tanque de almacenamiento por tanto el valor total de pérdidas que produciría la tubería que va desde el colector al tanque serán:

Pérdidas totales en las 2 tuberías entre colectores y tanque de almacenamiento:

$$ht_{c-t} = 2 \cdot ht1_{c-t} \quad 4.62$$

$$ht_{c-t} = 1,813487 \text{ m}$$

### C. Pérdidas Hidráulicas en Tubería de Colectores

Las pérdidas hidráulicas que se producen en los colectores son las mayores, esto es lógico por tanto que en ellos es donde se encuentra la mayor cantidad de tubería de diámetro pequeño y también la mayor cantidad de accesorios puesto que se encuentra una gran cantidad de accesorios tipo t y codos la información previa para los cálculos son varios de los datos anteriores, los cálculos se realizaron para un colector y estas pérdidas serán multiplicadas por los catorce colectores.

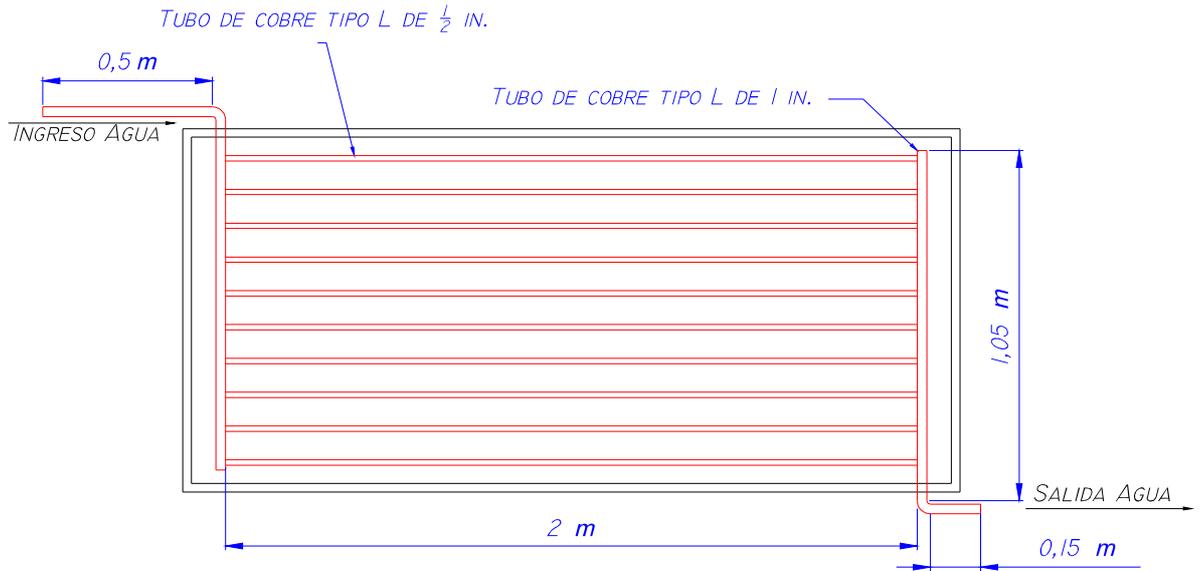


Figura 4.10 Tuberías internas de colectores

Tabla 4.19 Datos de tuberías internas de colector

Tubería entre Bomba y Colectores			
	Dn(in)	Cantidad	Longitud(m)
Tubería	1	1	2,75
Tubería	1/2	10	2
Te	1 a 1/2	20	-
Codo 90°	1	2	-

Se obtiene los datos más necesarios y fáciles de obtener de los componentes del colector para con estos realizar los cálculos pertinentes. En el anexo I se puede observar el esquema de los colectores solares.

Tabla 4.20 Datos para cálculo de pérdidas

ORDEN	PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	CANTIDAD
1	Número de Colectores	Nc	unid	7
2	Flujo másico en cada colector	mp	m <sup>3</sup> /s	0,000612
3	Temperatura del agua	t	°C	60
4	Viscosidad dinámica	μ	N s/m <sup>2</sup>	4,665 x 10 <sup>-4</sup>
5	Viscosidad cinemática	ν	m <sup>2</sup> /s	4,745 x 10 <sup>-7</sup>
6	Densidad	δ	kg/m <sup>3</sup>	983,2

Continuación Tabla 4.20

7	Peso Especifico	$\gamma$	N/m <sup>3</sup>	9.642
8	Rugosidad de tubería de cobre	$\varepsilon$	m	1,5 x 10 <sup>-6</sup>
9	Diámetro externo tubo de 1 in.	de <sub>1in</sub>	in	1,125
10	Espesor tubo de 1 in.	e <sub>1in</sub>	in	0,05
11	Caudal en el tubo de 1 in.	Q <sub>t1in</sub>	m <sup>3</sup> /s	0,000612
12	Área interna de tubo de 1 in	A <sub>t1in</sub>	m <sup>2</sup>	0,000532
13	Velocidad de fluido en tubo de 1 in	V <sub>t1in</sub>	m/s	1,149599
14	Diámetro externo tubo de 2 in.	de <sub>1/2in</sub>	in	0,625
15	Espesor tubo de 2 in.	e <sub>1/2in</sub>	in	0,04
16	Área interna de tubo de 2 in	A <sub>t2in</sub>	m <sup>2</sup>	0,001997
17	Coefficiente de pérdidas para conexiones en T con flujo en línea	K <sub>tl</sub>	-	0,2
18	Coefficiente de pérdidas para conexiones en T con flujo derivado	K <sub>td</sub>	-	1
19	Coefficiente de pérdidas para conexiones acodadas de 2 in	K <sub>codo</sub>	-	0,2

Caudal en la tubería de ½ in

$$Q_{t1/2in} = \frac{mp}{10} \quad 4.63$$

$$Q_{t1/2in} = 0,0000612 \text{ m}^3/\text{s}$$

Área interna de tubo de ½ in

$$A_{t1/2in} = \pi \cdot \left( \frac{di_{1/2in}}{2} \right)^2 \quad 4.64$$

$$A_{t1/2in} = 0,000151 \text{ m}^2$$

Velocidad del agua en tubería de ½ in

$$V_{t1/2in} = \frac{Q_{t1/2in}}{A_{t1/2in}} \quad 4.65$$

$$V_{t1/2in} = 0,406632 \text{ m/s}$$

Número de Reynolds en tubería de ½ in

$$Re_{t1/2in} = \frac{V_{t1/2in} \cdot di_{t1/2in}}{\nu} \quad 4.66$$

$$Re_{t1/2in} = 11863,015699$$

Factor de fricción para tubería de ½ in

$$f_{t1/2in} = \frac{0,25}{\log \left[ \frac{1}{3,7 \cdot \left( \frac{di_{t1/2in}}{\varepsilon} \right)} + \frac{5,74}{(Re_{t1/2in})^{0,9}} \right]^2} \quad 4.67$$

$$f_{t1/2in} = 0,029774$$

Pérdidas por fricción en tubería de ½ in

$$hl_{t1/2in} = f_{t1/2in} \cdot \frac{l_{t1/2in}}{di_{t1/2in}} \cdot \frac{(V_{t1/2in})^2}{2 \cdot g} \quad 4.68$$

$$hl_{t1/2in} = 0,036265 \text{ m}$$

Pérdidas totales de tubería de ½ in

$$hlt_{t1/2in} = hl_{t1/2in} \cdot 10 \quad 4.69$$

$$hlt_{t1/2in} = 0,36265 \text{ m}$$

Velocidad del agua en tubería de 1 in

$$V_{t1in} = \frac{Q_{t1in}}{A_{t1in}} \quad 4.70$$

$$V_{t1in} = 1,149599 \text{ m/s}$$

Número de Reynolds en tubería de 1 in

$$Re_{t1in} = \frac{V_{t1in} \cdot di_{t1in}}{\nu} \quad 4.71$$

$$Re_{t1in} = 63076,522496$$

Factor de fricción para tubería de 1 in

$$f_{t1in} = \frac{0,25}{\log \left[ \frac{1}{3,7 \cdot \left( \frac{d_{i_{t1in}}}{\varepsilon} \right)} + \frac{5,74}{(Re_{t1in})^{0,9}} \right]^2} \quad 4.72$$

$$f_{t1in} = 0,019983$$

Pérdidas por fricción en tubería de 1 in

$$hl_{t1in} = f_{t1in} \cdot \frac{l_{t1in}}{d_{i_{t1in}}} \cdot \frac{(V_{t1in})^2}{2 \cdot g} \quad 4.73$$

$$hl_{t1in} = 0,142226 \text{ m}$$

Pérdidas individuales de conexiones en T en tubería de 1 in a 1/2 in con flujo en línea

$$hml_{t1in-1/2in} = ktl \cdot \frac{(V_{t1/2in})^2}{2 \cdot g} \quad 4.74$$

$$hml_{t1in-1/2in} = 0,001686 \text{ m}$$

Pérdidas totales de conexiones en T en tubería de 1 in a 1/2 in con flujo en línea

$$hmlt_{t1in-1/2in} = hml_{t1in-1/2in} \cdot 10 \quad 4.75$$

$$hmlt_{t1in-1/2in} = 0,01686 \text{ m}$$

Pérdidas individuales de conexiones en T en tubería de 1 in a 1/2 in con flujo derivado

$$hmd_{t1in-1/2in} = ktd \cdot \frac{(V_{t1/2in})^2}{2 \cdot g} \quad 4.76$$

$$hmd_{t1in-1/2in} = 0,00843 \text{ m}$$

Pérdidas totales de conexiones en T en tubería de 1 in a 1/2 in con flujo derivado

$$hmdt_{t1in-1/2in} = hmd_{t1in-1/2in} \cdot 10 \quad 4.77$$

$$hmdt_{t1in-1/2in} = 0,0843 \text{ m}$$

Pérdidas individuales de conexiones acodadas en tubería de 1 in

$$hm_{codo1in} = k_{codo} \cdot \frac{(V_{t1in})^2}{2 \cdot g} \quad 4.78$$

$$hm_{codo1in} = 0,020215 \text{ m}$$

Pérdidas totales de conexiones acodadas en tubería de 1 in

$$hmt_{codo1in} = hm_{codo1in} \cdot 2 \quad 4.79$$

$$hmt_{codo1in} = 0,040429 \text{ m}$$

Pérdidas totales en tubería en un colector

$$hti_{colector} = hlt_{t1/2in} + hl_{t1in} + hml_{t1in-1/2in} + hmdt_{t1in-1/2in} + hmt_{codo1in} \quad 4.80$$

$$hti_{colector} = 0,64645 \text{ m}$$

Pérdidas totales en tubería en todos los colector

$$ht_{colector} = hti_{colector} \cdot 14 \quad 4.81$$

$$ht_{colector} = 9,05051 \text{ m}$$

Los cálculos anteriormente realizados están basados en varias fuentes bibliográficas pero principalmente en los libros: Mecánica de Fluidos Aplicada de Robert L. Mott y otros valores obtenidos de Mecánica de Fluidos de Muson Young.

Haciendo un breve repaso de los cálculos lo primero a realizarse en cada uno de los tramos fue el determinar el caudal con el que el fluido transitara por cada uno de los diámetros luego se halla el área transversal interna de cada uno de los diámetros para así poder encontrar la velocidad a la que se moverá el agua, para el caso de las pérdidas por fricción es necesario confirmar que el flujo sea turbulento para cada caso siendo así se continua a obtener el factor de fricción el cual puede ser determinado de dos maneras a través del método gráfico del diagrama de Moody o con la ecuación de P.K. Swamee y A.K. Jain que es la que elegimos para tener un valor más exacto del factor; obtenido este valor

obtenemos el valor de las pérdidas por fricción y luego lo multiplicamos por el número de elementos similares que se tenga.

Para lo que es las pérdidas por accesorios se obtiene con la formula donde involucra un coeficiente de pérdidas por accesorios el cual varia según el tipo de accesorio en este caso tan solo se a utilizado los valores para accesorios acodados y de tipo t este último en flujo lineal lo que significa que el fluido pasa por la t sin desviarse y en flujo derivado que es cuando el fluido se divide en dos partes; este coeficiente es multiplicado por la velocidad del fluido en el accesorio elevado al cuadrado y dividido para el doble de la gravedad dando como resultado las pérdidas por cada accesorio y este debe ser multiplicado por el número de accesorios que se tiene.

La explicación de las formulas sirven como una guía para la comprensión de los cálculos realizados.

Finalmente luego de haber obtenido los resultados de las pérdidas hidráulicas en los tres tramos del circuito se suman las respuestas y se obtiene el valor total de pérdidas

#### **Pérdidas totales en tubería en circuito hidráulico**

$$ht_{circuito} = ht_{b-c} + ht_{c-t} + ht_{colector} \quad 4.82$$

$$ht_{colector} = 13,752957 \text{ m}$$

#### **D. Selección de la bomba**

La parte con la que se concluye el capítulo que corresponde al diseño hidráulico del sistema es la selección de la bomba con la que el circuito deberá funcionar de una manera óptima sin presentar ningún problema de falta de potencia en el fluido, haciendo que este absorba toda la energía posible de los colectores.

La selección de la bomba se la realiza con la aplicación de la ecuación de la potencia en el eje, para la cual es necesario conocer los valor de pérdidas, el

caudal deseado en la tubería que abastecerá a los colectores, las pérdidas y peso específico del fluido que en este caso es agua.

**Tabla 4.21 Datos para selección de Bomba**

ORDEN	PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	CANTIDAD
1	Temperatura del agua	t	°C	60
2	Peso Específico	$\gamma$	N/m <sup>3</sup>	9.642
3	Flujo másico en el colector	Qc	-	0,000612
4	Número de colectores	Nc	unid	14
5	Pérdidas totales	ht <sub>circuito</sub>	m	13,7529
6	Eficiencia de la bomba	$\eta$	%	0,84

Potencia en el eje de la bomba

$$W_{eje} = \frac{\gamma \cdot (Qc \cdot Nc) ht_{circuito}}{\eta} \quad 4.83$$

$$W_{eje} = 1352,58 \text{ Watts}$$

$$W_{eje} = 1,813 \text{ HP}$$

La bomba seleccionada para esta aplicación a sido una bomba centrifuga con una potencia de 1,8 caballos de fuerza lo que en el mercado seria difícil de encontrar por tanto se utiliza una bomba de 2 caballos de fuerza.

#### 4.4 DISEÑO Y SELECCIÓN DE AISLANTES

Los elementos que se encuentran en la intemperie como la tubería y el tanque de almacenamiento en caso de no tener un recubrimiento experimentan pérdidas térmicas las cuales repercuten en la eficiencia del sistema por tanto estos elementos deben ser adecuadamente aislados y protegidos para reducir estas pérdidas, este aislante no debe ser ni muy delgado puesto que esto significaría que sigan existiendo pérdidas térmicas y en caso de que el aislante sea demasiado grueso esto se traduciría en pérdidas económicas puesto que al llegar a un diámetro determinado las pérdidas serán casi constantes ya que la variación será casi despreciable como se explicará más adelante.

#### 4.4.1 Aislamiento de Tuberías

Los cálculos para el espesor del aislante se basan en una analogía eléctrica, el análisis de la resistencia térmica se realiza tanto para conducción como para convección esto se lo realiza puesto que se debe tomar en cuenta que los elementos son superficies cilíndricas y estas suelen actuar térmicamente de estas maneras.

Los datos necesarios para realizar los cálculos se los obtiene de tablas que se encuentran en diversos libros los cuales se especificaran en cada unos de los datos; los cálculos también están basados en los libros: Transferencia de Calor de J.P. Holman, Principios de Transferencia de Calor de Kreith Bohn y Transferencia de Calor de Incropera.

Es necesario aclarar que las temperaturas tomadas para el agua en el momento que ésta habría alcanzado la temperatura máxima la cual se asume lo realiza en las horas del medio día o la tarde por tanto se asume una temperatura ambiental más alta que la que tendría en las horas de la mañana que sería mucho más baja, las temperatura asumida es de 23 °C siendo ésta de igual manera una consideración baja para ciertos casos pero funcional para realizar los cálculos respectivos.

Tabla 4.22 Datos de cálculo de aislantes

ORDEN	PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	CANTIDAD
1	Coeficiente de transferencia por convección del agua <sup>24</sup>	$h_{\text{agua}}$	W/m <sup>2</sup> °K	1.000
2	Velocidad del Viento	V <sub>v</sub>	m/s	3,2
3	Conductividad térmica del cobre <sup>25</sup>	$k_{\text{cobre}}$	W/m°K	386
4	Conductividad térmica de la lana de vidrio <sup>26</sup>	$k_{\text{lana de vidrio}}$	W/m°K	0,037
5	Temperatura del Fluido	$t_{\text{fluido}}$	°K	333
6	Temperatura del aire	$t_{\text{aire}}$	°K	296,15

<sup>24</sup> Incropera, Transferencia de Calor, Tabla 1.1

<sup>25</sup> J.P. Holman, Transferencia de calor, pág. 590

<sup>26</sup> Kreith Bohn, Principios de Transferencia de calor, Tabla A10

Continuación Tabla 4.22

7	Radio interno tubería de 2 in.	$r_{\text{interno}}$	m	0,050419
8	Radio externo tubería de 2 in.	$r_{\text{externo}}$	m	0,053975
9	Longitud de tubería de 2 in.	$L_{2\text{in}}$	m	7,6
10	Espesor del aislante variable	e	m	0,01 a 0,1

Coeficiente convectivo por viento

$$h_{\text{viento}} = 5,7 + 3,8 \cdot Vv \quad 4.84$$

$$h_{\text{viento}} = 17,86 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Radio crítico

$$r_{\text{critico}} = \frac{K_{\text{ lana.de.vidrio}}}{h_{\text{viento}}} \quad 4.85$$

$$r_{\text{critico}} = 0,0021 \text{ m}$$

Radio exterior de tubería más espesor de aislante

$$r(e) = r_{\text{externo}} + e \quad 4.86$$

$r(e)$  = variable

Es pertinente aclarar que el radio exterior de la tubería más el aislante variara según el espesor del aislante que se aplique, esta variación será aplicada en la formula del radio total para así obtener una gráfica, la cual nos ayudara a seleccionar la cantidad de aislante necesaria.

Radio total en función del espesor

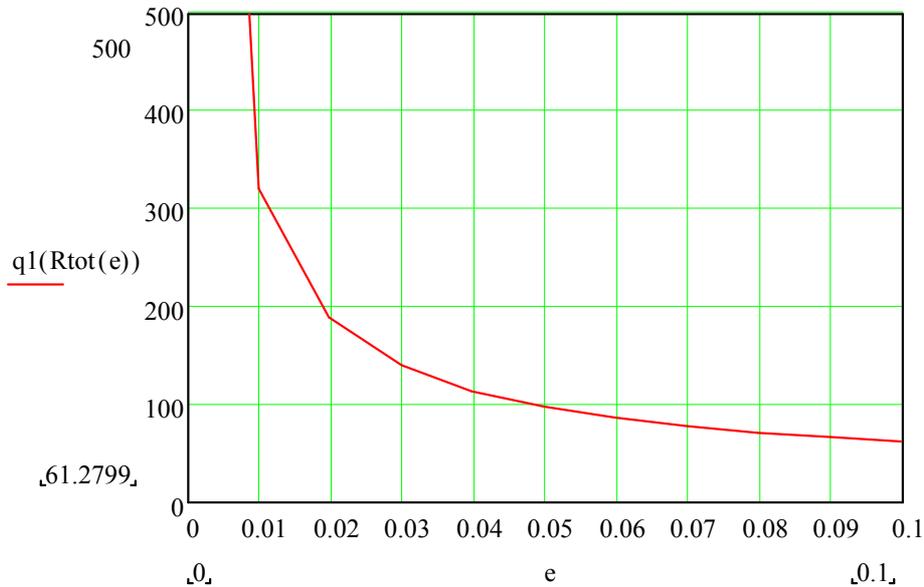
$$r_{\text{total}}(e) = \frac{1}{2\pi \cdot r_{\text{interno}} \cdot L_{2\text{in}} \cdot h_{\text{agua}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{externo}}}{r_{\text{interno}}}\right)}{2\pi \cdot K_{\text{cobre}} \cdot L_{2\text{in}}} + \dots \quad 4.87$$

$$\dots + \frac{\ln\left(\frac{r(e)}{r_{\text{externo}}}\right)}{2\pi \cdot K_{\text{ lana.de.vidrio}} \cdot L_{2\text{in}}} + \frac{1}{2\pi \cdot r(e) \cdot L_{2\text{in}} \cdot h_{\text{aire}}}$$

$r_{\text{total}}$  = variable m

## Pérdidas de calor en función del radio total

$$q(r_{total}) = \frac{t_{fluido} - t_{aire}}{r_{total}} \quad 4.88$$



**Gráfico 4.2 Espesor vs. Pérdidas de Calor (Bomba-Colectores)**

En el gráfico anterior se observa que los rangos de aislante se podrían considerar entre 5 hasta 10 centímetros, lo más aconsejable energéticamente sería utilizar el de diez centímetros pero si consideramos los costos se elevarían al doble y la variación entre estos dos valores sería de aproximadamente cuarenta watts lo que no representa una gran variación, por lo tanto, se decide poner un aislante de cinco centímetros de lana de vidrio para mejorar la eficiencia del sistema en el tramo considerado entre la bomba y los colectores.

Para el análisis de la tubería comprendida entre los colectores y el tanque de almacenamiento se realiza los mismos cálculos con tan solo la variación de la longitud de la tubería que en este caso sería mayor a continuación se realiza los cálculos para esta tubería.

Tabla 4.23 Datos de cálculo de aislantes

ORDEN	PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	CANTIDAD
1	Coefficiente de transferencia por convección del agua	$h_{\text{agua}}$	$\text{W/m}^2\text{°K}$	1.000
2	Velocidad del Viento	$V_v$	m/s	3,2
3	Conductividad térmica del cobre	$k_{\text{cobre}}$	$\text{W/m}^{\circ}\text{K}$	386
4	Conductividad térmica de la lana de vidrio	$k_{\text{lana de vidrio}}$	$\text{W/m}^{\circ}\text{K}$	0,037
5	Temperatura del Fluido	$t_{\text{fluido}}$	$^{\circ}\text{K}$	333
6	Temperatura del aire	$t_{\text{aire}}$	$^{\circ}\text{K}$	296,15
7	Radio interno tubería de 2 in.	$r_{\text{interno}}$	m	0,050419
8	Radio externo tubería de 2 in.	$r_{\text{externo}}$	m	0,053975
9	Longitud de tubería de 2 in.	$L_{2\text{in}}$	m	10,66
10	Espesor del aislante variable	$e$	m	0,01 a 0,1

Coefficiente convectivo por viento

$$h_{\text{viento}} = 5,7 + 3,8 \cdot V_v \quad 4.89$$

$$h_{\text{viento}} = 17,86 \text{ W/m}^2\text{°K}$$

Radio crítico

$$r_{\text{critico}} = \frac{K_{\text{lana.de.vidrio}}}{h_{\text{viento}}} \quad 4.90$$

$$r_{\text{critico}} = 0,0021 \text{ m}$$

Radio exterior de tubería más espesor de aislante

$$r(e) = r_{\text{externo}} + e \quad 4.91$$

$$r(e) = \text{variable}$$

Radio total en función del espesor

$$r_{total}(e) = \frac{1}{2\pi \cdot r_{interno} \cdot L_{2in} \cdot h_{agua}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{externo}}{r_{interno}}\right)}{2\pi \cdot K_{cobre} \cdot L_{2in}} + \dots$$

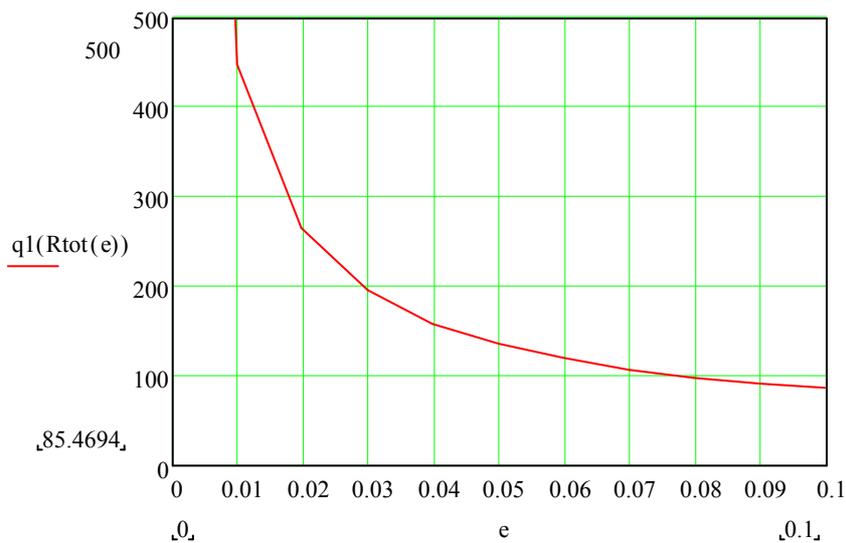
$$\dots + \frac{\ln\left(\frac{r(e)}{r_{externo}}\right)}{2\pi \cdot K_{lana.de.vidrio} \cdot L_{2in}} + \frac{1}{2\pi \cdot r(e) \cdot L_{2in} \cdot h_{aire}}$$
4.92

$r_{total}$  = variable m

Pérdidas de calor en función del radio total

$$q(r_{total}) = \frac{t_{fluido} - t_{aire}}{r_{total}}$$
4.93

$q(r_{total})$  = variable



**Gráfico 4.3 Espesor vs. Pérdidas de Calor (Colectores-Tanque)**

En este caso se ha seleccionado el mismo espesor de aislamiento tomando en cuenta consideraciones antes mencionadas en el aislamiento de la tubería entre la bomba y los colectores aunque la longitud es mayor

El último caso de análisis térmico de pérdidas se realiza en la tubería de 1 pulgada que se encuentra ubicada entre el colector y las tuberías antes descritas y analizadas; igualmente se utilizara el proceso anterior para el análisis con variación de diámetro y longitud de la tubería.

Tabla 4.24 Datos de cálculo de aislantes

ORDEN	PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	CANTIDAD
1	Coefficiente de transferencia por convección del agua <sup>27</sup>	$h_{\text{agua}}$	W/m <sup>2</sup> °K	1.000
2	Velocidad del Viento	Vv	m/s	3,2
3	Conductividad térmica del cobre <sup>28</sup>	$k_{\text{cobre}}$	W/m°K	386
4	Conductividad térmica de la lana de vidrio <sup>29</sup>	$k_{\text{lana de vidrio}}$	W/m°K	0,037
5	Temperatura del Fluido	$t_{\text{fluido}}$	°K	333
6	Temperatura del aire	$t_{\text{aire}}$	°K	296,15
7	Radio interno tubería de 1 in.	$r_{\text{interno}}$	m	0,026035
8	Radio externo tubería de 1 in.	$r_{\text{externo}}$	m	0,028575
9	Longitud de tubería de 1 in.	$L_{1\text{in}}$	m	0,65
10	Espesor del aislante variable	e	m	0,01 a 0,1

Coefficiente convectivo por viento

$$h_{\text{viento}} = 5,7 + 3,8 \cdot Vv \quad 4.94$$

$$h_{\text{viento}} = 17,86 \text{ W/m}^2\text{°K}$$

Radio crítico

$$r_{\text{critico}} = \frac{K_{\text{lana.de.vidrio}}}{h_{\text{viento}}} \quad 4.95$$

$$r_{\text{critico}} = 0,0021 \text{ m}$$

Radio exterior de tubería más espesor de aislante

$$r(e) = r_{\text{externo}} + e \quad 4.96$$

r(e)= variable

<sup>27</sup> Incropera, Transferencia de Calor, Tabla 1.1

<sup>28</sup> J.P. Holman, Transferencia de calor, pág. 590

<sup>29</sup> Kreith Bohn, Principios de Transferencia de calor, Tabla A10

Radio total en función del espesor

$$r_{total}(e) = \frac{1}{2\pi \cdot r_{interno} \cdot L_{1in} \cdot h_{agua}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{externo}}{r_{interno}}\right)}{2\pi \cdot K_{cobre} \cdot L_{1in}} + \dots$$

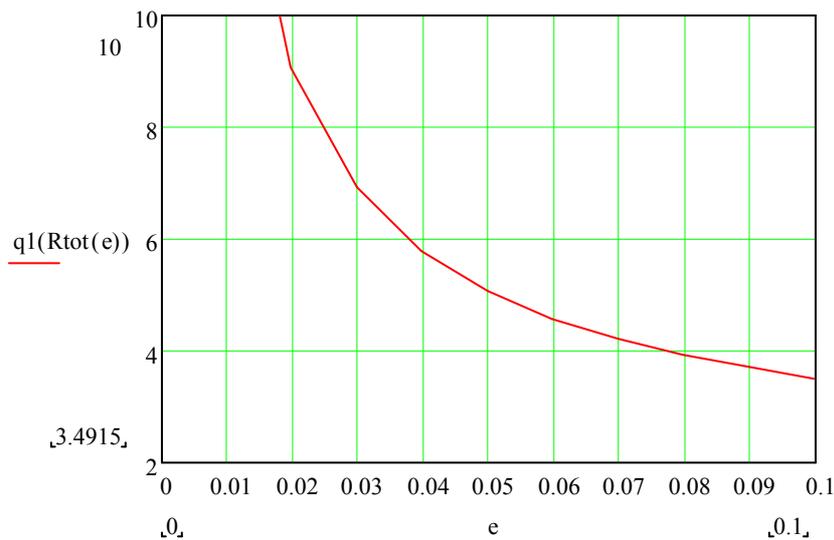
$$\dots + \frac{\ln\left(\frac{r(e)}{r_{externo}}\right)}{2\pi \cdot K_{lana.de.vidrio} \cdot L_{1in}} + \frac{1}{2\pi \cdot r(e) \cdot L_{1in} \cdot h_{aire}}$$
4.97

$r_{total}$  = variable m

Pérdidas de calor en función del radio total

$$q(r_{total}) = \frac{t_{fluido} - t_{aire}}{r_{total}}$$
4.98

$q(r_{total})$  = variable



**Gráfico 4.4 Espesor vs. Pérdidas de Calor (Colector-Tubería)**

La gráfica nos permite apreciar que la pérdida de calor que se presentara en la tubería comprendida entre los colectores y los tubos que conducen el agua desde y hacia estos es mínima en comparación con los de las otras tuberías por tanto el aislar la tubería mencionada sería un gasto infructuosos lo que es aconsejable no realizar ningún aislamiento.

Realizando un resumen de los aislamientos de tubería y luego de haber descrito cada una de las decisiones tomadas se realiza un cuadro donde se describe los espesores seleccionados para cada tramo

**Tabla 4.25 Tabla de aislantes del sistema**

<b>Aislamientos</b>	
Tubería bomba - colector	5 cm. de lana de vidrio con protección para exteriores
Tubería colector - tanque	5 cm. de lana de vidrio con protección para exteriores
Tubería colector – tuberías conductoras	Sin aislamiento

#### **4.4.2 Aislamiento de Tanque de Almacenamiento**

El aislamiento que debe tener el tanque es el más importante en lo referente a los elementos aislados que tendrá el sistema, la importancia de este aislamiento esta dada por que este será el encargado de disminuir la pérdida térmica que se produciría en las horas críticas para el sistema.

Estas horas son las comprendidas entre las 18:00 horas y las 6:00 horas, son consideradas críticas puesto que en este tiempo el sistema deja de funcionar por la falta de radiación solar, y por la temperatura ambiental que se presenta en estas horas siendo las más bajas de cada día.

De este aislamiento dependerá el éxito del funcionamiento del sistema ya que lograra mantener la temperatura ganada en el transcurso del día para que el agua sea utilizada en las horas de mayor demanda que son las mismas en las que el sistema no estaría en funcionamiento.

Los cálculos que se realizan para determinar el espesor del aislamiento son los mismos que para la tubería donde se considera las pérdidas por convección y por conducción los datos son igualmente similares a los antes mencionados con variaciones en los elementos que lógicamente son distintos.

Tabla 4.26 Datos para cálculo de aislante de tanque

ORDEN	PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	CANTIDAD
1	Coeficiente de transferencia por convección del agua	$h_{\text{agua}}$	$\text{W}/\text{m}^2\text{°K}$	1.000
2	Velocidad del Viento	$V_v$	m/s	3,2
3	Conductividad térmica del Acero Inoxidable AISI 304	$k_{\text{inox}}$	$\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{K}$	50,1
4	Conductividad térmica de la lana de vidrio	$k_{\text{lana de vidrio}}$	$\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{K}$	0,037
5	Temperatura del Fluido	$t_{\text{fluido}}$	$^{\circ}\text{K}$	333
6	Temperatura del aire	$t_{\text{aire}}$	$^{\circ}\text{K}$	283
7	Radio interno del tanque	$r_{\text{interno}}$	m	0,51
8	Radio externo del tanque	$r_{\text{externo}}$	m	0,515
9	Longitud de tanque	L	m	1,62
10	Espesor del aislante variable	e	m	0,01 a 0,1

Coeficiente convectivo por viento

$$h_{\text{viento}} = 5,7 + 3,8 \cdot V_v \quad 4.99$$

$$h_{\text{viento}} = 17,86 \text{ W}/\text{m}^2\text{°K}$$

Radio crítico

El radio crítico es el propio radio del tanque sobre pasa el valor de radio crítico

Radio exterior de cuerpo de tanque más espesor de aislante

$$r(e) = r_{\text{externo}} + e \quad 4.100$$

R(e)= variable

Radio total en función del espesor

$$r_{\text{cuerpo}}(e) = \frac{1}{2\pi \cdot r_{\text{interno}} \cdot L \cdot h_{\text{agua}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{externo}}}{r_{\text{interno}}}\right)}{2\pi \cdot K_{\text{acero}} \cdot L} + \dots$$

$$\dots + \frac{\ln\left(\frac{r(e)}{r_{\text{externo}}}\right)}{2\pi \cdot K_{\text{lana.de.vidrio}} \cdot L} + \frac{1}{2\pi \cdot r(e) \cdot L \cdot h_{\text{aire}}} \quad 4.101$$

$r_{\text{cuerpo}}$ = variable

Pérdidas de calor por el cuerpo

$$q(r_{\text{cuerpo}}) = \frac{t_{\text{fluido}} - t_{\text{aire}}}{r_{\text{total}}} \quad 4.102$$

$q(r_{\text{cuerpo}})$ = variable

También se debe realizar los cálculos para las cabezas esféricas del tanque, para elaborar los cálculos se utiliza la  $r_{\text{total}}$  para esferas huecas ya que al ser dos cabezas entre ellas completan una esfera completa a continuación los datos necesarios.

Tabla 4.27 Datos para aislante de cabeza del tanque

ORDEN	PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	CANTIDAD
1	Radio interno del tanque	$r_{\text{interno}}$	m	0.51
2	Radio externo del tanque	$r_{\text{externo}}$	m	0.513
3	Espesor del aislante variable	e	m	0.01 a 0.1

Radio exterior de cabeza de tanque más espesor de aislante

$$r(e) = r_{\text{externo}} + e \quad 4.103$$

$R(e)$ = variable

Radio total en función del espesor

$$r_{\text{esfera}}(e) = \frac{1}{4\pi \cdot (r_{\text{interno}})^2 \cdot h_{\text{agua}}} + \frac{r_{\text{externo}} - r_{\text{interno}}}{4\pi \cdot K_{\text{acero}} \cdot r_{\text{externo}} \cdot r_{\text{interno}}} + \dots \quad 4.104$$

$$\dots + \frac{r(e) - r_{\text{externo}}}{4\pi \cdot K_{\text{lana.de.vidrio}} \cdot r(e) \cdot r_{\text{externo}}} + \frac{1}{4\pi \cdot r(e)^2 \cdot h_{\text{aire}}}$$

$r_{\text{esfera}}$ = variable

Pérdidas de calor por la esfera

$$q(r_{\text{esfera}}) = \frac{t_{\text{fluido}} - t_{\text{aire}}}{r_{\text{esfera}}} \quad 4.105$$

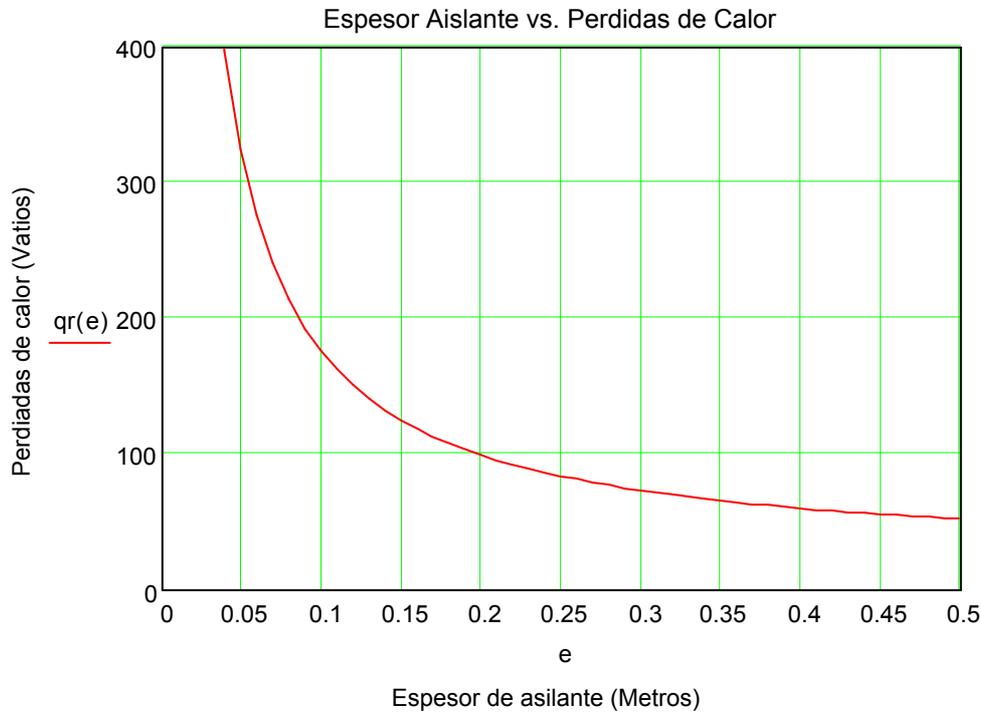
$Q(r_{\text{esfera}})$ = variable

Pérdidas de calor totales en función del espesor del aislante

$$qr(e) = q(r_{cuerpo}) + q(r_{esfera})$$

4.106

$qr(e)$  = variable



**Gráfico 4.5 Espesor vs. Pérdidas de Calor (Tanque)**

Cabe indicar que las propiedades tanto del fluido interno como del externo, corresponden a las condiciones promedio del medio ambiente y de funcionamiento del sistema de acuerdo a la ubicación del establecimiento.

Para la realización de éstos cálculos y del diseño, se ha tomado en cuenta los modelos matemáticos de transferencia de calor, que consideran tanto al flujo externo de un fluido, que en este caso es aire, así como al flujo interno que será agua caliente, y que circulan sobre una superficie cilíndrica, la cual está aislada, y por lo tanto su conducción de calor es baja.

También es importante señalar que el caudal másico del fluido interno (agua caliente), ha sido considerado con un valor alto promedio, debido a que la mayor parte del tiempo, el agua permanecerá en estado de reposo o con un flujo muy inferior al utilizado en los cálculos, en cuyo caso, la transferencia de

calor se reduciría. Por lo tanto, los cálculos son conservadores con respecto a la transferencia de calor.

La pérdida de calor que se puede apreciar, es bastante reducida en comparación a la energía que proporciona el sistema de colectores. En lo que corresponde a las pérdidas de calor en las partes superior e inferior del tanque, es decir en las cabezas, la transferencia de calor será mucho menor debido a que su superficie es pequeña en comparación al cuerpo del tanque, y el espesor de aislante que las cubrirá será el mismo.

De donde se ha decidido operar con un espesor de cinco centímetros de espesor como se observa en la gráfica 4.5, las pérdidas que se producirán son relativamente bajas llegando máximo a un 2 % de pérdidas de calor lo que significa que la temperatura llegaría a 58,65°C lo que todavía sería muy aceptable y no sería necesario incrementar el espesor del aislante sería una inversión innecesaria.

#### **4.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO**

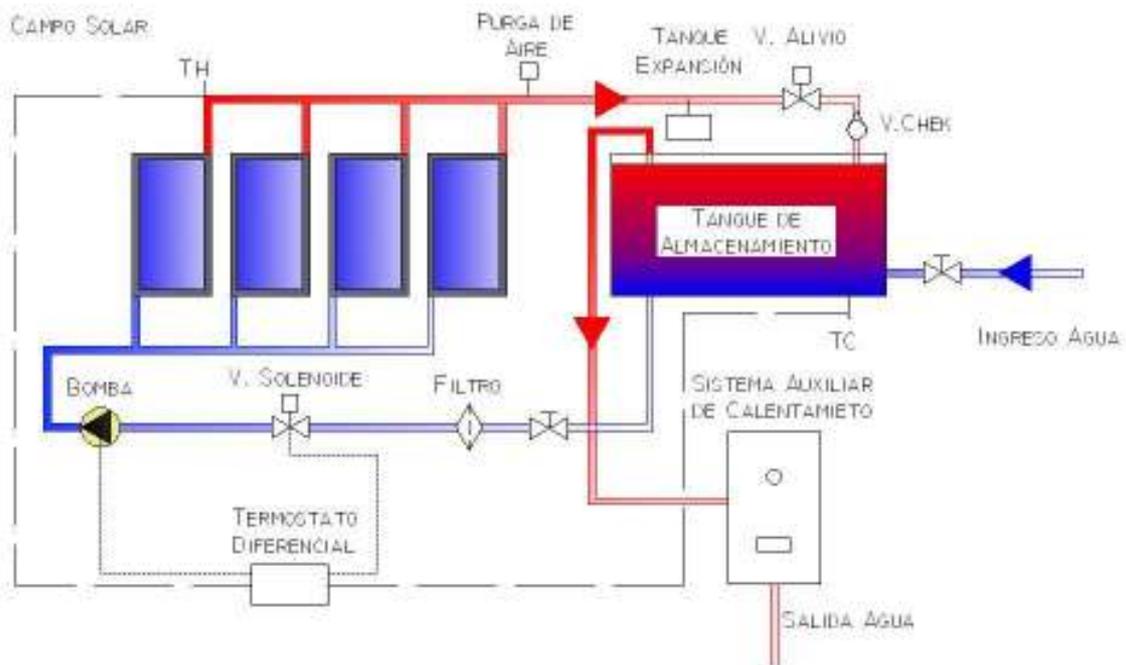
El correcto funcionamiento del sistema de ACS solar abierto depende de cómo interactúen todos sus componentes entre si, para esto es necesario implementar mecanismos o sistemas de control que regulen la actividad de cada uno de los elementos que lo conforman. En la actualidad los controles para sistemas solares son de fácil instalación y manipulación, económicamente accesibles y no necesitan de intervención humana constante para un adecuado funcionamiento.

El sistema de control utiliza dos sensores de temperatura o termocuplas, ubicadas en la parte superior del arreglo de los colectores y la otra en la parte más baja del tanque acumulador. La ubicación de las termocuplas no es arbitraria, sino, se debe a que en estos puntos la diferencia de temperaturas es mayor, en el punto superior del arreglo de colectores se tiene la temperatura de agua más caliente (TH), mientras que, en la parte más baja del tanque se tiene la temperatura de agua más fría (TC) debido al ingreso de agua de

suministro y por efecto de la estratificación que mantiene el agua de menor temperatura en la parte baja del tanque.

El sistema principal de control es un termostato diferencial que realiza un continuo chequeo de la diferencia de temperatura entre el tanque acumulador TC y el arreglo de colectores TH, ubicados como se muestra en la figura 4.11.

En caso de que la temperatura de los colectores sea mayor al valor prefijado de  $5^{\circ}\text{C}$  (hasta  $10^{\circ}\text{C}$ , ajuste aconsejado  $4^{\circ}\text{C} - 6^{\circ}\text{C}$ )<sup>30</sup> con respecto al tanque, el control diferencial da la orden de arranque a la bomba de circulación del sistema solar. A esta diferencia se le llama “temperatura diferencial de arranque”. La bomba dejara de funcionar cuando la temperatura del arreglo de colectores TH baje  $2^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 4.11 Sistema de control**

Además de los elementos antes mencionados el sistema necesita de otros elementos para el correcto funcionamiento. Entre los cuales están una válvula solenoide ubicada al ingreso de agua del sistema de colectores, y una válvula check a la salida del mismo. Estos dispositivos tienen la finalidad de controlar

<sup>30</sup> Salvador Escoda S.A., Manual Técnico Energía Solar Térmica, pág.29

las recirculaciones de manera precisa, mantener la dirección del agua en el sistema, evitando de esta manera retornos indeseados de fluido. En caso de no utilizar estos dispositivos el sistema puede convertirse en una bomba de calor al funcionar de manera inversa, es decir, cuando el agua caliente del tanque pasa por los colectores enviando el calor al ambiente, para los sistemas solares de circulación natural (termosifón) se utiliza una diferencia de altura entre el tanque de almacenamiento y los colectores para evitar este problema.

El funcionamiento de las válvulas es sencillo, cuando el control diferencial de temperatura da la orden a la bomba de entrar en funcionamiento al mismo tiempo la válvula solenoide recibe la señal y se abre; con lo que da comienzo a la circulación del fluido por el sistema. En el caso de la válvula check esta solo permite el flujo en una sola dirección, desde los colectores hacia el tanque acumulador.

Otro dispositivo importante para el funcionamiento del sistema es un filtro, el cual tiene la función de atrapar las impurezas del agua, ayudando de esta manera a proteger los elementos de la bomba, alargando su vida útil, también se evita taponamientos en el tanque de expansión, en la válvula solenoide y se evita incrustaciones en la tubería que podrían restarle eficiencia al sistema

Los dispositivos para proteger al sistema de las altas presiones son: un tanque de expansión, una válvula de alivio y una válvula de purga de aire.

El tanque de expansión de membrana es un elemento de los equipos generadores de calor presurizados. Sirven para absorber las dilataciones del fluido, es decir, en nuestro caso absorber las variaciones de presión y volumen del agua contenida en la instalación, al aumentar la temperatura de ésta.

Cuando el tanque de expansión no puede alojar todo el fluido dilatado se dispara la válvula de alivio la cual es un resorte calibrado a cierta presión que al ser sobrepasada deja salir el fluido al exterior, con lo cual se protege al sistema y sus juntas de posibles daños por sobre presión.

La válvula de purga de aire es un dispositivo que permite la salida del aire acumulado en el sistema.

A continuación se presenta un esquema del sistema de control automático:



**Figura 4.12 Esquema de control**

#### **4.6 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE DE LOS COLECTORES**

Para realizar el montaje del subsistema de colectores solares es necesario realizar la construcción de una estructura que permita ubicar a los captadores con la inclinación y orientación determinadas previamente, y además debe tomar en cuenta las condiciones de construcción y espacio disponibles para aprovechar al máximo la radiación solar. Una estructura para el soporte de colectores solares debe cumplir con las siguientes características:

- Resistencia mecánica alta.
- Robustez.
- Facilidad de montaje.
- Buena apariencia estética.
- Bajo costo.

El diseño de la estructura soporte consta de dos partes, la primera y más grande soporta a siete colectores para cada lado mientras que la segunda soporta al tanque de almacenamiento; sin embargo ambas partes están unidas y tienen elementos estructurales comunes que forman una sola estructura soporte.

El principal problema para crear el diseño consiste en la distribución correcta de la estructura considerando el espacio disponible y el área de colectores requerido así como las posibles sombras que cubren a los colectores en ciertas horas del día.

La inclinación predefinida de 15° de los colectores se logra con la colocación de un arco más elevado que otro, sin embargo, la inclinación no debe afectar a los otros colectores. Un elemento muy importante a tener en cuenta en el diseño de la estructura es el acceso hacia los colectores, por medio de un paso o pasillo para el mantenimiento o limpieza, el cuál también nos facilitará el montaje del sistema

El diseño se realiza basándose en estructura ya existentes en el laboratorio de energías no convencionales de la ESPE los cuales han demostrado cumplir con las características mencionadas anteriormente siendo este un diseño sencillo eficaz y estable.

La estructura para el tanque de almacenamiento debe ser igualmente calculada para soportar una carga estática de 1.500 kg que es el peso del agua más un margen por peso del tanque de almacenamiento.

Se debe realizar también una estructura que sostenga la tubería que transporta al líquido hacia los colectores y desde los colectores hacia el tanque, puesto que por su longitud y la temperatura estas tuberías sufren deflexiones por tanto deben ser soportadas por una estructura

El esquema tanto de la estructura para el colector como para el tanque se los puede observar en el anexo J.

## CAPÍTULO 5

### ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO

#### 5.1 ESTUDIO ECONÓMICO

##### 5.1.1 Determinación De Costos

Para la determinación de costos se ha procurado la búsqueda de materiales de calidad y bajos costos que nos permitan tener un flujo de caja adecuado y desarrollar nuestro proyecto de una manera más real.

Los costos se encuentran subdivididos en costos de materiales, mano de obra y otros costos como se detalla continuación.

##### 5.1.2 Materiales

El tipo y la cantidad de materiales esta determinada de acuerdo al diseño, en la siguiente tabla se indica la lista necesaria para la construcción de 14 colectores solares que conforman un campo solar, y el proyecto tiene previsto la necesidad de 8 campos solares para abastecer los requerimientos de agua caliente sanitaria de la residencia. La cantidad de materiales ha sido presupuestada para los 8 campos solares.

Tabla 5.1 Costos materiales de 112 colectores solares

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	V. UNIT	TOTAL
1	Tubería de cobre de 2" tipo L, L=6 metros	39	161,08	6.282,12
2	Tubería de cobre de 1" tipo L, L=6 metros	52	46,43	2.414,36
3	Tubería de cobre de 1/2" tipo L, L=6 m.	374	20,36	7.614,64
4	Codo de cobre de 2"	8	6,58	52,64
5	Codo de cobre de 1"	224	1,88	421,12
6	Suelda estaño 95/5 en libras	56	11,17	625,52

**Continuación Tabla 5.1**

<b>7</b>	Pomada para soldar	56	0,70	39,20
<b>8</b>	Vidrio flotado 2278x1010x4 mm	112	23,80	2.665,60
<b>9</b>	Tol negro 2440x1220x1,4	112	29,22	3.272,64
<b>10</b>	Tol negro 2440x1220x0,7	112	14,61	1.636,32
<b>11</b>	Plancha rígida de fibra de vidrio 117x48x2 pulgadas	112	40,75	4.564,00
<b>12</b>	Aislante con recubrimiento de aluminio (espesor 1"x91 cm. largo) para tubo de 2"	258	6,52	1.682,16
<b>13</b>	Aislante con recubrimiento de aluminio (espesor 1"x91 cm. largo) para tubo de 1"	79	4,70	371,30
<b>14</b>	Ángulos de 1 x1/8 plg.	208	5,39	1.121,12
<b>15</b>	Electrodo 6011 en kg	10	2,03	20,30
<b>16</b>	Tubo de silicón	56	1,80	100,80
<b>17</b>	Pintura negra de alta temperatura	224	2,15	481,60
			<b>Subtotal</b>	<b>33.365,44</b>
			<b>IVA:</b>	<b>4.003,85</b>
			<b>Total:</b>	<b>37.369,29</b>

**Tabla 5.2 Costos materiales de 8 tanques de almacenamiento**

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANT</b>	<b>V. UNIT</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1</b>	Plancha de acero inoxidable AISI 304 de 2440x1220x4,6mm	24	446,93	10.726,32
<b>2</b>	Plancha flexible de fibra de vidrio (espesor 1"x30metros largo)	2	84,00	168,00
<b>3</b>	Foil de aluminio por m <sup>2</sup>	42	2,25	94,50
<b>4</b>	Electrodo para acero inox en kg	8	13,39	107,12
<b>5</b>	Neplo acero inox. 1/2" NPT L = 12 cm.	40	3,00	120,00
<b>6</b>	Neplo acero inox. 1" NPT L = 12 cm.	16	2,00	32,00
<b>7</b>	Manómetro rango máx. 200 PSI	8	2,52	20,16

Continuación Tabla 5.2

8	Codo de 90° de acero inoxidable	8	2,00	16,00	
9	Unión universal acero inox. 1/2" NPT	40	2,00	80,00	
10	Unión universal acero inox. 1" NPT	40	6,00	240,00	
11	Tubería acero inox. 1/2" L = 60 cm.	8	8,00	64,00	
12	Vál. alivio presión 1/2" NPT. Pmax=150psi	8	20,30	162,40	
				<b>Subtotal</b>	<b>11.830,50</b>
				<b>IVA:</b>	<b>1.419,66</b>
				<b>Total:</b>	<b>13.250,16</b>

Tabla 5.3 Costos materiales sistema hidráulico y de control

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	V. UNIT	TOTAL	
1	Bomba para agua P = 2HP y Q = 142GPM	8	254,00	2.032,00	
2	Vál. Alivio presión P = 120 PSI	8	12,33	98,64	
3	Manómetro rango máx. 200psi.	8	2,52	20,16	
4	Filtro para agua de 2"	8	13,41	107,28	
5	Válvula check 2"	8	21,88	175,04	
6	Tanque de expansión de 12 lt.	8	25,00	200,00	
7	Válvula de compuerta d = 2"	8	13,29	106,32	
8	Válvula solenoide d = 2"	8	47,50	380,00	
9	Controlador diferencial de temperatura	8	358,00	2.864,00	
10	Termocuplas con vaina de protección d = 1/2" rango de operación 5-90 °C	24	8,99	215,76	
11	Cable para termocuplas rollo 50 metros	2	5,50	11,00	
12	Cable alimentación de controlador metros	50	0,25	12,50	
13	Caja metálica para instalar controlador	8	9,25	74,00	
				<b>Subtotal</b>	<b>6.296,70</b>
				<b>IVA:</b>	<b>755,60</b>
				<b>Total:</b>	<b>7.052,30</b>

### 5.1.3 Mano de Obra

Tabla 5.4 Costos de mano de obra

ITEM	DETALLES	VALOR
1	Construcción colectores	2.320,00
2	Construcción tanque almacenamiento	1.848,00
3	Instalación hidráulica	1.000,00
4	Instalación eléctrica	520,00
5	Construcción estructura soporte	240,00
	<b>Total:</b>	<b>5.928,00</b>

### 5.1.4 Otros Costos

Tabla 5.5 Otros costos

ITEM	DETALLES	VALOR
1	Diseño e Ingeniería	2.800,00
2	Útiles de oficina	500,00
3	Transporte	200,00
	<b>Total:</b>	<b>3.500,00</b>

## 5.2 ESTUDIO FINANCIERO

### 5.2.1 Cálculo de Parámetros Financieros

El sistema de calentamiento de agua solar no genera ingresos económicos, por lo tanto la viabilidad del mismo esta en función del ahorro de energía eléctrica al no utilizar los termostatos. Este ahorro no es el único beneficio, otro beneficio es la preservación de recursos naturales, además las instituciones que desarrollan alternativas renovables son vistas como entidades respetuosas del medio ambiente adquiriendo respeto y renombre.

Para determinar el ahorro de energía se a tomado en cuenta el funcionamiento de los termostatos instalados en la residencia, los cuales están temporizados a funcionar durante 8 horas desde las 4p.m. hasta las 00a.m. y al alcanzar la temperatura de 60°C se apagan; por lo que durante 6 horas al día consumen energía eléctrica, durante los fines de semana el consumo se reduce a la mitad, por lo que al mes los termostatos funcionan 156 horas. La potencia total

instalada de los termostatos es de 87KW, siendo el precio referencial a la fecha de 8 centavos de dólar por Kilovatio-hora.

**Tabla 5.6 Costos y consumo de Energía Eléctrica Mensual**

<b>DETALLE</b>	<b>VALOR</b>
Capacidad instalada	87KW
Demanda energética eléctrica	156 horas/mes
Tarifa energía eléctrica	0,08 Dólares/KW-Hora
Total mensual	1.085,76 Dólares
<b>Total Anual</b>	<b>13.029,12 Dólares</b>

El costo total del proyecto se resume a continuación en la siguiente tabla:

**Tabla 5.7 Costo total de implementación del sistema**

Materiales	57.671,76
Mano de Obra	9.428,00
<b>Total</b>	<b>67.099,76</b>

### **5.2.2 Flujo de Caja**

Para la realización del flujo de caja consideraremos que el sistema de respaldo funcionara con el 10% de la energía eléctrica que utilizan los termostatos instalados, además en valor incluiremos los valores de energía consumidos por las bombas de recirculaciones y el sistema de control de los campos solares.

En cuanto al mantenimiento este será realizado por el personal propio de la ESPE, el cual es principalmente la limpieza del vidrio de los colectores.

Para el diseño y flujo de caja se ha tomado en cuenta una vida útil del proyecto de al menos 20 años ya que se trata de una instalación física y no una maquinaria. Para la determinación de la depreciación del sistema se ha optado por la depreciación a lo largo de toda su vida útil.

El ingreso que corresponde al ahorro de energía eléctrica por 13,029.12 dólares anuales, a este valor se considera el aumento del 0,2% anual de la

tarifa eléctrica y un 4% que generaría este ahorro si se invierte en una cuenta bancaria. Se consideran gastos en operación y mantenimiento: USD 1.000 por año.

A continuación se presenta la tabla que determina el flujo de caja del proyecto.

**Tabla 5.8 Flujo de Caja**

Año	Ingresos (ahorro)	Costos de funcionamiento		Inversión	Depreciación	Flujo de Caja	Saldo Acum.
		Operación y Mant.	Energía Eléctrica				
0	0,00		0,00	67.099,76	0,00	-67.099,76	-67.099,76
1	13.039,12	1.000,00	1.304,00	0,00	3.354,99	10.735,12	-59.719,63
2	13.587,81	1.000,00	1.306,61	0,00	3.354,99	11.281,20	-51.793,42
3	14.159,58	1.000,00	1.309,22	0,00	3.354,99	11.850,36	-43.298,05
4	14.755,42	1.000,00	1.311,84	0,00	3.354,99	12.443,58	-34.209,46
5	15.376,32	1.000,00	1.314,46	0,00	3.354,99	13.061,86	-24.502,58
6	16.023,36	1.000,00	1.317,09	0,00	3.354,99	13.706,27	-14.151,31
7	16.697,62	1.000,00	1.319,73	0,00	3.354,99	14.377,90	-3.128,40
8	17.400,26	1.000,00	1.322,37	0,00	3.354,99	15.077,89	8.594,51
9	18.132,46	1.000,00	1.325,01	0,00	3.354,99	15.807,45	21.046,97
10	18.895,48	1.000,00	1.327,66	0,00	3.354,99	16.567,82	34.259,80
11	19.690,60	1.000,00	1.330,32	0,00	3.354,99	17.360,28	48.265,09
12	20.519,18	1.000,00	1.332,98	0,00	3.354,99	18.186,20	63.096,30
13	21.382,62	1.000,00	1.335,64	0,00	3.354,99	19.046,98	78.788,30
14	22.282,41	1.000,00	1.338,31	0,00	3.354,99	19.944,09	95.377,40
15	23.220,05	1.000,00	1.340,99	0,00	3.354,99	20.879,06	112.901,47
16	24.197,15	1.000,00	1.343,67	0,00	3.354,99	21.853,48	131.399,96
17	25.215,36	1.000,00	1.346,36	0,00	3.354,99	22.869,00	150.913,98
18	26.276,43	1.000,00	1.349,05	0,00	3.354,99	23.927,37	171.486,37
19	27.382,14	1.000,00	1.351,75	0,00	3.354,99	25.030,39	193.161,77
20	28.534,38	1.000,00	1.354,45	0,00	3.354,99	26.179,93	215.986,70

### 5.2.3 TIR Y VAN

Para calcular el VAN se utilizó la tasa de retorno de 16,73%, formada por la tasa activa máxima convencional del 10,73% más el riesgo país de 6%.

Tabla 5.9 Determinación de TIR y VAN

Tasa de retorno:	<b>16,73%</b>
------------------	---------------

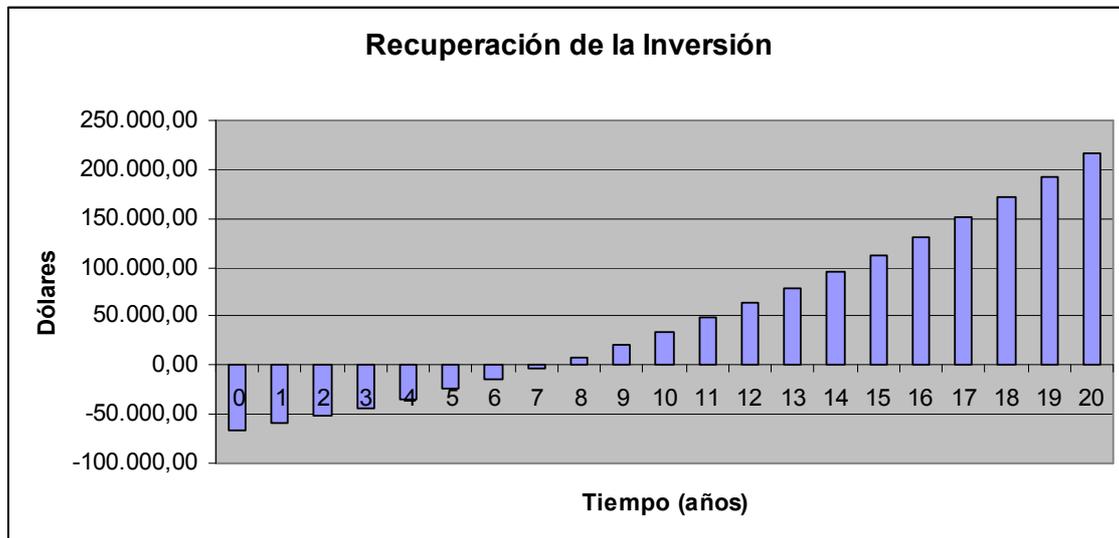
AÑO	INVERSIÓN	AHORRO	EGRESOS	FLUJO DE CAJA	VAN	
0	-67.099,76	0,00	67.099,76	-67.099,76	-67.099,76	
1	0,00	13.039,12	2.304,00	10.735,12	9.196,54	
2	0,00	13.587,81	2.306,61	11.281,20	8.279,24	
3	0,00	14.159,58	2.309,22	11.850,36	7.450,48	
4	0,00	14.755,42	2.311,84	12.443,58	6.702,17	
5	0,00	15.376,32	2.314,46	13.061,86	6.026,88	
6	0,00	16.023,36	2.317,09	13.706,27	5.417,82	
7	0,00	16.697,62	2.319,73	14.377,90	4.868,76	
8	0,00	17.400,26	2.322,37	15.077,89	4.374,02	
9	0,00	18.132,46	2.325,01	15.807,45	3.928,43	
10	0,00	18.895,48	2.327,66	16.567,82	3.527,28	
11	0,00	19.690,60	2.330,32	17.360,28	3.166,28	
12	0,00	20.519,18	2.332,98	18.186,20	2.841,53	
13	0,00	21.382,62	2.335,64	19.046,98	2.549,49	
14	0,00	22.282,41	2.338,31	19.944,09	2.286,96	
15	0,00	23.220,05	2.340,99	20.879,06	2.051,04	
16	0,00	24.197,15	2.343,67	21.853,48	1.839,08	
17	0,00	25.215,36	2.346,36	22.869,00	1.648,71	
18	0,00	26.276,43	2.349,05	23.927,37	1.477,78	
19	0,00	27.382,14	2.351,75	25.030,39	1.324,34	
20	0,00	28.534,38	2.354,45	26.179,93	1.186,64	
<b>SUMA =</b>		<b>396.767,74</b>	<b>113.681,27</b>	<b>TOTAL VAN =</b>	<b>13.043,72</b>	
					<b>TIR=</b>	<b>19,80%</b>

Como se puede observar el VAN es un valor positivo y el TIR supera el 10% lo que hace del proyecto una interesante idea de inversión.

### 5.2.4 Recuperación de la Inversión

La inversión para este proyecto es alta, pero se ve justificada con el gran ahorro de energía que se prevé a lo largo de la vida útil del sistema.

Gráfico 5.1 Recuperación de inversión.



Como se aprecia en la gráfica anterior se recupera el total de la inversión en el primer trimestre del octavo año, lo cual hace factible el proyecto si se considera la inversión a largo plazo.

$$\text{Beneficio/ Costo} = 3,49$$

Analizando el beneficio costo se obtiene que por cada dólar de inversión, retorna en forma de ahorro 3,49 dólares, además de los beneficios intangibles del proyecto como la reducción del consumo de energías no renovables se aprecia una gran factibilidad económica-financiera lo que hace muy atractiva la implementación del sistema solar de agua caliente sanitaria.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

- A. Se ha alcanzado el objetivo de estudiar la factibilidad técnica y económica de un sistema alternativo de calentamiento de agua sanitaria para la residencia de la Escuela Politécnica del Ejército que reduce considerablemente el consumo de energía eléctrica y utiliza fuentes renovables de energía.
  
- B. Los sistemas que se han analizado corresponden a calentamiento con termas eléctricas, utilizando gas, y con energía solar. Con estas tres alternativas se puede indicar que el uso de resistencias eléctricas resulta muy costoso ya que se utiliza una energía de alta calidad como la electricidad para producir una de baja calidad como el calor. En cuanto al gas, se afirma que cualquier cosa que se implemente pensando en la seguridad resulta muy poco y al ser un sitio de vivienda universitaria, lo que primero debemos pensar es en la seguridad de las personas. Por otra parte el gas es un recurso agotable.
  
- C. El calentamiento con colectores solares planos resulta muy adecuado en vista que cumple con las normativas de conversión de energía limpia y que no proviene de fuentes deficitarias como los son los combustibles fósiles. Además, en los últimos acuerdos que se han firmado para evitar el calentamiento global y lluvia ácida se propone reducir el uso de energía convencional y aplicar nuevas tecnologías que aprovechen las energías renovables como la solar térmica de media, baja y alta temperatura.
  
- D. Los termostatos actualmente instalados en la residencia de la Escuela Politécnica del Ejército son grandes consumidores de energía eléctrica que pueden ser sustituidos por un sistema de calentamiento solar de

- agua, logrando de esta manera reducir considerablemente los costos operativos.
- E. La energía renovable proveniente de la radiación solar ha demostrado ser una gran alternativa para suplir el uso de electricidad para el calentamiento del agua.
  - F. Para el aprovechamiento al máximo del sistema solar de calentamiento de agua, este debe ser controlado automáticamente y entrar en funcionamiento únicamente cuando la energía captada por el campo solar es suficiente para aumentar la temperatura del agua.
  - G. El consumo de agua caliente para el aseo personal es muy variable de acuerdo a la ubicación geográfica, costumbres y situación socio económica, de esta manera si no existe un estudio al respecto, el consumo de agua caliente queda condicionado al criterio del diseñador. En nuestro caso se uso un promedio de 50 litros diarios por persona.
  - H. La legionella es una bacteria que puede contaminar las instalaciones a través del agua potable. Se multiplica con relativa facilidad, en un intervalo de temperaturas de 30 a 45°C, y alcanza el óptimo alrededor de 37°C y a temperaturas superiores a 70°C muere. De esto se obtiene que la temperatura del agua en el tanque acumulador debe ser, como mínimo 55°C, siendo muy recomendable 60°C.
  - I. La temperatura del agua de distribución no podrá ser inferior a 50°C en el punto más alejado del circuito; esta temperatura es un compromiso entre la necesidad de ofrecer un nivel de temperatura aceptable para el usuario, para prevenir el riesgo de quemaduras, y la de conseguir la temperatura necesaria para reducir la multiplicación de la bacteria legionella.
  - J. El sistema solar de calentamiento de agua esta íntimamente relacionado con la radiación directa que cae sobre la superficie de la tierra, la cual

depende de la nubosidad y pluviosidad, por lo tanto, es de suma importancia disponer de un sistema de respaldo que sea capaz de satisfacer la totalidad de la demanda de ACS, logrando mantener el servicio sin importar las condiciones climáticas.

- K. La demanda energética para calentar los 9,4 metros cúbicos de agua utilizada en la residencia es de 15.713 KW-h la cual debe ser disminuida puesto que es un consumo elevado con un costo aproximado de \$1.000 dólares mensuales.
- L. La tubería y el tanque de almacenamiento al encontrarse a la intemperie experimentan pérdidas térmicas, por tal motivo y como resultado del diseño se obtuvo que un espesor de 5 centímetros de aislante es el ideal. Este aislante no debe ser de menor espesor, puesto que esto significaría que sigan existiendo pérdidas térmicas y en caso de que el aislante sea de un espesor mayor, esto se traduciría en pérdidas económicas ya que con espesores mayores al diseñado las pérdidas no disminuyen significativamente.
- M. Debido a las condiciones medio ambientales favorables de la ciudad de Sangolquí en donde se encuentra ubicada la residencias de la Escuela Politécnica del Ejército, no es necesario utilizar un sistema de circulación cerrado con intercambiador ya que este es necesario cuando las temperatura ambiente es menor a la temperatura de congelación del agua.
- N. El mantenimiento preventivo es de suma importancia para mantener la eficiencia del sistema en todas las circunstancias.
- O. Es necesaria una fuerte inversión con una recuperación a mediano plazo para implementar el sistema de calentamiento solar de circuito abierto, pero las ventajas económicas son considerables y es un sistema que utiliza energía renovable, totalmente limpia y respetuosa del medio ambiente.

- P. La inversión inicial de USD 67.099,76 puede ser recuperada en un plazo de 8 años
- Q. La rentabilidad del proyecto es del 19,8%, con un tiempo de vida de 20 años.
- R. La implementación de este tipo de proyectos, muy a pesar de la rentabilidad económica, tiene mayor trascendencia por su contribución a la reducción de la contaminación ambiental al usar energías limpias y renovables de tal manera que se pueda preservar el entorno natural en beneficio de las presentes y futuras generaciones.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- A. Se ha diseñado el sistema solar de agua caliente en función de una estadía en la residencia de 188 personas, se recomienda analizar la posible ampliación de la residencia antes de implementar este proyecto, para de esta manera reajustar los cálculos de consumo de agua y diseño, evitando de esta manera el montaje y desmontaje del sistema una vez instalado.
  
- B. Al ser este un estudio de factibilidad técnica económica existen algunas variables constructivas que no se pueden precisar, como por ejemplo la cantidad exacta de soldadura que se necesita para unir la tubería de cobre, de tal manera, que es de suma importancia construir, antes de implementar el proyecto, un colector solar para ajustar los cálculos de eficiencia, rendimiento y costos de construcción.
  
- C. Realizar un estudio de la situación climática de la zona se recomienda para la implementación de sistemas de energía solar, ya que estos datos son valiosos para obtener cálculos que se vean reflejados en la práctica y no sean aproximaciones con datos de lugares cercanos.
  
- D. La situación geográfica del Ecuador favorece la utilización de sistemas solares al encontrarse en la latitud cero, de tal manera que el ángulo de inclinación teórico de los colectores es cero grados, pero esto en la práctica trae el inconveniente de acumulación de polvo y suciedad sobre los colectores, lo que disminuye su eficiencia, de esta manera es importante aplicar una inclinación de doce a quince grados logrando así por efecto de la lluvia y el viento mantener la superficie del colector limpia.
  
- E. El cobre es un material costoso por su gran demanda en el mercado, para reducir el rubro por este concepto es posible utilizar tubería plástica para las secciones madres de ingreso y retorno, unida mediante acoples a la tubería de cobre en los paneles.

- F. Para mantener la eficiencia del sistema es necesario el mantenimiento preventivo, limpiando las cubiertas transparentes (vidrio) de los colectores solares, revisando que el aislante no este removido de las tuberías ni del tanque de almacenamiento, verificando el correcto sellado de todas las conexiones; de esta manera se alarga la vida útil del sistema.
  
- G. Es necesario que el agua en el tanque de almacenamiento se encuentre entre 55 y 60 grados centígrados para evitar la proliferación de la bacteria legionella.
  
- H. No se debe escatimar recursos en la construcción del tanque de almacenamiento ya que de la calidad de este depende que el proyecto tenga una vida útil de 20 años.
  
- I. Para la reducción de costos en la implementación de este proyecto se recomienda solicitar la colaboración de los estudiantes de Ingeniería Mecánica, en forma de pequeños proyectos destinados a la construcción e instalación de los campos solares.

## **ANEXOS**

## **ANEXO A: PLANOS DE LA RESIDENCIA**

## **ANEXO B: FORMATO DE ENCUESTA**

## ENCUESTA

Por favor conteste las preguntas lo más sinceramente posible, si es el caso llene con una X la opción más adecuada o en “otro” llene la zona punteada con letra clara. Gracias por colaborar.

1. ¿Qué días de la semana permanece en la residencia?:  
De Lunes a Viernes  De domingo a domingo  Otro:.....
2. ¿Está conforme con el servicio de agua caliente de la residencia? : SI  , NO
3. ¿Cuántas veces al día normalmente se ducha? :.....
4. ¿A qué hora normalmente se ducha? :.....
5. ¿Cuál es la temperatura del agua que usa cuando se baña?: Caliente  ,Tibia  , Fría
6. ¿Cuántos minutos se demora dentro de la ducha?:  
2min  , 3min  , 5min  , 7min  , 10min  , 15min  Otro:.....
7. ¿Sabe como se calienta el agua que usted usa en la residencia? :  
Calefones  , Termostato  , Solar  , Otro:.....
8. ¿Está consiente que en el mundo existe una deficiencia de energías convencionales (petróleo, gas natural, electricidad) y debemos racionalizar su uso y buscar energías alternativas como la energía: eólica, solar, geotérmica, biogás, etc. para resguardar los recursos del planeta?  
Si  , No  , No le interesa  .  
Comentarios:.....  
.....

## **ANEXO C: TABULACIÓN DATOS DE LA ENCUESTA**

## TABULACIÓN ENCUESTA

	Primera Pregunta			Segunda Pregunta		Tercera #Duchazos	Cuarta Hora
	Lun-Vier	Dom-Dom	Otro	Si	No		
1			1	1		1	17:00
2		1		1		1	8:00
3	1			1		1	Noche
4		1			1	depende	?
5		1		1		1	Noche
6		1		1		3	Noche
7	1			1		1	6:30
8	1			1		1	7:00
9	1			1		1	10:00
10	1			1		2	6:30/18:30
11		1		1		1	Noche
12	1			1		1	6:00
13	1			1		1	10 a 12
14		1			1	2	12pm/Noc
15	1			1		1	6:00
16	1			1		2	6:30/20:00
17	1			1		2	6:00/20:00
18	1			1		4a5	6 a 7am
19	1			1		1	17-18pm
20		1		1		3	6,16,21
21		1		1		1	6:00
22	1				1	2	5:30/13:00
23	1			1		1	6:00
24	1			1		1	6:30
25	1			1		1	14:15
26		1		1		2	6:00/22:00
27	1			1		1	6:00
28	1			1		1	6:00
29	1			1		1	6:00
30	1			1		1	6:00
31	1			1		2	5:30/16:00
32	1			1		1	16:00
33	1			1		1	Mañana
34		1		1		1	19:30
35	1			1		1	20:00
36	1			1		2	Mañ/Noch
37	1			1		1	Mañana
38			1	1		2	5:30/17:30
39	1			1		2	Mañ/12
40	1			1		2	6:00/22:00
41		1		1		2	6:00/22:00
42	1			1		1	6:00
43			1		1	2	10:00/23:00
44	1			1		2	6:00/21:00
45		1		1		2	Mañ/Noch
46		1		1		2	Mañ/Noch
47		1			1	1	Noche
Total	30	14	3	42	5		
%	64%	30%	6%	89%	11%		

### TABULACIÓN ENCUESTA (Continuación)

	Quinta Pregunta			Sexta Pregunta						
	Caliente	Tibia	Fría	2	3	5	7	10	15	Otro
1		1						1		
2	1					1				
3	1				1					
4		1			1					
5		1				1				
6	1								1	
7	1								1	
8		1								30
9		1							1	
10		1							1	
11	1								1	
12		1							1	
13	1							1		
14		1				1				
15		1				1				
16	1					1				
17	1									25
18		1						1		
19	1						1			
20		1								1
21		1					1			
22			1					1		
23		1				1				
24		1						1		
25			1					1		
26	1									30
27	1				1					
28	1						1			
29	1					1				
30		1				1				
31	1					1				
32	1						1			
33	1						1			
34	1								1	
35		1						1		
36		1						1		
37		1				1				
38		1					1			
39	1						1			
40	1					1				
41	1							1		
42	1						1			
43		1					1			
44		1					1			
45	1							1		
46		1					1			
47	1			1						
Total	23	22	2	1	3	11	11	10	7	4
%	48,9	46,8	4,3	2,1	6,4	23,4	23,4	21,3	14,9	8,5

### TABULACIÓN ENCUESTA (Continuación)

	Séptima Pregunta				Octava Pregunta		
	Calefón	Termostato	Sol	Otro	Si	No	No le interesa
1				Caldero	1		
2		1			1		
3				No		1	
4				Caldero	1		
5		1			1		
6	1				1		
7		1			1		
8	1				1		
9				No	1		
10				No	1		
11	1				1		
12	1				1		
13	1				1		
14		1			1		
15	1				1		
16		1			1		
17		1			1		
18	1				1		
19		1			1		
20		1			1		
21	1				1		
22		1			1		
23		1					1
24				No	1		
25	1				1		
26				No	1		
27	1				1		
28		1			1		
29		1			1		
30		1			1		
31	1				1		
32		1			1		
33		1			1		
34	1				1		
35		1			1		
36				No	1		
37		1			1		
38		1			1		
39	1				1		
40	1				1		
41		1			1		
42				No	1		
43				No	1		
44	1				1		
45	1				1		
46	1				1		
47	1				1		
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>45</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>%</b>	<b>38,3</b>	<b>40,4</b>	<b>0,0</b>	<b>21,3</b>	<b>95,7</b>	<b>2,1</b>	<b>2,1</b>

## **ANEXO D: RESULTADOS DE LA ENCUESTA**

## RESULTADOS DE LA ENCUESTA

De un total de 47 entrevistados se obtuvo:

	<b>Lun-Vier</b>	<b>Dom-Dom</b>	<b>Otro</b>
Primera Pregunta	64%	30%	6%

	<b>SI</b>	<b>NO</b>
Segunda Pregunta	89%	11%

Tercera Pregunta	<b>#Duchazos/día</b>		
	<b>uno:</b>	27	57%
	<b>dos:</b>	16	34%
	<b>tres ó más:</b>	4	9%

Cuarta Pregunta	<b># Personas</b>	
	<b>Hora</b>	
Mañana 05:00 a 09:59	31	48%
Medio día 10:00 a 14:59	7	11%
Tarde 15:00 a 18:59	7	11%
Noche 19:00 a 23:59	19	30%
<b>Total:</b>	<b>64</b>	<b>100%</b>

	<b>Caliente</b>	<b>Tibia</b>	<b>Fría</b>
Quinta Pregunta	49%	47%	4%

Sexta Pregunta Tiempo en la ducha	<b>minutos</b>	
	2	2%
	3	6%
	5	23%
	7	23%
	10	21%
	15	15%
	más de 15	9%
		100%

Séptima Pregunta	<b>Calf</b>	<b>Term</b>	<b>Sol</b>	<b>Otro</b>
	38%	40%	0%	21%

Octava Pregunta	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>n/i</b>
	96%	2%	2%

## **ANEXO E: COMENTARIOS OBTENIDOS EN LA ENCUESTA**

## COMENTARIOS DE LOS ENCUESTADOS

- Procurar buscar nuevos tipos de generación para el futuro.
- Ampliar la red no hay agua en algunas horas, planta regeneración agua.
- Fotoeléctricas.
- Proyectos de nuevas alternativas.
- Le parece interesante mejorar el servicio.
- Sería agradable otra alternativa.
- Comunicar a los usuarios cuando no exista servicio.
- La lavandería utiliza agua caliente y quita el agua caliente al resto.
- Piensa que sería excelente que se pueda usar estas alternativas para abaratar costos y cuidar el medio ambiente.
- Se debe racionalizar el uso de la energía.
- No tenemos una conciencia verdadera de como estamos destruyendo nuestro hogar. El mundo pide auxilio pero le estamos haciendo caso.
- Un sistema de energía fotovoltaica sería una excelente opción.
- Si, me preocupa lo concerniente a la última pregunta, pero es una cuestión de aseo y creo que para eso no se debe escatimar nada.
- Me gustaría conocer como funcionan esos tipos de energía.
- Suerte y espero que mejore.
- Que la lavandería tenga su propia fuente de agua por que hay problemas para calentar el agua para las duchas.

## **ANEXO F: ESQUEMA SISTEMA ACS**

## **ANEXO G: TUBERÍA ENTRE BOMBA Y COLECTORES**

## **ANEXO H: TUBERÍA ENTRE COLECTOR Y TANQUE**

## **ANEXO I: ESQUEMA COLECTOR SOLAR**

## **ANEXO J: ESQUEMA DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE**

## **ANEXO K: PROFORMAS**

## REFERENCIAS

### Bibliografía

1. CENGEL, Y y BOLES, M. Termodinámica. Traducido del inglés por Gabriel Nagore Cázares. 2da ed. México, McGraw Hill, v.866.
2. MOTT, R. Mecánica de Fluidos Aplicada. Traducido del inglés por Carlos Cordero. 4ta ed. México, Prentice Hall, 569 p.
3. DUFFIE, J y BECKMAN, W. solar Engineering of Thermal Processes. 2da ed. EEUU, Wiley-Interscience, 919 p.
4. INCROPERA, F y DE WITT, D. Fundamentos de Transferencia de Calor. Traducido del inglés por Ricardo Cruz. 4ta ed. México, Prentice Hall, 886p.
5. KREIDER, J y KREITH, F. solar Energy Handbook. 2da ed. México, McGraw Hill, 635 p.
6. PENN, C. y SOLEY, D. Calefacción y Suministro de Agua Caliente. 2da. ed. México, Ed. Continental, 312 p.
7. ALMANZA, RAFAEL, Ingeniería de la Energía Solar, El Colegio Nacional, México, 1994
8. Curso de Cálculo, Diseño, Montaje y Mantenimiento de Instalaciones de Energía Solar Térmica
9. COLMENAR, CASTRO, Energía Solar Térmica de Baja Temperatura, Progensa, Sevilla, 2000
10. BOURGES, BERNARD, European Simplified Methods for Active Solar System Design, Kluwer Academic Publishers, 1991
11. SEVILLA, ALONSO, Arquitectura Solar para Climas Cálidos, Geohabitat, 2000
12. LÓPEZ DE ASIAIN, JAIME, Vivienda Solar Bioclimática, Sevilla, 1996
13. LEMVIGH-MULLER, Energía Solar Térmica: Manual de Instalación, 2da ed. Era SOLAR, 2003, 130p.
14. HOLMAN, J.P., Transferencia de Calor, 8va ed. Madrid, McGraw Hill, 484p.
15. EUGENE F., MEGYESY, Manual de Recipientes a Presión: Diseño y Cálculo, Mexico, Limusa, 1989, 482p.
16. PERRY, ROBERT H., Manual del Ingeniero Químico, McGraw Hill, 2001.

## Direcciones de Internet

1. <http://es.wikipedia.org>, Enciclopedia libre, español, iniciada en el 2001.
2. <http://www.unavarra.es>, Universidad Pública de Navarra, español, Septiembre 2007.
3. <http://www.junkers.com/sp/sp/ek/index.html>, Empresa de Sistemas de Calefacción, español, 2007.
4. <http://editorial.cda.ulpgc.es>, Editorial de Construcción Arquitectónica, Español, Septiembre 2006.
5. <http://www.unizar.es>, Universidad de Zaragoza, español, 2007.
6. <http://www.energuia.com/es>, Guía de energía en línea, español, 2007.
7. <http://www.terra.org>, Fundación Terra, Ecología Práctica, español, 2007.
8. <http://www.climacity.com>, Accesorios para climatización, español, 2005-2007.
9. <http://www.claytonmexico.com.mx>, Equipos para generación de vapor y agua caliente, español, 2007.
10. <http://www.dimaco.com/espagnol/inicio.htm>, equipos Industriales, Español, 2007.
11. <http://www.calderasmaccio.com.ar/inicio.htm>, Fabricante de Calderas, español, 2007.
12. <http://www.elektrosol.net>, Estudio e Instalación de Energía Solar, español, 2007.
13. <http://www.caloryfrio.com/cyf/servlet/Home>, Portal de la industria de la climatización, Español, 2007.
14. <http://www.fisica.puc.cl>, Facultad de Física de la Pontificia Universidad Católica de Chile, español, 2007.
15. <http://soko.com.ar>, Apuntes de todo tipo, español, 2007.
16. <http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/menu.htm>, Biblioteca Digita, La Ciencia para Todos, español, 2007.
17. <http://www.mailxmail.com>, Open E-learning, Plataforma Social de Aprendizaje, español, 2007.
18. <http://www.salvadorescoda.com>, Suministros: Aire Acondicionado, Ventilación, Calefacción, Refrigeración y Aislamientos, español, 2007.