

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA.



**“ESTANDARIZACIÓN DE SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA CON
ENERGÍA SOLAR EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**

JIMÉNEZ ARIAS HERNÁN SANTIAGO.

PORTALANZA MOLINA NARCISA DE JESÚS.

TESIS DE GRADO.

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO.

Riobamba – Ecuador.

2009

**“ESTANDARIZACIÓN DE SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA CON
ENERGÍA SOLAR EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**

POR:

JIMÉNEZ ARIAS HERNÁN SANTIAGO.

PORTALANZA MOLINA NARCISA DE JESÚS.

Estudiantes de la Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica.

(ESPOCH)

TESIS.

**Entregada como parcial complementación de los requerimientos para la
obtención del grado de Ingeniero Mecánico en la Escuela Superior Politécnica
de Chimborazo.**

Riobamba – Ecuador.

2009

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Marzo, 30 del 2009

Yo recomiendo que la tesis preparada por:

JIMÉNEZ ARIAS HERNÁN SANTIAGO.

Titulada:

**“ESTANDARIZACIÓN DE SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA CON
ENERGÍA SOLAR EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el grado de:

INGENIERO MECÁNICO

f) ING. GEOVANNY NOVILLO A.

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

f) ING. RODOLFO SANTILLÁN H.

f) ING. PACIFICO RIOFRIO R.

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JIMÉNEZ ARIAS HERNÁN SANTIAGO.

TÍTULO DE LA TESIS:

**“ESTANDARIZACIÓN DE SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA CON
ENERGÍA SOLAR EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**

Fecha de Examinación: Marzo 30 del 2009.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. GEOVANNY NOVILLO A.			
ING. RODOLFO SANTILLAN H.			
ING. PACIFICO RIOFRIO R.			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES:

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Marzo, 30 del 2009

Yo recomiendo que la tesis preparada por:

PORTALANZA MOLINA NARCISA DE JESÚS

Titulada:

**“ESTANDARIZACIÓN DE SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA CON
ENERGÍA SOLAR EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el grado de:

INGENIERO MECÁNICO

f) ING. GEOVANNY NOVILLO A.

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

f) ING. RODOLFO SANTILLÁN H.

f) ING. PACIFICO RIOFRIO R.

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: PORTALANZA MOLINA NARCISA DE JESÚS.

TÍTULO DE LA TESIS:

**“ESTANDARIZACIÓN DE SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA CON
ENERGÍA SOLAR EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**

Fecha de Examinación: Marzo 30 del 2009.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. GEOVANNY NOVILLO A.			
ING. RODOLFO SANTILLAN H.			
ING. PACIFICO RIOFRIO R.			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES:

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) Hernán Santiago Jiménez Arias.

f) Narcisa de Jesús Portalanza Molina.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Todo Poderoso, a la ESPOCH, a la Escuela de Ingeniería Mecánica, a mis profesores, a mi director de tesis Ing. Rodolfo Santillán, a mi asesor de tesis Ing. Pacífico Riofrío, a mis familiares y compañeros.

Santiago

Agradezco a Dios, a mí querida escuela de Ing. Mecánica, a la ESPOCH y cada una de las personas que con su apoyo me ha sido posible cumplir con una de las metas más importantes de mi vida.

A mis profesores que me han brindado su amistad, a los ingenieros que hicieron posible este trabajo y a mi hermano Juan por su apoyo incondicional.

Narcisa

DEDICATORIA

A mis padres: Hugo e Inés, que gracias a su sacrificio y abnegación, me han apoyado incondicionalmente para culminar mi carrera universitaria pese a todas las adversidades. A mis hermanas Carolina y María Elena que han sido un apoyo fundamental.

A mis amigos y amigas.

A todas las personas que de una u otra manera supieron apoyarme en esta etapa, difícil pero muy apasionante y hermosa.

Santiago

Dedico el presente trabajo a mis hermanos: Armando, Juan, a mi hermana Juanita y a la persona que ha sido un apoyo incondicional en mi vida Mrs.

A mis amigos y amigas, que han estado presentes en todas las etapas de mi carrera estudiantil.

Narcisa

CONTENIDO

CAPITULO I: GENERALIDADES, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación técnico, económica, ambiental.....	5
1.3. Objetivos.....	7
1.3.1. General.....	7
1.3.2. Específicos.....	7

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO DEL PROYECTO

2.1. Generalidades.....	9
2.2. La energía solar en Ecuador y el mundo.....	11
2.3. Sistemas de energía solar para calentamiento de agua de uso doméstico.....	13
2.3.1. Colector de placa plana esmaltada.....	13
2.3.2. Sistema Termosifón.....	14
2.3.3. Sistemas colector - tanque integrados.....	15
2.3.4. Colectores solares con tubo evacuado.....	16
2.4. Sistemas de calentamiento de agua convencionales.....	17
2.4.1. Calentadores de punto.....	17
2.4.2. Calentadores de paso.....	19
2.4.3. Calentadores de acumulación.....	20
2.4.4. Calderas.....	22
2.5. Ventajas y desventajas de la energía solar.....	24

2.5.1. Ventajas.....	24
2.5.2. Desventajas.....	24

CAPITULO III: DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA ENERGÉTICO

3.1. Variables de dimensionamiento del proyecto.....	25
3.1.1. Recurso energético disponible.....	25
3.2. Recurso solar disponible en Riobamba.....	28
3.2.1. Variables físicas: temperatura, humedad relativa, viento.....	30
3.2.2. Cálculo del potencial solar.....	34
3.3. Demanda energética de Riobamba para calentamiento de agua de uso doméstico.....	34
3.4. Estudio del mercado potencial.....	36
3.4.1. Sectorización de la ciudad.....	36
3.4.2. Trabajo de campo para determinación de la demanda energética.....	38
3.5. Dimensionamiento del proyecto.....	52
3.6. Sistema de calentamiento de agua para uso doméstico en la ciudad.	53

CAPITULO IV: MODELACIÓN MATEMÁTICA Y ESTANDARIZACIÓN DE SISTEMAS SOLARES

4.1. Parámetros de diseño del sistema.....	56
4.2. Modelo matemático del sistema de calentamiento de agua.....	57
4.3. Indicadores técnicos: calor total, calor útil, pérdidas energía, eficiencia.....	73

4.4.	Estandarización de sistemas solares: potencial solar – N° usuarios - área de captación.....	76
4.5.	Esquemas del sistema de calentamiento de agua.....	79
4.6.	Instalación del sistema.....	83
4.7.	Pruebas y funcionamiento del sistema.....	86

CAPITULO V: ESTUDIO DE COSTOS Y RENTABILIDAD

5.1.	Generalidades.....	91
5.2.	Costos directos.....	92
5.3.	Costos indirectos.....	93
5.4.	Costos totales del proyecto.....	94
5.5.	Valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR).....	94
5.6.	Rentabilidad del proyecto.....	97
5.7.	Financiamiento.....	97

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.	Conclusiones.....	99
6.2.	Recomendaciones.....	103

ANEXOS

BIBLIOGRAFIA

INDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 3.1: Heliofanía promedio de Riobamba.....	30
Tabla 3.2: Temperatura ambiente de Riobamba.....	32
Tabla 3.3: Humedad promedio de Riobamba.....	33
Tabla 3.4: Velocidad del viento en Riobamba.....	33
Tabla 3.5: Consumo energético en Riobamba.....	35
Tabla 4.1: Datos de la modelación matemática.....	71
Tabla 4.2: Resultados del modelo matemático.....	72
Tabla 4.3: Estandarización.....	77
Tabla 4.4: Calentamiento del agua – tiempo (alta insolación).....	87
Tabla 4.5: Calentamiento del agua – tiempo (media insolación).....	88
Tabla 4.6: Calentamiento del agua – tiempo (baja insolación).....	89
Tabla 5.1: Costos Materiales Adquiridos.....	92
Tabla 5.2: Costos Mano de Obra.....	92
Tabla 5.3: Costos Máquinas Herramientas.....	92
Tabla 5.4: Costos Transporte.....	93
Tabla 5.5: Costos Ingenieril.....	93

INDICE DE FIGURAS

Pág.

Fig. 2.1: Colector solar de placa plana esmaltada.....	12
Fig. 2.2: Colector solar de placa termosifón.....	13
Fig. 2.3: Sistema termosifón colector - tanque integrado.....	16
Fig. 2.4: Sistema solar con tubo evacuado.....	17
Fig. 2.5: Sistema convencional de punto.....	18
Fig. 2.6: Sistema convencional de paso.....	20
Fig. 2.7: Sistema convencional de acumulación.....	22
Fig. 2.8: Calderas.....	23
Fig. 3.1: Heliógrafo.....	29
Fig. 3.2: Termómetros ambiental y termo higrómetro.....	31
Fig. 3.3: Anemómetro o medidor de viento.....	32
Fig. 3.4: Colector placa para calentamiento de agua.....	55
Fig. 4.1: Red térmica equivalente.....	60
Fig. 4.2: Balance térmico del sistema.....	65
Fig. 4.3: Aleta rectangular.....	66
Fig. 4.4: Eficiencia – gradiente temperatura.....	73
Fig. 4.5: Estandarización de colectores solares.....	78
Fig. 4.6: Panel absorbedor.....	79
Fig. 4.7: Tanque reservorio aislado.....	80
Fig. 4.8: Tuberías de ingreso de agua fría.....	81
Fig. 4.9: Tuberías de salida de agua caliente.....	82
Fig. 4.10: Sistema instalado y funcionando.....	85
Fig. 4.11: Calentamiento del agua – tiempo (alta insolación).....	87
Fig. 4.12: Calentamiento del agua – tiempo (mediana insolación).....	88

Fig. 4.13: Calentamiento del agua – tiempo (baja insolación).....	89
Fig. 5.1: Tasa interna de retorno (TIR).....	95
Fig. 5.2: Análisis del punto de equilibrio.....	96

ANEXOS:

Anexo 1: Plano de Riobamba

Anexo 2: Encuesta

Anexo 3: Absorbencia de la placa

Anexo 4: Transmisión de la cubierta

Anexo 5: Conductividad del aislamiento y aleta

Anexo 6: Tasas de interés para financiamiento

Anexo 7: Estandarización programa Visual Basic

SUMARIO

El trabajo investigativo sobre Estandarización de Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar en la Ciudad de Riobamba consta secuencialmente de: Justificación técnica, social, económica, ambiental del proyecto y objetivización del mismo. Tiene un sustento teórico que permite conocer las ventajas y desventajas de sistemas de calentamiento de agua de uso doméstico.

Se procedió a efectuar el análisis de las variables de dimensionamiento de sistemas energéticos, esto es: demanda energética y recurso disponible, que al compatibilizarlos permitieron determinar teóricamente el área del panel solar a utilizar.

Se efectuó un trabajo de campo para determinar en Riobamba, la factibilidad de implementación de sistemas solares para calentamiento de agua para uso doméstico en base de encuestas a los potenciales usuarios quienes manifestaron en un 74% la aceptación de la implementación del sistema energético alternativo.

El método utilizado fue una modelación matemática que considera factores mecánicos, térmicos e hidráulicos se determina la eficiencia del sistema de calentamiento de agua con energía solar, obteniendo un 58% de eficiencia del equipo, valor considerado muy bueno y que permitieron posteriormente una estandarización de sistemas solares para calentamiento de agua de uso doméstico en un amplio rango de utilización.

La estandarización consistió en determinar el área de los paneles solares para calentamiento de agua de uso doméstico en función de dos variables: número de usuarios y radiación solar disponible, esta estandarización cubrió un rango de 1 a 20 usuarios y radiación incidente entre 200 y 1000 W/m².

Los materiales utilizados en la investigación correspondieron al equipo estandarizado para una familia típica en Riobamba de 5 personas, con uso de 250 litros de agua temperada al día y temperatura de 40 °C es de 2 m² y tiene un costo total de 1,001 dólares, fácilmente amortizables en un lapso de aproximadamente 3 años.

Se concluye y recomienda el uso de este tipo de energía renovable (solar) como una alternativa energética económica y ecológica.

SUMMARY

The research work about Standardization Water Heating Systems with Solar Energy on Riobamba city use sequentially consists of: Technical, social, economic, environmental justification of the project and objectification.

The project has a theoretic support that allows you to know the advantages and disadvantages of water heating systems for domestic use.

It was proceed to effect the analysis of the variables of size of energy systems, this is: energetic demand and available resource, which allows compatibly them to determine the area of solar panel.

It was take in effect a field work to determine on Riobamba city the feasibility of implementation of solar systems for water heating for domestic based on surveys of potential users who demonstrate a 74% acceptance of the implementation of alternative energy system.

Through a mathematical model that consider mechanical facts , thermic and hydraulic that determines the efficiency of heating water with solar energy, achieving a 58% efficiency of the equipment, the considered value is very good and later permit a standardization of solar systems for heating water in a wide range of use.

The standardization was consist in to determine the area of solar panels to heat water for domestic use in function of two variables: number of users and available solar radiation, this standardization covers a range from 1 to 20 users and incident radiation between 200 and 1000 W / m².

The standardized equipment for a typical family of 5 persons in Riobamba, using 250 liters of tempered water to the day and temperature of 40 °C is 2 m² and has a total cost of \$ 1001, easily redeemable at a period of approximately 3 years.

It is concluded and recommended the use of alternate energy (solar) as an economical and ecological alternative.

CAPITULO I

1. GENERALIDADES, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

1.1. ANTECEDENTES

La energía es el eje donde gira el desarrollo técnico de la civilización, es por esta razón que desde los primeros tiempos el hombre se propuso ocupar variadas formas de energías para satisfacer sus necesidades elementales.

Entre las principales fuentes energéticas utilizadas, se tienen las energías naturales, conocidas también como renovables, alternativas, no perecibles o de flujo y entre estas se anotan: la solar, eólica, hidráulica, biomasas, entre otras, que sirvieron a la humanidad en sus necesidades energéticas. Estas fuentes de energía se siguen utilizando como alternativas de solución ante la carencia y elevados costos particularmente del petróleo y sus derivados.

El sol se ha constituido en todas las épocas una fuente energética natural irremplazable para la humanidad porque gracias a su abundante y gratuito potencial energético, se puede tener aplicaciones variadas como: calentamiento de agua de uso doméstico, generación de vapor, secado de productos, ambientación, climatización, obtención de hidrógeno, obtención de temperaturas elevadas, etc., que son aplicaciones que a diario se utilizan tanto en los sectores domésticos como industriales.

Se anota que las aplicaciones energéticas del sol se remontan a principios de la humanidad y en la actualidad han cobrado gran importancia, por las siguientes características: (11)

- Es una energía abundante
- Gratuita
- Descentralizante
- Fuente energética limpia y ecológica
- Tecnología accesible al medio
- Costos de generación amortizables
- Energía renovable

Razones que han permitido a diversos países del mundo, de la Región, a diversificar e incrementar su utilización energética convencional con esta importante fuente natural proveniente del sol.

En el Ecuador desde los años 80's, diferentes instituciones públicas como privadas han efectuado estudios y esfuerzos significativos para el aprovechamiento de la energía del sol, entre estas instituciones se debe mencionar:

- La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).
- El ex Instituto Nacional de Energía (INE), actualmente la División de Energías Renovables del Ministerio de Energía del Ecuador.

- Universidades y Politécnicas del Ecuador, particularmente la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) y su Facultad de Mecánica y el ex Centro de Investigación de Energías Alternativas (CIEA).
- La Fundación Ecuatoriana de Tecnologías Alternativas (FEDETA).
- Investigadores particulares.

Que han efectuado trabajo de prospección del recurso solar, diseño de equipos y prototipos experimentales y productivos, que han insertado al Ecuador en el campo de la transformación de energía solar y se ha determinado la factibilidad técnica de proceder a desarrollar a pequeña y mediana escala la transformación energética del sol, particularmente en el calentamiento de agua de uso doméstico.

Entre otros trabajos que la ESPOCH ha efectuado en el aprovechamiento de la energía solar se anotan:

- Diseño y experimentación de prototipos de calentadores de agua con energía solar de uso doméstico.
- Diseño, construcción y pruebas de sistemas de calentamiento de agua en diferentes lugares, comunidades.
- Diseño, construcción y funcionamiento de calentadores de aire con energía solar (secadores de alfalfa, gallinaza, cereales, ropa, otros).
- Diseño de sistemas de climatización y ambientación para uso automotriz, vegetal, animal.

- Montaje y operación de sistema de calentamiento de agua para uso en biodigestores.

Que sitúan a la ESPOCH y su Facultad de Mecánica en la vanguardia a nivel nacional en la ejecución de trabajos energéticos en base a energía solar.

Se pretende con el presente trabajo efectuar un estudio para estandarizar los sistemas de calentamiento de agua con energía solar y buscar la factibilidad de implementar masivamente en la ciudad de Riobamba, este tipo de sistemas térmicos, que estén al alcance de toda la comunidad riobambeña, y que permita cambiar a mediano plazo, el uso actual de combustibles fósiles (G.L.P.), así como la electricidad en el calentamiento de agua para uso sanitario como una alternativa energética económica, ecológica y popular.

1.2. JUSTIFICACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA Y AMBIENTAL

El proyecto que se plantea relacionado al aprovechamiento de la energía solar se justifica desde los siguientes puntos de vista:

El Ecuador para satisfacer su demanda energética utilizada en los diferentes sectores, sustenta su generación, mediante la transformación de la energía cinética y potencial del recurso hídrico (hidráulica) y la combustión de petróleo y sus derivados (térmica), en función de las diferentes plantas de

transformación de energía instaladas, el componente energético proveniente del sol es nulo y no consta en el inventario energético nacional.

La utilización de la energía para fines sanitarios en el sector urbano y rural de la Ciudad de Riobamba, Provincia y País en general se circunscriben a la utilización de fuentes tradicionales de energía que generalmente proviene de la combustión de derivados del petróleo (térmica) u obtención de energía hidroeléctrica, que generalmente proporcionan luego de varias etapas de transformación fluido eléctrico que es indiscriminadamente utilizado como fuente final de energía, para la obtención de agua caliente para consumo sanitario.

Es menester recordar, que la transformación de energía primaria (petróleo y derivados) en energía útil (electricidad) conlleva una eficiencia térmica de alrededor de 30%, y la energía hidroeléctrica en un 80%, la eficiencia de transformación de energía primaria (sol) en energía útil (agua caliente) está en el orden de 30-70%, con la característica de que la energía primaria (sol) es completamente gratuita y abundante, así como inagotable, no así el precio del petróleo que en los actuales días bordea los 50 dólares el barril. (6)

Es conocido el alto índice de contaminación que acarrea consigo la transformación de la energía proveniente del petróleo e hidráulica, por la alta generación de gases contaminantes en el primer caso, de sedimentación y escases de agua en el segundo, mientras que con la utilización del recurso

solar en el calentamiento del agua para uso sanitario, no conlleva contaminación de ninguna naturaleza.

Los costos de transformación de energía solar en uso térmico, es fácilmente amortizable en el tiempo, como se demostrará a lo largo de este estudio.

Por estas consideraciones técnicas, sociales, económicas, ambientales, se justifica plenamente la realización del proyecto de estandarización de sistemas de calentamiento de agua con energía solar y la implementación masiva del uso de calentadores solares de agua para uso doméstico en la Ciudad de Riobamba, proyecto que pretende constituirse en un estudio demostrativo de las bondades técnicas, económicas, sociales, ecológicas del uso de la energía solar como alternativa válida para la ciudad y modelo para el Ecuador.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. General

Estandarizar los sistemas solares de calentamiento de agua con fines domésticos en la Ciudad de Riobamba como alternativa energética.

1.3.2. Específicos

- Estudiar las generalidades para implementación del sistema energético alternativo.
- Determinar la demanda energética para calentamiento del agua de uso doméstico en la Ciudad de Riobamba.
- Calcular el potencial energético del sol en la ciudad de Riobamba.
- Proyectar y dimensionar el sistema de calentamiento de agua con energía solar modelo.
- Estandarizar los equipos de calentamiento de agua con energía solar para el proyecto en función de las variables: radiación solar, número de usuarios y dimensión de los equipos (área de colectores).
- Efectuar el análisis de costos y rentabilidad del sistema y del proyecto.
- Efectuar el rediseño y pruebas de funcionamiento de un sistema de calentamiento de agua con energía solar modelo.
- Entregar a la Facultad de Mecánica un sistema de calentamiento de energía solar tipo, para prácticas estudiantiles.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO DEL PROYECTO

2.1. GENERALIDADES

La fuente de energía por excelencia en la tierra es la proveniente del sol, a excepción de las energías geotérmica y nuclear el resto de las fuentes energéticas empleadas por el ser humano tienen un origen solar. Por ejemplo, los combustibles fósiles son el resultado de la energía de origen solar acumulada en determinados seres vivos que al pasar el tiempo (millones de años) reaccionan químicamente formando petróleo, gas o carbón. En la energía eólica, el viento es el resultado de la diferencia de presión de dos masas de aire calentadas de manera diferente por la energía solar.

La radiación solar incidente en la tierra puede aprovecharse, por su capacidad para calentar o directamente, a través del aprovechamiento de la radiación en dispositivos ópticos o de otro tipo. Es un tipo de energía renovable limpia, lo que se conoce como energía verde.

La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud geográfica. Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación el valor es de

aproximadamente 1000 W/m^2 en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiancia, densidad de potencia. (8)

La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas las direcciones.

La potencia generada por el sol es unos doscientos billones de veces más grande que la generada por todas las plantas industriales del mundo trabajando a la vez. En un segundo, el sol irradia mucha más energía que la consumida por la humanidad en toda su existencia. Sólo una pequeña parte de la energía irradiada por el sol llega a la superficie terrestre. Sin embargo, ésta supone al año unas diez mil veces la demanda energética de toda la población mundial en el mismo periodo, o lo que es lo mismo, en una hora la tierra recibe más energía de sol de la que toda la humanidad necesita en todo un año.

2.2. LA ENERGÍA SOLAR EN ECUADOR Y EL MUNDO

A todo nivel geográfico tanto en países desarrollados como en los en vías de desarrollo, se utilizan fuentes alternas de energía y particularmente aplicaciones de la energía solar.

Desde la época de los años 70's, en diferentes latitudes del mundo se empezó a diversificar el uso de la energía solar dentro del contexto energético mundial, es así como países del primer mundo (EE.UU, Alemania, Francia, Canadá, Rusia, China, Italia, otros) prestan gran atención al uso de la energía solar con fines térmicos y fotovoltaicos e introducen importantes porcentajes de generación energética mediante esta fuente.

Igualmente en países subdesarrollados y entre estos Ecuador también se hacen esfuerzos por investigar, adaptar y desarrollar fuentes alternativas de energía, particularmente en el calentamiento de agua de uso doméstico, mediante esfuerzos aislados de profesionales, centros de investigación y desarrollo de energía renovables, las Escuelas Politécnicas y Universidades del País, desarrollan estudios variados relacionados con:

- Determinación del potencial solar en diferentes latitudes.
- Diseño de prototipos de colectores solares para calentamiento de agua de uso doméstico.
- Diseño y construcción de equipos solares.
- Funcionamiento de colectores solares planos para calentamiento de agua.

- Estudio sobre materiales para colectores solares planos.
- Instalaciones domésticas a baja escala.
- Comercialización de equipos de calentamiento de agua.
- Escalamiento de equipos solares.

Las Instituciones que han efectuado trabajos importantes en este aspecto son:

- Escuelas Politécnicas (EPN, ESPOL, ESPOCH, ESPE).
- Centros de Investigación y Desarrollo de Tecnologías: Ex INE (Instituto Nacional de Energía), Ex CIEA (Centro de Investigación de Energía alternativa).
- Federación Ecuatoriana de Tecnología Apropriada (FEDETA).
- Empresas privadas (SOLARTEC, Instalcobre).
- Otros.

Instituciones y Empresas que han desarrollado modelos, prototipos y equipos de calentamiento de agua con energía solar, de variada condición tecnológica, costos y eficiencias, que han sido introducidos al medio con muchos inconvenientes, particularmente por la idiosincrasia de la gente, que procura servicios inmediatistas como el uso del agua caliente mediante electricidad y G.L.P., que es aparentemente más barato y de uso inmediato, no así la energía solar por su costo alto en la instalación, factores que serán analizados en capítulos posteriores.

2.3. SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR PARA CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO DOMÉSTICO

Existen diferentes tipos de colectores solares para calentamiento de agua de uso doméstico, entre los que se anotan: (9)

2.3.1. Colector de placa plana esmaltada

El colector esmaltado es una caja resistente al clima que contiene una placa absorbente debajo de una o mas capas de plástico (polímero) o vidrio. Colectores de placas sin esmalte típicamente utilizados para calentar piscinas, tienen una placa absorbente oscura construida de metal o polímero, sin capas o cajas.

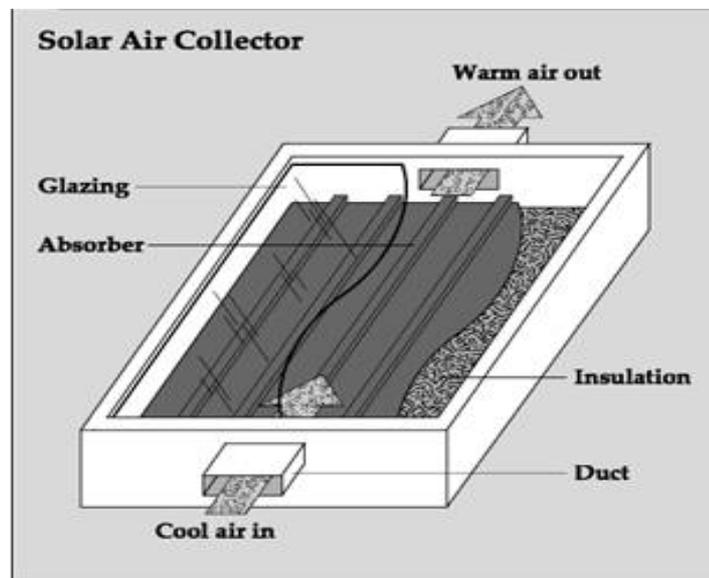


Fig. 2.1: Colector solar de placa plana esmaltada

2.3.2. Sistema termosifón

El agua fluye a través del sistema cuando el agua caliente sube a medida que agua mas helada se sumerge. El colector debe ser instalado abajo del tanque de agua de tal forma que el agua caliente ascenderá dentro del tanque que esta ubicado en la parte superior del colector. Estos sistemas son confiables, pero el instalador debe fijarse en el diseño del techo por el alto peso del tanque de agua. Debido a que el tanque es instalado en el techo, estos sistemas son menos atractivos y típicamente pesan 800 libras (363 Kg) cuando están llenos de agua. Estos son también, generalmente mas caros que los sistemas integrados con tanque pasivo. (9)



Fig. 2.2: Colector solar de placa plana termosifón

2.3.3. Sistemas colector - tanque integrados

Estos también son conocidos por las iniciales de su nombre en Inglés Integral Collector-Storage (ICS). Estos tienen uno o más tanques negros o tubos en una caja esmaltada. Agua helada pasa primero por el colector solar, el cual pre-calienta el agua. El agua luego continua hacia el calentador convencional de respaldo. Estos pueden ser instalados solamente en lugares con climas de poco congelamiento porque la tubería exterior puede congelarse en climas más fríos. Como el tanque de agua se instala en el techo, estos pesan más de 800 libras (363 Kg.) llenos de agua. (9)

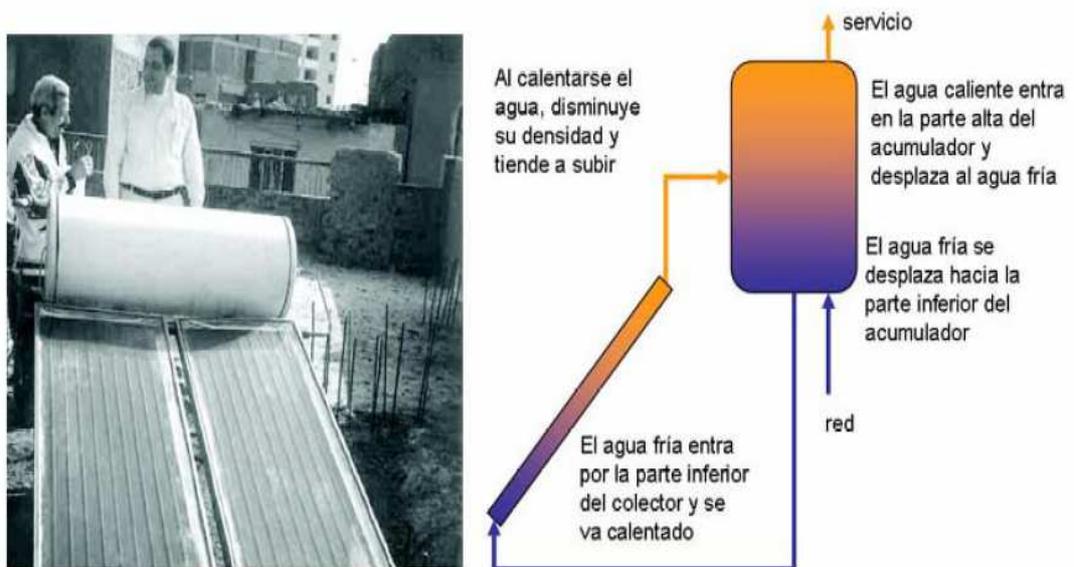


Fig. 2.3: Sistema termosifón colector-tanque integrado

2.3.4. Colectores solares con tubo evacuado

Estos tienen filas paralelas de tubos transparentes de vidrio. Cada tubo contiene un tubo de vidrio por fuera y un tubo absorbedor metálico pegado a una aleta. La capa de estos tubos absorbe la energía solar pero produce una

perdida de calor radioactiva. Estos colectores de alta temperatura son frecuentemente usados en aplicaciones comerciales debido a que las aplicaciones domésticas no requieren tanto calor. (9)



Fig. 2.4: Sistema solar con tubo evacuado

2.4. SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA CONVENCIONALES

2.4.1. Calentadores de punto

Estos calentadores son unidades muy pequeñas instaladas a pocos centímetros del lugar donde se requiere el agua caliente. Son alimentados con electricidad y se activan automáticamente por flujo o manualmente con un interruptor. Su uso es comercial y doméstico. (9)

Tienen un elevado consumo eléctrico que van desde 1500 W. a 5400 W. Solo tienen un uso práctico en países de clima templado, dada su baja capacidad de calentamiento.

Se puede encontrar ejemplos de su uso instalados directamente a lavamanos o como las famosas duchas (regaderas) de punto, muy utilizadas en viviendas económicas en países de clima templado.



Fig. 2.5: Sistema convencional de punto

2.4.2. Calentadores de paso

También se llaman calentadores sin tanque o calentadores de flujo son también de reducido tamaño en los modelos eléctricos y algo más grandes en los modelos de gas natural o G.L.P. Son unidades que están apagadas, sin consumir energía, un sensor de flujo se activa cuando detectan circulación de agua e inician su procedimiento de calentamiento. Los modelos eléctricos van desde los 8.000 W. (1,91 Kcalorías/s) hasta los 22.000 W (5,26 Kcalorías/s). Los modelos a gas pueden alcanzar las 8 Kcal/s como es el caso de un calentador de 18 Lt./min. Los modelos eléctricos están equipados con resistencias calentadoras de inmersión y los de gas encienden una llama que calienta un intercambiador de calor por donde circula el agua. (9)

Los modelos más avanzados están equipados con controles electrónicos de temperatura y caudalímetros. De esta manera el usuario puede seleccionar la temperatura que desea en grados. El controlador electrónico mide el flujo de agua que está circulando, la temperatura de entrada, y gradúa la potencia que aplicarán las resistencias de calentamiento en el caso de los modelos eléctricos o el tamaño de la llama en los modelos a gas.



Fig. 2.6: Sistema convencional de paso

2.4.3. Calentadores de acumulación

Estos calentadores poseen un tanque donde acumulan el agua y la calientan hasta alcanzar una temperatura seleccionada en su termostato. La capacidad de su tanque es muy variable y va desde los 15 litros hasta modelos de 1000 litros. Utilizan como energía gas natural, gas propano (G.L.P.), electricidad, carbón, luz solar, madera o keroseno. Para la selección del tamaño debemos considerar la cantidad de agua caliente que se pueda requerir en determinado momento, la temperatura de entrada del agua y el espacio utilizable. (9)

Estos calentadores tienen la ventaja de suministrar agua caliente a temperatura constante por tantos litros como casi la totalidad de tanque. Además la temperatura del agua que surte no se ve afectada si se abren o cierran otras llaves conectadas al mismo calentador. Su desventaja está en el tamaño de su tanque, si llegamos a agotar el agua caliente del mismo pueden pasar largos periodos antes de que se recupere el calor.

Al momento de escoger un modelo de tanque debemos tener en cuenta el tipo y calidad de aislamiento térmico que posee. Si seleccionamos un modelo económico pagaremos ese ahorro después en la cuenta de electricidad o gas, ya que un aislamiento deficiente permite que se escape el calor del agua al ambiente, obligando al calentador a gastar más energía para volver a recuperar la temperatura.



Fig. 2.7: Sistema convencional de acumulación

2.4.4. Calderas

Las calderas son sin duda los sistemas más eficientes para calentar y proveer agua caliente, manteniendo una temperatura constante sin importar el uso. Un sistema de caldera bien equilibrado puede proveer agua caliente para calefacción y para uso directo simultáneamente. Las calderas proveen vapor para usos comerciales e industriales de manera segura y eficiente. (7)

Existen varios tipos de calderas pero en su concepto básico son envases de metal (cobre, acero inoxidable o hierro colado) por donde circula el agua. Este envase es atravesado por barras calientes. El combustible para calentar estas barras puede ser gas, combustible fósil, madera, fisión nuclear o incluso

resistencias calentadoras si es eléctrico. El agua circula, en algunos casos por medio de una bomba de agua a través de tuberías que recorren los lugares donde se requiera el agua caliente o vapor. El agua no utilizada regresa a la caldera para reiniciar el ciclo. Un sistema de nivel mide el faltante de agua y la agrega en caso de ser necesario.

Para las viviendas se justifica el uso de calderas en países de climas con 4 estaciones marcadas, donde el invierno requiera calefacción. Además en usos comerciales como hotelería y complejos deportivos donde son indispensables.



Fig. 2.8: Calderas

2.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA SOLAR

2.5.1. Ventajas

- El sol es una fuente de energía renovable, nunca se terminará esta energía y no se la gasta. (11)
- Potenciales abundantes
- Descentralizantes
- No son contaminantes
- No se gastará en combustibles, aceites, tiempo y costo de movilización.
- Los paneles solares no necesitan mantenimiento.
- Se puede aumentar el sistema solar en un futuro y su manejo es fácil.
- Se pueden revender los equipos solares porque tienen un precio relativamente estable.

2.5.2. Desventajas

- Tecnologías más complejas, pero accesibles al medio
- Costos de instalación más elevados
- Aleatorias en su potencial
- Baja aceptación social

CAPITULO III

3. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA ENERGÉTICO

3.1. VARIABLES DE DIMENSIONAMIENTO DEL PROYECTO

La proyección de equipos energéticos ó el conocimiento de la dimensión característica del equipo o sistema, en el caso de energía solar, el área de los paneles solares, se basa en la determinación de dos variables: (10)

- Recurso energético disponible (cantidad de radiación solar incidente)
- Necesidad ó demanda energética (necesidad de agua caliente)

Identificados estos dos parámetros se puede confrontar los mismos y buscar una alternativa de equipo de transformación de energía solar para calentamiento de agua, sea de uso doméstico o industrial.

3.1.1. Recurso energético disponible

Es la cantidad de radiación solar que llega a la superficie de la tierra, y se puede determinar por diferentes expresiones matemáticas, entre las más conocidas, se tiene: Glover y Mc Culloch, Liu - Jordan, Page, para el presente trabajo se determinará la radiación solar incidente por el primer método, que es una expresión que permite conocer con exactitud la radiación incidente en

cualquier posición geográfica de la tierra, en función de la heliofanía promedio del lugar y la latitud geográfica del mismo. (5)

$$I = G_0 \left[0.29 * \cos \phi + 0.52 * \frac{n}{N} \right] \quad (3.1)$$

Donde:

I = Radiación solar incidente en la superficie terrestre (W/m^2)

G_0 = Constante solar o radiación que llega a la atmósfera ($1353 W/m^2$)

$\cos \phi$ = Coseno del ángulo de latitud geográfica, para Riobamba, $1^\circ 38$ min. Latitud sur. (Medición mediante G.P.S.)

0.29 y 0.52 = Coeficientes experimentales que corrigen la radiación solar incidente, en función de la dispersión de la radiación solar al atravesar la atmósfera

n = Número de horas de sol brillante al día (heliofanía)

N = Número máximo de horas de sol al día en la localidad (11.8 horas), dato proporcionado por la estación agro meteorológica ESPOCH.

3.1.2. Necesidad ó demanda energética

Es la cantidad de energía que se requiere para un determinado fin, en el caso que se requiera calentar agua se determinará esta demanda mediante la determinación del calor requerido para calentar el fluido: (10)

$$Q = m * C_p * (T_f - T_i) \quad (3.2)$$

Donde:

Q = Calor requerido para calentar el agua (W)

m = Cantidad de agua a calentar (Lts, Kg.)

c_p = Calor específico del agua (1 Kcal/Kg °K)

T_i, T_f = Temperaturas del fluido frío y caliente, respectivamente (°K)

De tal forma que al igualar las ecuaciones de recurso disponible y demanda requerida, se puede encontrar el área de colectores solares para el calentamiento del agua.

$$A = \frac{m * C_p * (T_f - T_i)}{I * n_1 * \eta} \quad (3.3)$$

Donde:

A = Área de colectores solares (m²)

η = Eficiencia del sistema de calentamiento (0.3...0.7)

n₁ = Número de horas que trabaja el colector solar

3.2. RECURSO SOLAR DISPONIBLE EN RIOBAMBA

Para el conocimiento acertado de la intensidad de radiación solar que incide en la ciudad de Riobamba o en cualquier otra localidad del Ecuador o región del mundo se requiere conocer con buena exactitud la cantidad de horas de sol brillante, por lo que es necesario efectuar una investigación de campo relacionada con la toma, ordenamiento y procesamiento de esta variable por el lapso de al menos diez (10) años atrás, que proporcionaría gran confiabilidad en la determinación de la radiación solar de la localidad.

Por lo que, valiéndose de la información meteorológica recopilada por la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH, sobre la heliofanía de nuestra ciudad y en base de procesar datos mensuales, anuales se obtendrá la heliofanía promedio de los últimos diez años.

Estos datos de horas de sol brillante se recopilan diariamente en la estación meteorológica, mediante el aparato denominado heliógrafo, que se muestra en la figura 3.1



Fig. 3.1. Heliógrafo

Del procesamiento estadístico y matemático de los datos recopilados, se determina que la heliofanía en la ciudad de Riobamba es de 4.8 horas de sol brillante al día, para lo que se analizó la misma en un período de al menos diez años (dato recomendado por la Organización Mundial de Meteorología).

TABLA 3.1: HELIOFANÍA PROMEDIO DE RIOBAMBA (Horas sol/día)

AÑOS/MES	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
1997	5,9	4,8	5,2	5,7	5,9	6,3	6,3	5,2	4,4	5,5	4,2	5,4	5,4
1998	4,9	2,7	4,5	4,9	5,1	5,0	4,9	5,0	5,0	5,7	6,7	7,9	5,2
1999	5,2	2,9	4,3	4,8	4,4	4,6	5,7	5,0	3,4	5,0	6,7	4,7	4,7
2000	4,9	4,2	3,8	4,7	4,5	5,2	6,0	4,7	3,8	6,6	7,6	6,5	5,2
2001	5,4	5,5	4,2	4,7	5,2	6,8	3,1	2,7	4,3	7,1	5,5	6,1	5,1
2002	6,3	4,8	3,6	4,6	3,8	3,4	4,2	4,8	4,7	3,8	2,6	2,9	4,1
2003	3,8	3,3	2,3	3,1	1,8	1,5	5,0	2,6	1,7	5,3	5,3	4,7	3,4
2004	8,1	4,8	3,4	4,2	4,9	5,5	5,5	6,3	4,5	5,2	5,3	6,1	5,3
2005	6,7	4,4	3,2	5,9	4,9	5,4	7,2	5,2	5,5	3,8	7,6	3,1	5,2
2006	4,8	6,7	4,3	3,9	6,7	5,5	5,3	4,2	4,1	5,7	5,2	4,2	5,0
2007	3,2	6,2	3,8	3,8	5,3	3,7	7,0	5,2	3,1	4,4	5,0	4,5	4,6

PROM.	5,4	4,6	3,9	4,6	4,8	4,8	5,5	4,6	4,0	5,3	5,6	5,1	4,8
--------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

En la tabla 3.1, se muestran los datos estadísticos de la heliofanía en

Riobamba, de los últimos once (11) años:

Fuente: Estación agro meteorológica de la ESPOCH

Además, para conocer el número máximo de horas de sol brillante en la última década, se ha analizado los datos diarios en la mencionada estación meteorológica y se tiene como valor 11.8 horas de sol brillante al día.

3.2.1. Variables físicas: temperatura, humedad relativa, viento

Es necesario para la ejecución de proyectos energéticos solares, conocer las variables físicas promedio del ambiente de la localidad donde se instalaría el sistema de calentamiento de agua con energía solar por lo que se requiere determinar:

- Temperatura ambiental ($^{\circ}\text{C}$)
- Humedad relativa del aire (%)
- Velocidad del viento (m/s)

De la misma forma, se efectúa el procesamiento estadístico de estas variables con los datos obtenidos en los equipos de la estación meteorológica que se muestra en las figuras 3.2 (termómetros de bulbo y termo higrómetro) y 3.3 (anemómetro) y se tienen en el mismo período los valores mostrados en las tablas 3.2, 3.3 y 3.4:



Fig. 3.2. Termómetro ambiental y termo higrómetro



Fig. 3.3. Anemómetro

TABLA 3.2: TEMPERATURA AMBIENTE PROMEDIO DE RIOBAMBA (°C)

AÑOS/MES	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	PR
1997	13,7	13	13,9	13,3	13,3	13,1	11,8	11,8	13	14,1	13,5	14	1
1998	14	14	14,5	14,4	13,5	12,5	11,9	12,1	12,8	13,4	14,4	14,3	1
1999	13,8	13	13	12,7	12,4	12,4	11,7	12	12,3	12,8	13,9	13,7	1
2000	13,3	12	12,7	12,6	12,5	12,4	11,8	11,3	12,4	13,2	13,9	13,3	1
2001	12,9	13	13,1	13,6	13,7	12,6	12,8	13,9	13	14,9	14,2	14,5	1
2002	14,4	14	13,9	14,2	13,9	12,3	12,9	12,4	13,1	13,1	12,9	13,7	1
2003	14,1	14	13,4	12,8	13,3	11,8	12,1	12,9	14,4	14,6	14,2	13,8	1
2004	15,5	14	14,4	13,8	13,8	12,8	12,5	12,6	13,4	14,2	14,3	14,4	1
2005	17,1	15	13,5	14,3	14,9	13,8	13,3	13,4	14	13,8	14,5	13,7	1
2006	14	14	13,6	13,7	13,8	12,5	12,6	12,9	13,2	14,4	13,6	14,1	1
2007	14,6	15	13,8	13,4	13,8	12	12,9	12,3	12,1	13,4	13,6	14,3	1
PROM.	14,3	13,8	13,6	13,5	13,5	12,6	12,4	12,5	13,1	13,8	13,9	14,0	1

Fuente: Estación agro meteorológica de la ESPOCH

TABLA 3.3: HUMEDAD PROMEDIO DE RIOBAMBA (%)

AÑOS/MES	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	PRO
1997	68	68	67	70	71	66	68	63	64	63	74	69	67
1998	70	71	72	75	73	71	71	65	61	66	65	53	67
1999	64	71	69	71	73	71	66	61	65	60	58	64	66
2000	63,5	67,3	67,9	70,5	71,9	68,4	62,3	63,2	62,8	57,1	49,7	59,5	63
2001	60,3	61,7	65,5	63,5	62,4	61,7	60,6	50,5	56,9	51,8	55,8	60,4	59
2002	55,8	60,5	65,8	63,6	64,4	63,5	62,8	60,6	55,8	62,6	66,2	67,7	62
2003	59,3	63,4	63,6	63,8	62,5	64,8	61,3	57,7	52,9	56,3	59	61	60
2004	47,3	60,4	59,7	59	53,9	52,2	44,9	41	43,8	42,1	41,5	39,5	48
2005	36,1	50,8	63,7	61,7	54	58	60,1	59,1	58,4	71,8	58,6	72,2	58
2006	68,6	71,9	83,5	68,9	82,2	74,6	66,1	52,8	54,7	46,3	63,9	68	66
2007	58,8	63,4	80,1	74,3	71,6	74	63,4	64,9	63,8	66,2	68,5	63,7	67
PROM.	59,2	64,5	68,9	67,4	67,3	65,9	62,4	58,1	58,1	58,5	60,0	61,6	62

Fuente: Estación agro meteorológica de la ESPOCH

TABLA 3.4: VELOCIDAD DE VIENTO PROMEDIO DE RIOBAMBA (m/s)

AÑOS/MES	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	PR
1997	1,6	1,8	1,8	1,9	1,9	2	2,2	2,6	2,2	1,9	1,5	2	2
1998	2	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	2,1	2,2	1,9	1,9	2,2	1
1999	2,2	1,7	1,8	1,9	1,8	1,8	2,5	2,5	1,9	2,1	2,1	1,8	2
2000	2,1	2	1,9	1,9	1,8	2,2	2,9	2,3	2,6	2,5	2,8	2,5	2

2001	2,4	2,6	2,1	2,4	2,6	2,8	2,8	3	2,4	2,7	2,5	2,7	2
2002	2,4	2,4	2,2	2,2	2,2	2,4	2,9	2,9	2,8	2,6	2,2	2,1	2
2003	2,7	2,7	2	2,5	2,3	1,9	2,7	2,8	2,7	2,4	2,2	2,2	2
2004	2,5	2,3	2,7	2,3	2,4	2,8	2,9	2,9	1,9	2,2	2,9	2	2
2005	2,3	2,1	1,8	2	2,3	2,3	2,8	2,6	2,7	1,6	2,2	5,8	2
2006	2,3	1,9	2,2	1,5	1,7	1,9	2,6	4	2	2,2	2	1,8	2
2007	2,2	2,3	2,3	1,6	1,7	1,9	2,4	2	2,2	2	2	1,8	2
PROM.	2,2	2,1	2,0	2,0	2,0	2,1	2,6	2,7	2,3	2,2	2,2	2,4	2

Fuente: Estación agro meteorológica de la ESPOCH

3.2.2. Cálculo del potencial solar

En tal virtud, reemplazando los valores determinados en la investigación de campo, en la ecuación (3.1), se determina la radiación promedio para la ciudad de Riobamba, según el método de Glover y Mc Culloch, como:

$$I = 1353 \frac{W}{m^2} \left[0.29 * \cos(1.63) + 0.52 \left(\frac{4.8}{11.8} \right) \right]$$

$$I = 678,41 \text{ W/m}^2$$

3.3. DEMANDA ENERGÉTICA DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA PARA CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO DOMÉSTICO

En la ciudad de Riobamba la demanda energética para calentamiento de agua de uso doméstico está basada en el consumo de energía eléctrica y gas licuado de petróleo (GLP).

Los equipos más utilizados son los calentadores de punto, que dependiendo de la marca y costos, su consumo energético varía de entre los 3500 a 5400 W., con los consiguientes costos por concepto de consumo de la energía.

Mientras que al consumir G.L.P., utilizando calefones, el consumo y costos energéticos es relativamente bajo, ya que su uso está basado en un tanque de 15 Kg. de G.L.P., la dificultad en su uso es el peligro que conlleva el funcionamiento y es contaminante.

El consumo de energía eléctrica en la Ciudad de Riobamba es de 254,458.38 Kw-h/diario, por lo que el consumo anual es de 91, 605,018 Kw-h/ anual. Los valores mostrados son datos entregados por la Empresa Eléctrica de Riobamba, por lo que dentro de estos está estipulado otro tipo de consumo como el uso de artefactos eléctricos, focos, etc., datos que se observan en la tabla 3.5.

TABLA 3.5: CONSUMO ENERGÉTICO EN RIOBAMBA

Característica	Consumo Diario (Kw – h)	Consumo Mensual (Kw – h)	Consumo Anual (Kw – h)
Con alumbrado público	292,063.93	8,761,918.00	105,143,016.00
Sin alumbrado público	254,458.38	7,633,751.50	91,605,018.00

Fuente: EERSA. Datos del año 2008. Dpto. Técnico

En párrafo posterior se calculará el consumo de energía destinada al calentamiento de agua de uso doméstico, mediante análisis de campo y cálculos matemáticos.

3.4. ESTUDIO DEL MERCADO POTENCIAL

El mercado potencial se circunscribe a la Ciudad de Riobamba, ya que el proyecto se orienta a brindar a la población una alternativa energética, con el objetivo de disminuir sus gastos en consumo de energía eléctrica.

Si en todas las viviendas que utilizan energía eléctrica para el calentamiento de agua se instalan paneles solares, los gastos por consumo eléctrico disminuirían notablemente. El problema está en concienciar y educar a la ciudadanía para que piense en este tipo de energía como una alternativa de ahorro energético y económico, así como el control de la contaminación ambiental.

El costo de instalación de un sistema solar es superior al convencional, pero con el tiempo este se amortizará, llegando pronto al punto de equilibrio.

3.4.1. Sectorización de la Ciudad

La Ciudad de Riobamba se encuentra ubicada en el centro del País, en la región interandina y tiene su posición geográfica determinada por:

- Latitud: $1^{\circ} 38'(\text{S})$

- Longitud: 78° 34´(O)
- Altitud: 2.754 m.s.n.m.

Posición geográfica, en el plano catastral de la ciudad (Anexo 1).

La Ciudad de Riobamba tiene una población, según los datos actuales del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC)

- Urbana: 174,538 Hab.
- Rural: 40,635 Hab.
- Total: 215,173 Hab.

De acuerdo a los datos recopilados tanto en la EERSA como en el INEC, se tiene como promedio en cada vivienda 4 personas, consecuentemente, el número de viviendas que ocupan medidor es de 63,038.

El tipo de viviendas en la ciudad es variable (INEC)

- Viviendas sector urbano: 40,483
- Viviendas sector rural: 22,555

Generalmente las viviendas en la ciudad son de tipo medio en construcción.

La red de distribución eléctrica proviene del Sistema Nacional Interconectado (SNI) e ingresan a los domicilios como fuente eléctrica de 110-

120 voltios, en casos de viviendas con servicios adicionales como negocios, talleres se tiene la red de 220 voltios. (EERSA).

3.4.2. Trabajo de campo para determinación de la demanda energética

- **Elaboración de la encuesta**

Para la elaboración del formato de la encuesta que se realizará a la ciudadanía de Riobamba, se toma en cuenta los siguientes aspectos:

1. El barrio o sector en el cual se encuentra ubicada la vivienda.
2. Tipo de vivienda que generalmente puede ser casa, departamento, cuarto en la ciudad de Riobamba.
3. La condición de ocupación de la vivienda, es decir el número de personas que habitan generalmente en la misma.
4. El tipo de cubierta de la vivienda, este dato indica en que casas es factible instalar estos equipos.
5. Gastos en planillas de luz lo cual dará un indicativo para comparar entre el costo de la energía eléctrica y el sistema solar proyectado.
6. Es necesario saber si la ciudadanía conoce y estaría dispuesta a invertir en calentadores solares.
7. Conocer cual es la fuente de energía convencional mas utilizada actualmente en la ciudad para calentar agua de uso doméstico.

- **Dimensionamiento de la muestra**

Para el cálculo del dimensionamiento de la muestra, se tiene en cuenta los datos otorgados por el INEC, los mismos que ayudaran a tener un valor casi exacto de la muestra. (13)

Cálculo de la varianza:

$$\sigma^2 = \frac{\sum X^2 - \left[\frac{(\sum X)^2}{N} \right]}{N-1} \quad (3.4)$$

Donde:

σ^2 = Varianza

N = Número de barrios existentes en Riobamba

X = Número de casas en cada barrio de Riobamba

$$\sigma^2 = \frac{29430800 - \frac{1624090000}{146}}{146 - 1}$$

$$\sigma^2 = 126254,45$$

Cálculo del tamaño de la muestra:

$$n = \frac{N * \sigma^2 * Z^2}{(N-1) * E^2 + \sigma^2 * Z^2} \quad (3.5)$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

N = Número total de casas en Riobamba (sector urbano)

$Z = 1,96$ para una confiabilidad del 95%

$E = \text{Error} \approx 5 \%$

$\sigma^2 = \text{Varianza}$

$$n = 2742$$

Se obtiene un valor de 2.742 encuestas para realizarse en todo el sector urbano de la ciudad de Riobamba.

- **Encuesta**

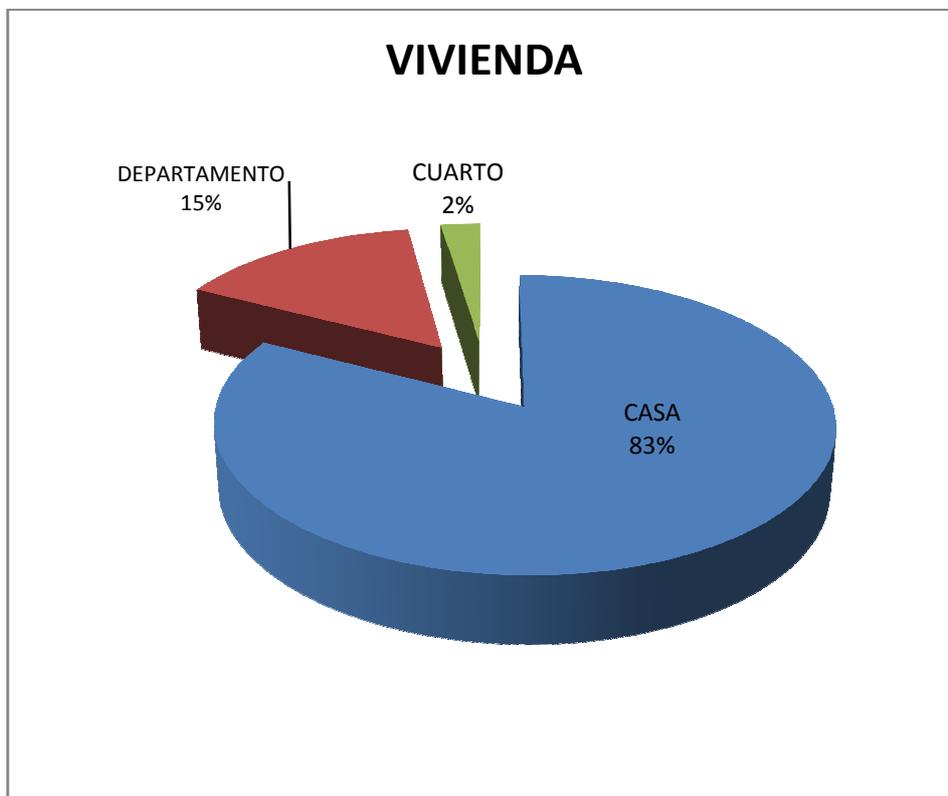
En el anexo (2) se muestra la encuesta debidamente preparada para el conocimiento de la factibilidad de implementación de sistemas de calentamiento de agua de uso doméstico en la ciudad de Riobamba. Cuyos datos serán ordenados y procesados en el siguiente numeral.

- **Ordenamiento y procesamiento de datos**

Para realizar el procesamiento de los datos, se procede a analizar cada una de las preguntas propuesta en la encuesta, datos que serán graficados de acuerdo a los resultados obtenidos.

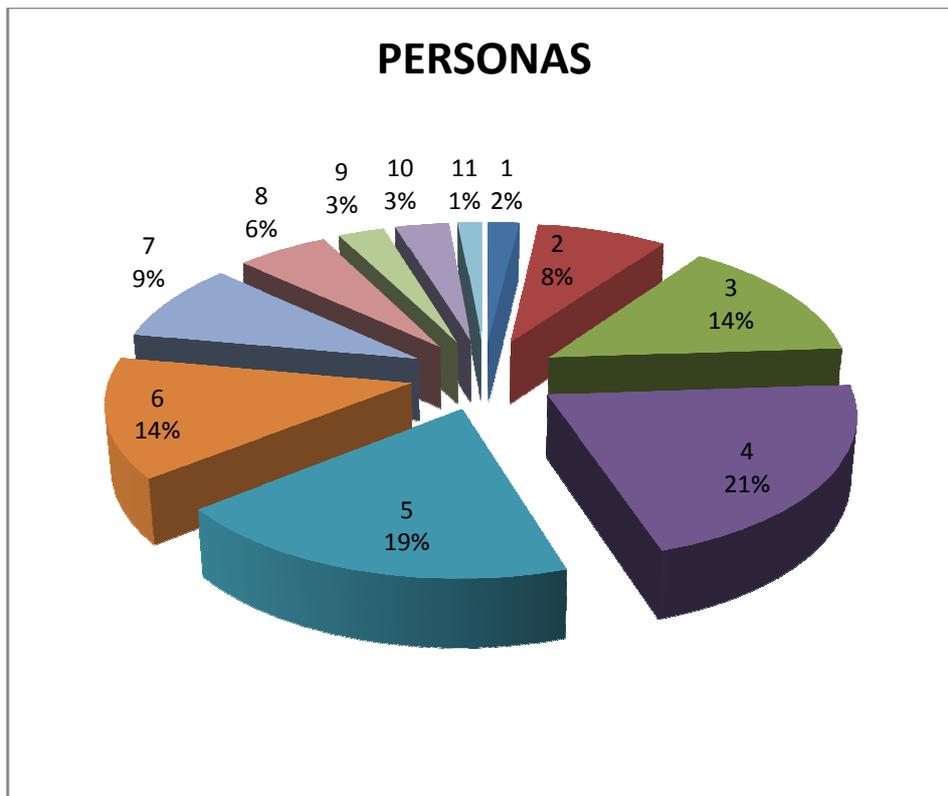
(a) Tipo de vivienda

Casa	Departamento	Cuarto
2265	412	65



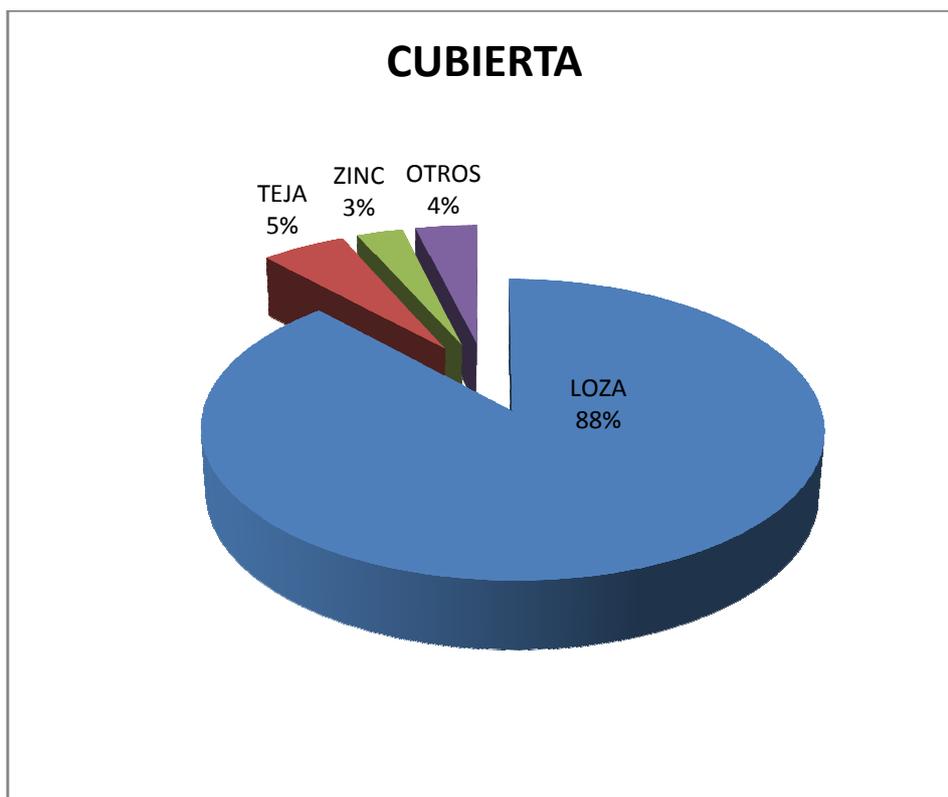
(b) Condición de ocupación de la vivienda

# Personas	frecuencia
1	51
2	219
3	386
4	579
5	528
6	373
7	245
8	155
9	77
10	90
12	39



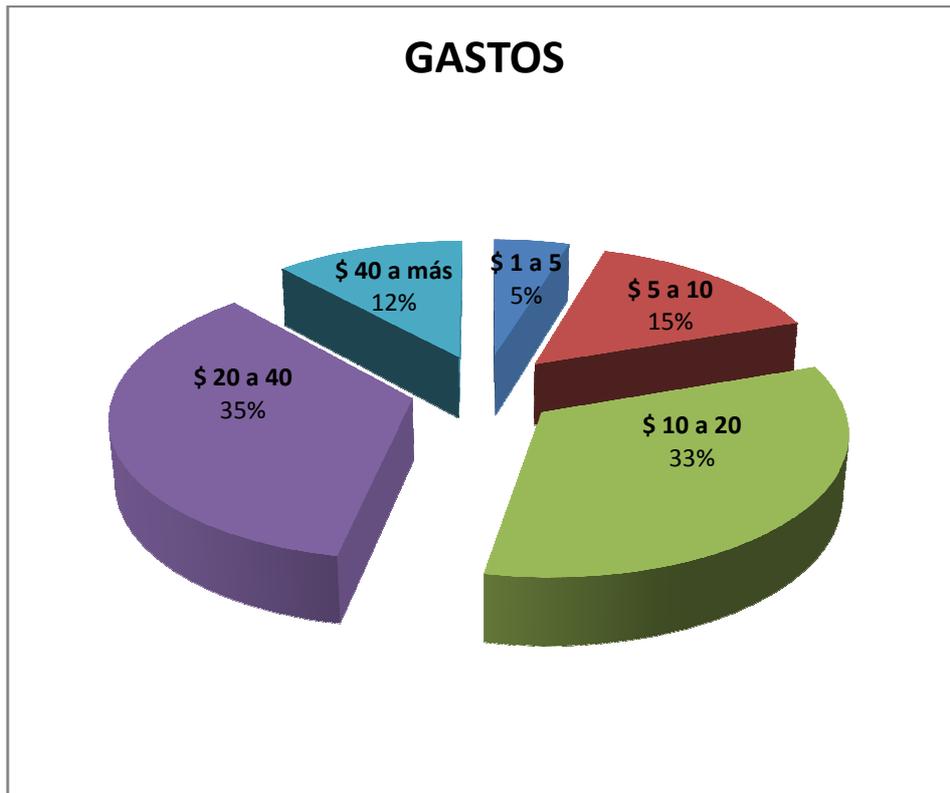
(c) Cubierta de la vivienda

Loza	Teja	Zinc	Otros
2420	142	77	103



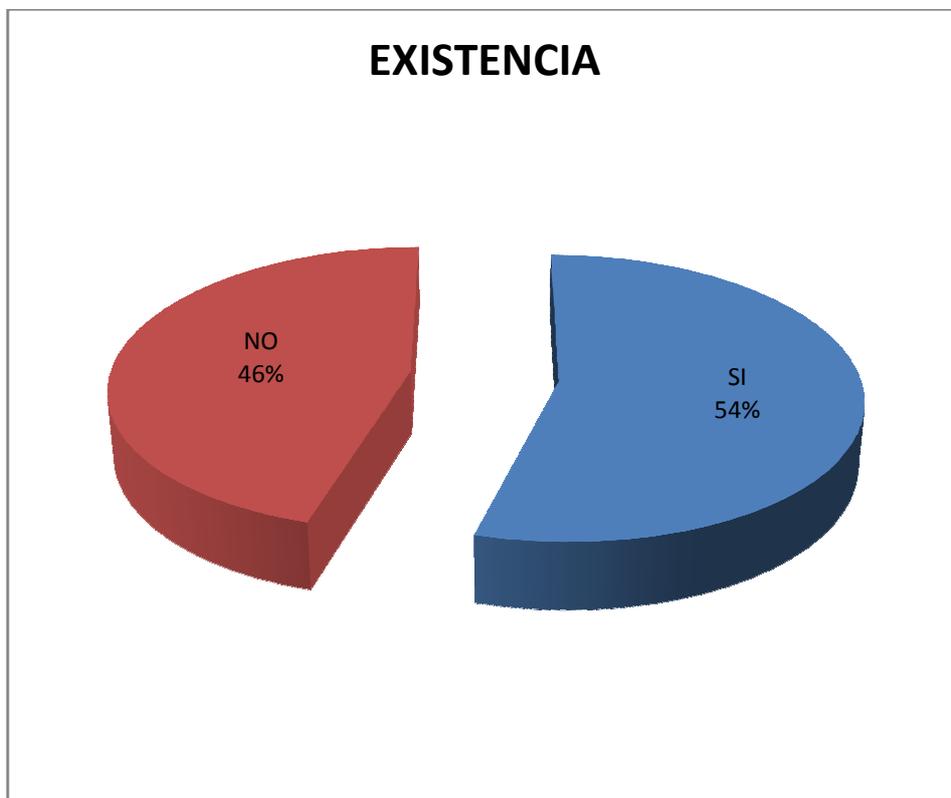
(d) Gastos en planillas de luz

\$ 1 a 5	\$ 5 a 10	\$ 10 a 20	\$ 20 a 40	\$ 40 a más
128	412	914	966	322



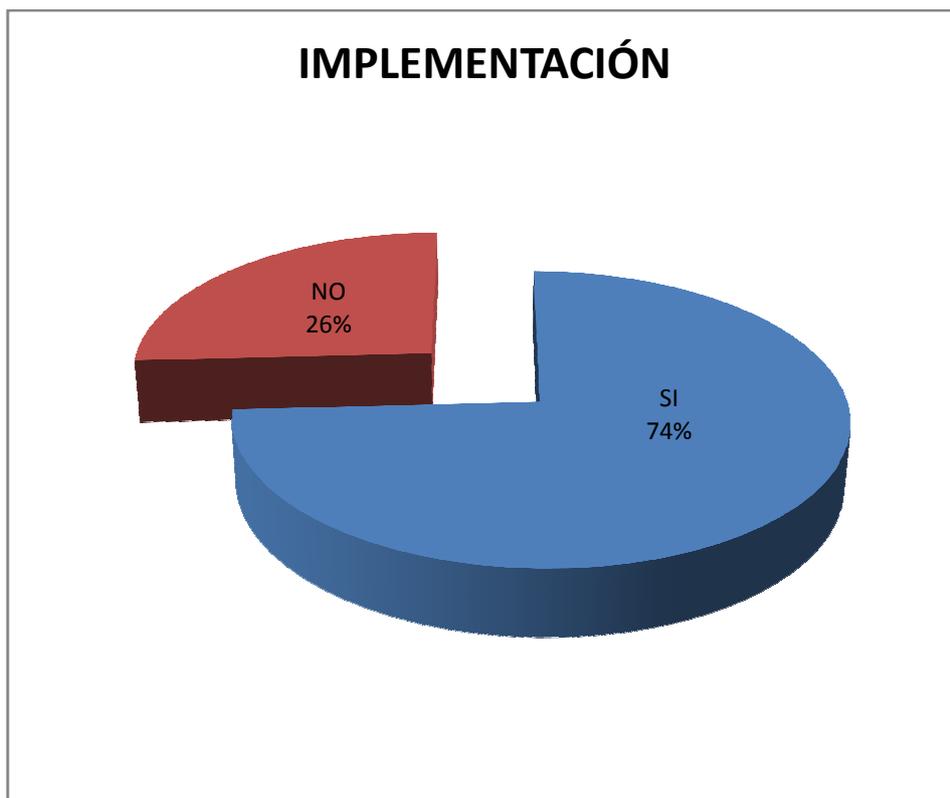
(e) Conocimiento de la existencia de calentadores solares de agua para uso doméstico

SI	NO
1493	1249



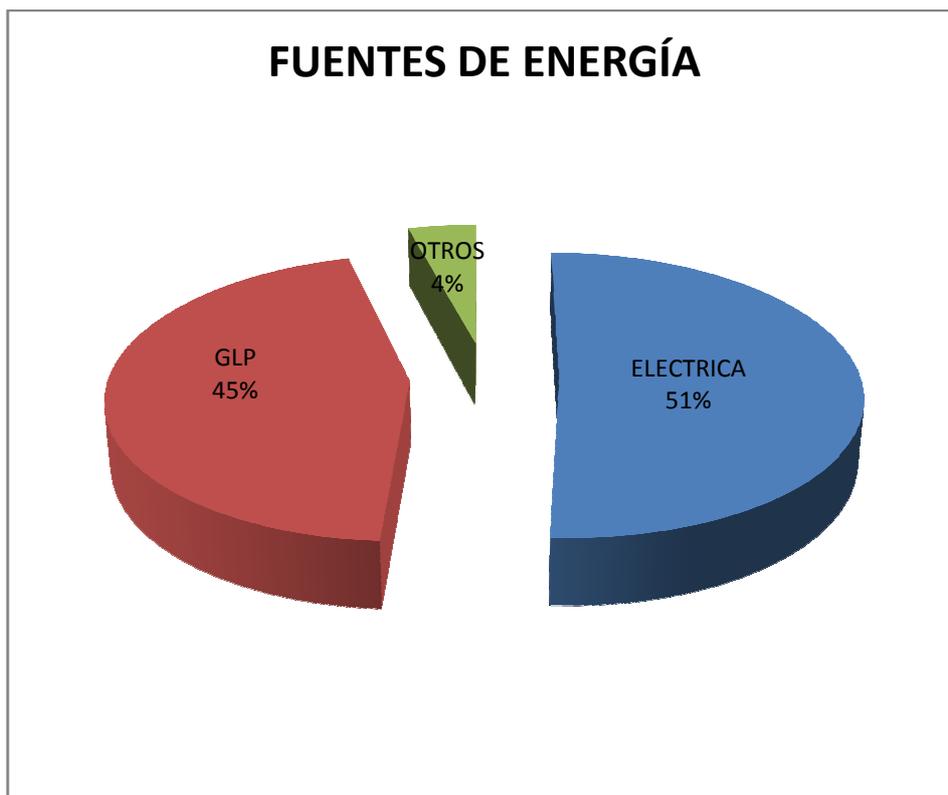
(f) Implementación de un sistema de calentamiento de agua con energía solar

SI	NO
2034	708



(g) Fuente de energía utilizada para el calentamiento de agua

Eléctrica	GLP	Otros
1396	1233	113



- **Análisis de resultados**

- a) Tipo de vivienda**

Debido a que este tipo de equipos deben estar expuestos directamente a la radiación solar, se requiere que tanto las casas, los departamentos y en casos excepcionales los cuartos, dispongan de un espacio apropiado para dicho equipo, dentro de los datos obtenidos, el 83% corresponde a casas por lo que se facilita el uso de paneles solares en la ciudad.

- b) Condición de ocupación.**

Dentro de la condición de ocupación de la vivienda se determinó el número promedio de personas que habitan por casa, obteniéndose el 21% de cuatro personas y el 19% de cinco personas, si comparamos los datos obtenidos con los datos entregados por el INEC, se obtiene que el número de personas es de cinco.

c) Tipo de cubierta

Uno de los parámetros más importantes dentro del proyecto de calentamiento de agua por medio de energía solar es que los techos sean de loza, de tal manera que soporte el peso del equipo, esté a un nivel adecuado, sea fácil de instalar y de realizar su debido mantenimiento, en este caso los datos arrojados por la encuesta son convenientes, debido a que el 88% de las cubiertas son de loza.

d) Gastos en planillas de luz

El consumo promedio de energía eléctrica en la ciudad, es del 35% equivalente a un costo comprendido entre los 20 y 40 dólares, más del 50% de este consumo está destinado al calentamiento de agua para uso doméstico, por lo que al implementar un equipo solar disminuiría el consumo de energía considerablemente.

e) Conocimiento de la existencia de calentadores solares de agua para uso doméstico

Mediante campañas de concienciación y de utilización de energías alternas que se han difundido, el 54% de la población conoce de las aplicaciones de la energía solar, pero no el principio y funcionamiento de los equipos que se utilizan.

f) Implementación de un sistema de calentamiento de agua con energía solar

Uno de los resultados que indica si el proyecto es factible o no, es conocer si la población estaría dispuesta a invertir en un equipo solar, conociendo sus ventajas y desventajas.

El resultado obtenido es del 74% a favor de la implementación, esto demuestra el interés de la gente en disminuir los gastos en energía, colaborar con el medio ambiente y obtener los mismos resultados.

g) Fuente de energía utilizada para el calentamiento de agua

La energía mas utilizada para el calentamiento de agua es la energía eléctrica con el 51%, muy seguida del G.L.P.

- **Demanda energética**

Datos:

t = Tiempo aproximado de uso de agua caliente al día por persona en la ciudad de Riobamba ($\approx 20 \text{ min.}$).

Costo del Kw-h ($0,127 \frac{\text{dólares}}{\text{Kw-h}}$)

C_0 = Consumo de los calentadores de punto (4000 W.)

Consumo diario por persona:

$$C_{op} = t * C * C_o \quad (3.6)$$

$$C_{op} = \frac{20 \text{ min} * 4 \text{ Kw} * 0.127 \text{ dolares} * 1 \text{ h}}{\text{Kw} - \text{h} * 60 \text{ min.}}$$

$$C_{op} = 0.17 \text{ dólares/diario}$$

El consumo de agua es diario y su utilización es de 365 días del año. Por lo tanto cada persona tendría un consumo anual de \$ 62 dólares.

Dentro de los resultados obtenidos por la encuesta el número de personas promedio en una vivienda es de cinco, entonces el consumo anual de energía por vivienda es de \$ 310.

3.5. DIMENSIONAMIENTO DEL PROYECTO

Con los datos recabados en la investigación que antecede, se tienen los siguientes parámetros para el dimensionamiento del sistema de calentamiento de agua con energía solar para una vivienda tipo en la Ciudad de Riobamba.

Datos de proyecto:

- Radiación incidente promedio: 678.4 W/m² (Ec. 3.1)
- Número de personas promedio: 5 (el promedio por vivienda en Riobamba es 4 personas y se considera un margen de seguridad del 25%)
- Eficiencia energética del sistema: 0.5 (rango recomendado entre 0.3... 0.7) (11)
- Temperatura del agua de la ciudad: 15.4 °C (medición)
- Temperatura de salida del agua caliente: 40 °C (recomendación) (11)
- Número de horas de trabajo del sistema: 9 horas (de 08H00 a 17H00)
- Calor específico del agua: 4.186 KJ/Kg.°C (3)
- Caudal de agua por persona/día: 50 Lt.–persona/día a 40 °C (Manual ASHRAE) (1)

En tal virtud reemplazando los datos en la ecuación (3.3), se tiene:

$$A = 2.11 \text{ m}^2$$

Por lo que, para una vivienda promedio de la Ciudad de Riobamba se requiere un área de 2.11 m² de colector solar plano, cuyas características serán determinadas en lo posterior.

3.6. SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD

En base de los cálculos hechos anteriormente se requieren para el calentamiento de agua de uso doméstico, un sistema de colectores solares que proporcionaría un caudal de 250 litros de agua caliente al día, agua que estará calentada a 40 °C.

Entre las características del sistema se anotan:

- **Área del panel receptor:** Un panel solar de 2.11 m², donde el área del panel será de material metálico con buenas características de conductividad térmica, revestida de una delgada capa absorbente de la radiación solar que incide en la tierra.
- **Cubierta del colector:** la cubierta será de material parcialmente transparente, este elemento procura el efecto invernadero para el panel solar.
- **Tuberías del panel:** las tuberías de circulación en el panel estarán íntimamente unidas a la placa solar absorbente con material compatible a la misma, que garanticen un buen aprovechamiento de la energía captada por la placa.
- **Aislamiento térmico:** elemento que no permitirá el flujo de calor desde el interior del panel hasta el medio ambiente, garantizando un aislamiento térmico adecuado, para lo que se utilizará material aislante en dimensión compatible con el espesor crítico de aislamiento.

- **Tuberías externas:** garantizarán el flujo del ingreso de agua fría y salida del flujo de agua caliente, conectadas al reservorio de agua de uso.
- **Accesorios de instalación:** se utilizarán accesorios de instalación hidráulicas como codos, derivaciones, válvulas de compuerta y check, filtros de agua, uniones, tanque reservorio, entre otros.

Por lo que, un eventual sistema de calentamiento de agua modelo para la ciudad sería el que se muestra en la figura a continuación.



Fig. 3.4. Colector plano para calentamiento de agua

CAPITULO IV

5. MODELACIÓN MATEMÁTICA Y ESTANDARIZACIÓN DE SISTEMAS SOLARES

5.2. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA

Para el diseño de un sistema de colectores solares para calentamiento de agua de uso doméstico, se analiza los siguientes parámetros para los diferentes componentes del mismo en base a las siguientes consideraciones técnicas: (10)

- La geometría de la placa absorbente es plancha – tubo.
- Los cabezales distribuidor y recolector tiene un área de transferencia considerada despreciable.
- Los cabezales permiten flujo uniforme en los tubos que son paralelos entre si.
- No hay absorción de energía solar en la cubierta transparente, o sea el gradiente térmico es despreciable.
- El flujo de calor es unidireccional.
- El cielo es considerado un cuerpo negro para longitud de onda larga.
- El gradiente de temperatura en las paredes de los tubos es despreciable.
- Las pérdidas de calor en los flancos del panel son iguales y despreciables.

- Son despreciables los efectos del polvo y suciedad en la cubierta.
- Se considera que no existen sombras sobre el panel.
- El diseño y cálculos del panel se efectuarán para un área de 1 m².
- El sistema será diseñado para circulación natural (sistema termosifón).
- Los materiales serán seleccionados para procurar la mejor eficiencia térmica del sistema.
- Caudales, temperaturas, características meteorológicas con las determinadas en el capítulo anterior, valores debidamente justificados.

5.3. MODELO MATEMÁTICO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA

El modelo matemático es una secuencia de cálculos que permite conocer el funcionamiento térmico del sistema de calentamiento de agua con energía solar, en función de los parámetros físicos, hidráulicos, térmicos, mecánicos, que el proyectista utiliza. (5), (2), (10), (10).

El modelo incluye cálculos térmicos, hidráulicos y mecánicos, que al final nos permitirán conocer el rendimiento o eficiencia del sistema.

Modelo Matemático:

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_A} \quad (4.1)$$

Donde:

η = Eficiencia del colector plano (%)

Q_u = Calor neto útil [W/m^2]

Q_A = Calor admitido por el panel [W/m^2]

Radiación solar incidente en la placa (S):

$$S = \alpha * \tau * I \quad (4.2)$$

Donde:

α = Absorbencia de radiación en la cubierta

τ = Transmisividad de radiación de la cubierta

I = Radiación incidente en la cubierta [W/m^2]

Área del panel (A):

De la ecuación (3.3) especificada en el capítulo anterior se obtiene el área del panel a utilizar.

Calor neto ó útil (Q_u):

$$Q_u = F_R * (Q_A - Q_R) \quad (4.3)$$

Donde:

F_R = Factor de remoción de calor (ad.)

Q_A = Calor admitido por el panel [W/m^2]

$$Q_A = \alpha * \tau * I \quad (4.4)$$

Q_R = calor rechazado por el sistema [W/m^2]

$$Q_R = U_t * (T_f - T_i) \quad (4.5)$$

Donde:

T_f = Temperatura de salida del agua ($^{\circ}$)

T_i = Temperatura de entrada del agua al panel ($^{\circ}$)

U_t = Coeficiente total de pérdidas de calor [$W/m^2 * ^{\circ}$]

Coeficiente total de pérdidas:

El cálculo del coeficiente total de pérdidas del sistema se hace en función de la energía disipada a través de la cubierta, base y flancos de colector.

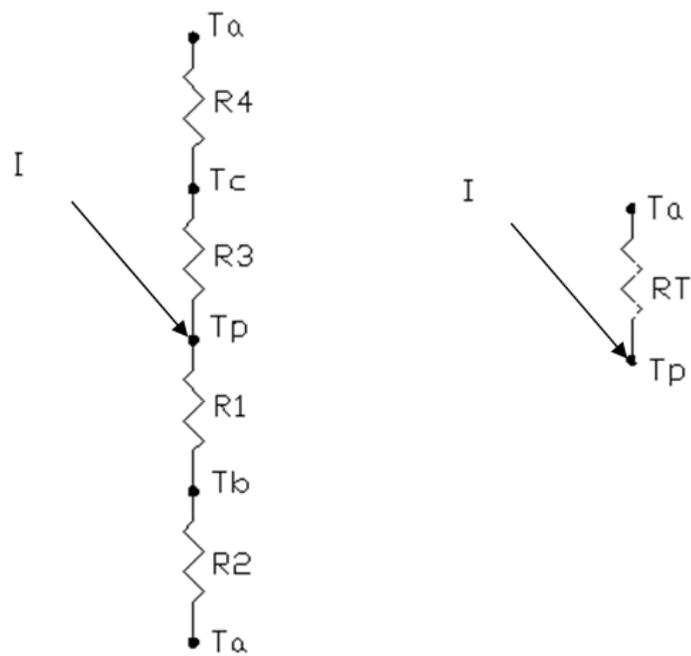
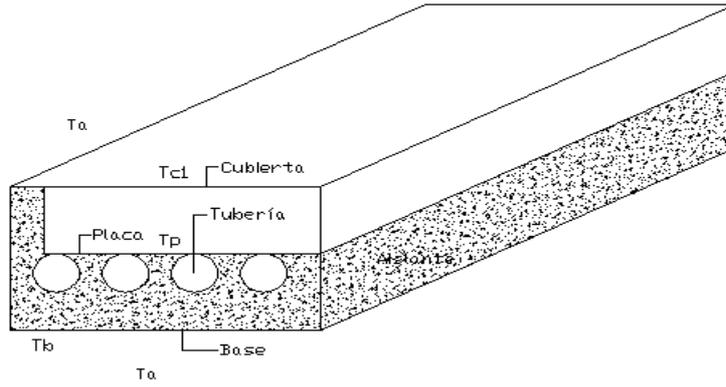


Fig. 4.1. Red térmica equivalente

Donde:

T_p = Temperatura de la placa ($^{\circ}$)

T_b = Temperatura de la base del colector ($^{\circ}$)

T_a = Temperatura ambiente ($^{\circ}$)

T_{c1} = Temperatura de la cubierta ($^{\circ}$)

R_1 = Resistencia térmica entre placa y aislamiento ($m^2 \cdot ^\circ/W$)

R_2 = Resistencia térmica, base del colector y el ambiente ($m^2 \cdot ^\circ/W$)

R_3 = Resistencia térmica entre placa y cubierta ($m^2 \cdot ^\circ/W$)

R_4 = Resistencia térmica entre cubierta y medio ambiente ($m^2 \cdot ^\circ/W$)

En consecuencia:

$$R_t = \frac{1}{U_t} = \frac{1}{U_{cima} + U_{base} + U_{flancos}} \quad (4.6)$$

Donde:

R_t = Resistencia total del sistema = ΣR

U_{cima} = Pérdida de calor por la cima (convección + radiación)

$$U_{cima} = \frac{1}{R_{cima}} = \frac{1}{R_3 + R_4} \quad (4.7)$$

R_{cima} = Resistencia por la cima: ($R_3 + R_4$) en el caso de una cubierta y generalizando para n cubiertas, se suman las resistencias que sean:

$$R_3 = \frac{1}{h_{c\ p-c1} + h_{r\ p-c1}} \quad (4.8)$$

Donde:

$h_{c\ p-c1}$ = Conductancia por convección entre placa y cubierta ($W/m^2 \cdot ^\circ$)

$$h_{c\ p-c1} = (T_p + T_{c1})^{\frac{1}{3}} \quad (4.9)$$

Donde:

T_p = Temperatura media de la placa ($^{\circ}\text{K}$)

T_{c1} = Temperatura media de la cubierta ($^{\circ}\text{K}$)

$h_{r\ p-c1}$ = Conductancia por radiación entre placa y cubierta ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}$)

$$h_{r\ p-c1} = \frac{\sigma(T_p + T_{c1})(T_p^2 + T_{c1}^2)}{\left(\frac{1}{e_p}\right) + \left(\frac{1}{e_c}\right) - 1} \quad (4.10)$$

Donde:

σ = Constante de Stefan Boltzman = $5,6687 \cdot 10^{-8}$ ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{K}^4$) (3)

e_p = Emisividad de la placa

e_c = Emisividad de la cubierta

$$R_4 = \frac{1}{h_{c\ c1-a} + h_{r\ c1-a}} \quad (4.11)$$

Donde:

$h_{c\ c1-a}$ = Conductancia por convección, cubierta y ambiente ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}$)

$$h_{c\ c1-a} = 5,7 + 3,8V \quad (4.12)$$

Donde:

V = Velocidad media del viento (m/s)

$h_{r\ c1-a}$ = Conductancia por radiación, cubierta y ambiente ($W/m^2 \cdot ^\circ$)

$$h_{r\ c1-a} = \frac{\sigma \cdot e_c (T_{c1}^4 + T_{cielo}^4)}{T_{c1} + T_a} \quad (4.13)$$

Donde:

e_c = Emisividad del cielo ($\cong 1$)

T_{cielo} = Temperatura equivalente del cielo ($^\circ K$) (5)

$$T_{cielo} = 0,0552(T_a)^{1,5} \quad (4.14)$$

Donde:

T_a = Temperatura ambiente ($^\circ K$)

U_{base} = Pérdidas térmicas en la base (conductividad + convección)

$$U_{base} = \frac{1}{R_{base}} = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad (4.15)$$

$$R_1 = \frac{b}{k} \quad (4.16)$$

Donde:

b = Espesor del aislamiento (si son más de uno, entonces analizar por pared compuesta) (m)

k = Conductividad térmica del aislamiento ($W/ m \cdot ^\circ$)

R_2 = Es despreciable, debido a que las pérdidas convectivas por la base son insignificantes, pues el gradiente de temperatura entre base del colector y ambiente es mínimo:

$$R_2 \cong 0 \quad (4.17)$$

$U_{flancos}$ = Pérdidas térmicas por los flancos

$$U_{flancos} \cong 0 \quad (4.18)$$

Pues, representa menos del 10% de las pérdidas por la base y siendo éstas pequeñas y al estar convenientemente aislados por los flancos, se hace despreciable.

Finalmente se calcula el valor de U_{total} y se puede encontrar los valores de las pérdidas específicas o flujo de calor por cada sección con ayuda de las expresiones matemáticas respectivas y obtener un balance térmico del sistema.

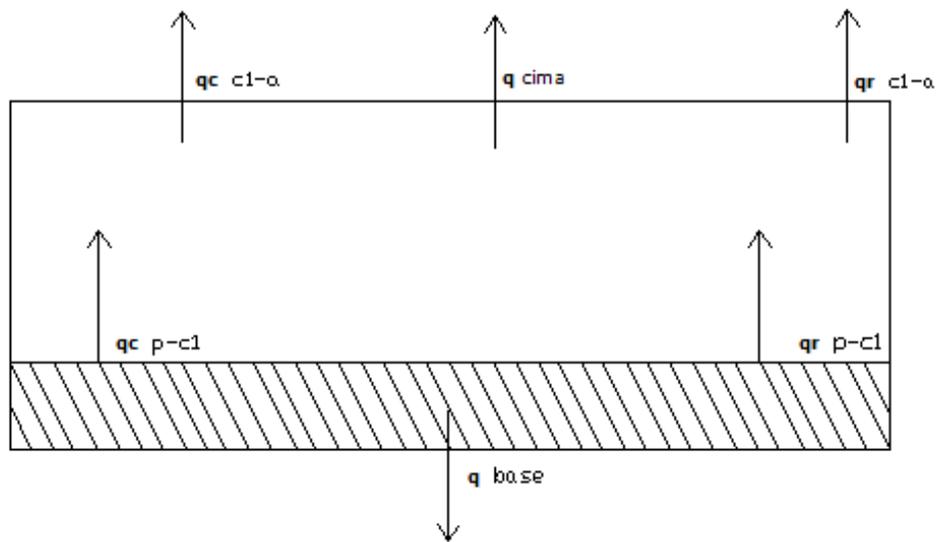


Fig. 4.2: Balance térmico del sistema

Factor de remoción de calor (F_R)

Representa la razón de ganancia de calor útil a la ganancia de calor ideal si toda la superficie estuviese a la temperatura del fluido a la entrada de los tubos.

Este factor permite relacionar las condiciones térmicas, hidráulicas, mecánica que afectan al rendimiento del equipo.

$$F_R = \eta_s * \eta_f \quad (4.19)$$

Donde:

η_s = Factor de eficiencia del sistema, valor que considera la capacidad de la aleta (placa - tubo) rectangular y del fluido de intercambiar energía.

$$\eta_s = \frac{\frac{1}{U_t}}{L * \left\{ \frac{1}{U_t[(L-D)\eta_a + D]} + \frac{1}{h_f * \pi * D_i} \right\}} \quad (4.20)$$

Donde:

L = Longitud de la aleta, distancia entre centros

D = Diámetro externo del tubo (m)

D_i = Diámetro interno del tubo (m)

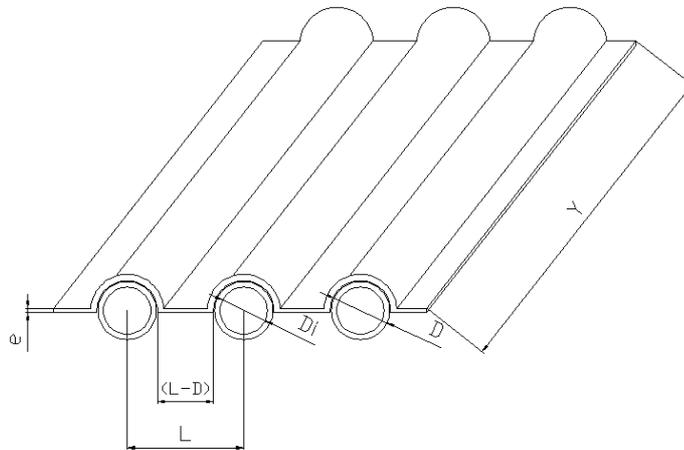


Fig. 4.3. Aleta rectangular

η_a = Eficiencia de la aleta, dada por:

$$\eta_a = \frac{\operatorname{tgh} m \left(\frac{L-D}{2} \right)}{m \left(\frac{L-D}{2} \right)} \quad (\cong 1) \quad (3) \quad (4.21)$$

Donde:

m = Valor que proporciona la capacidad térmica de la aleta

$$m = \sqrt{\frac{U_t}{k \cdot e}} \quad (4.22)$$

Donde:

k = Conductividad térmica de la aleta ($\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ$)

e = Espesor de la aleta (m)

h_f = Coeficiente de película del fluido ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ$)

$$h_f = \frac{N_u \cdot k_a}{D_i} \quad (4.23)$$

$$200 \leq h_f \leq 600 \quad (\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ)$$

Donde:

k_a = Conductividad térmica del agua ($1,5\text{E}-04 \text{ Kcal}/\text{m} \cdot \text{s} \cdot ^\circ$)

N_u = Número de Nusselt

$$N_u = 1,86 \left(R_e * P_r * \frac{D_i}{Y} \right)^{0,33} \quad (4.24)$$

Donde:

Y = Longitud unitaria del colector (m)

R_e = Número de Reynolds

$$R_e = \frac{\rho * V_f * D_i}{\mu} \quad (4.25)$$

Donde:

ρ = Peso específico del agua

μ = Viscosidad del agua (6,17*10⁻⁴ Kg/ms)

V_f = Velocidad del fluido (m/s)

$$V_f = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi * D_i^2} \quad (4.26)$$

Donde:

Q = Caudal de agua circulante (m³ / s)

Se analizará el número de Reynolds a efecto de comprobar en que tipo de flujo se trabaja (es recomendable ≤ 4000). (3)

P_r = Número de Prandtl

$$P_r = \frac{c_p * \mu}{k_a} \quad (4.27)$$

Donde:

C_p = Calor específico del agua (1 Kcal/Kg*⁰) (2)

Con estos valores se determina el valor de h_f

$$200 \leq h_f \leq 600 \quad (\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

Y consecuentemente, el valor de η_s (0,8 – 0,9)

Estos valores altos se deben a:

- Buena conductividad térmica de los tubos
- Adecuado espesor de la placa
- Buen aislamiento del panel
- Buena superficie selectiva de las placas

η_f = Eficiencia del factor de flujo; dado por las condiciones, físico – térmicas del flujo y fluido.

$$\eta_f = \frac{G \cdot C_p}{U_t \cdot \eta_s} \left(1 - e^{-\frac{U_t \cdot \eta_s}{G \cdot C_p}} \right) \quad (4.28)$$

Donde:

G = Flujo másico por unidad de área (Kg/s*m²)

$$G = \frac{m}{n \cdot L \cdot Y} \quad (4.29)$$

Donde:

m = Flujo másico del fluido

n = Número de tubos

$Y =$ Largo de los tubos (m)

El factor de remoción de calor puede ser determinado:

(Agua = 90%, aire = 80%)

En las tablas No. 4.1 y 4.2, se muestran todos los valores, datos y resultados de la modelación matemática propuesta.

TABLA 4.1: DATOS DE LA MODELACIÓN MATEMÁTICA

LUGAR: RIOBAMBA – ESPOCH

DATOS	METODO	VALOR
Absorbencia de placa, α	Anexo 3	0,95
Transmisión de cubierta, τ	Anexo 4	0,9
Radiación incidente, I (W/m^2)	Ec. (3.1)	678,42
Temperatura de salida del fluido, T_f ($^{\circ}$)	Medición	313
Temperatura de entrada del fluido, T_i ($^{\circ}$)	Medición	288,4
Constante Stefan - Boltzman, σ ($W/m^2 *^{\circ}K^4$)	Tablas	5,6687E-08
Emisividad de la placa, e_p	Anexo 3	0,15
Emisividad de la cubierta, e_c	Asumido	1
Velocidad media del viento, V (m/s)	Tabla (3.4)	2,3
Emisividad del cielo, e_{cielo}	Asumido	1
Temperatura del cielo, T_{cielo} ($^{\circ}K$)	Ec. (4.14)	267,5
Temperatura media del ambiente, T_a ($^{\circ}K$)	Tabla (3.2)	286,4
Espesor del aislamiento térmico, b (m)	Recomendación	0,05
Conductividad del aislamiento, k ($W/m*^{\circ}K$)	Anexo 5	0,035
Temperatura media de la placa, T^p ($^{\circ}K$)	Recomendación (1)	343
Temperatura media de la cubierta, T_c ($^{\circ}K$)	Recomendación (1)	294
Longitud entre tubos, L (m)	Medición	0,1
Diámetro externo del tubo, D (m)	Medición	0,0155
Diámetro interno del tubo, D_i (m)	Medición	0,0125
Conductividad de la aleta, k_{al} ($W/m*^{\circ}K$)	Anexo 5	217,71
Espesor de la aleta, l (m)	Recomendación	0,013
Conductividad del agua, k_a ($Kcal/m*s*^{\circ}K$)	Tablas	1,50E-04
Peso específico del agua, ρ (Kg/m^3)	Tablas	1000
Viscosidad del agua, μ ($Kg/m*s$)	Tablas	6,17E-04
Caudal de agua circulante, Q (Lt)	Cálculos	250
Calor específico del agua, C_{pa} ($Kcal/Kg*^{\circ}K$)	Tablas	1
Flujo másico del agua, m (m^3/s)	Cálculos	6,95E-03
Número de tubos, n_t	Cálculos	11
Longitud del colector, Y (m)	Recomendación	1

TABLA 4.2: RESULTADOS DEL MODELO MATEMÁTICO

ITEM	METODO	RESULTADO
Calor de admisión, Q_A (W/m^2)	Ec. (4.4)	580,05
Calor de rechazo (Q_R) (W/m_2)	Ec. (4.5)	165,41
Pérdidas totales del sistema, U_t ($W/m^2 \cdot ^\circ$) [4...10]	1/Rt	6,72
Resistencia térmica total, R_t ($m^{2 \cdot ^\circ}C/W$)	Ec. (4.6)	0,15
Pérdidas térmicas por la cima, U_{cima} ($W/m^2 \cdot ^\circ$)	Ec. (4.7)	6,02
Conductancia por convección placa - cubierta, $h_{c p-c1}$ ($W/m^2 \cdot ^\circ$)	Ec. (4.9)	8,60
Conductancia por radiación placa - cubierta, $h_{r p-c1}$ ($W/m^2 \cdot ^\circ$)	Ec. (4.10)	1,18
Conductancia por convección cubierta – ambiente, $h_{c c1-a}$ ($W/m^2 \cdot ^\circ$)	Ec. (4.12)	14,44
Conductancia por radiación cubierta - ambiente, $h_{r c1-a}$ ($W/m^2 \cdot ^\circ$)	Ec. (4.13)	1,23
Resistencia térmica por la cima, R_{cima} ($m^{2 \cdot ^\circ}/W$)	Ec. (4.7)	0,17
Resistencia térmica placa - cubierta, R_3 ($m^{2 \cdot ^\circ}/W$)	Ec. (4.8)	0,10
Resistencia térmica cubierta - ambiente, R_4 ($m^{2 \cdot ^\circ}/W$)	Ec. (4.11)	0,06
Pérdidas térmicas por la base, U_{base} ($W/m^2 \cdot ^\circ$)	Ec. (4.15)	0,70
Resistencia térmica por la base, R_{base} ($m^{2 \cdot ^\circ}/W$)	$R_1 + R_2$	1,43
Resistencia por conducción del aislamiento, R_1 ($m^{2 \cdot ^\circ}/W$)	Ec. (4.16)	1,43
Resistencia térmica base - ambiente, R_2 ($m^{2 \cdot ^\circ}/W$)	Ec. (4.17)	0,00
Pérdidas térmicas por los flancos, $U_{flancos}$ ($W/m^2 \cdot ^\circ$)	Ec. (4.18)	0,00
Factor de remoción de calor, F_R [0.8...0.9]	Ec. (4.19)	0,82
Factor de eficiencia del sistema, η_s [≥ 0.9]	Ec. (4.20)	0,91
Eficiencia de la aleta, η_a [0.95... 1.0]	Ec. (4.21)	0,999
Coeficiente de película del fluido, h_f ($W/m^2 \cdot ^\circ$) [200 ... 600]	Ec. (4.23)	145,17
Capacidad térmica de la aleta, m (m^{-1})	Ec. (4.22)	1,54
Número de Nusselt, N_u	Ec. (4.24)	3,24
Número de Reynolds, R_e (< 2000, flujo laminar)	Ec. (4.25)	1024
Velocidad del fluido, V_f (m/s)	Ec. (4.26)	0,05
Número de Prandtl, P_r	Ec. (4.27)	4,11
Eficiencia del factor de flujo, η_f	Ec. (4.28)	0,90
Eficiencia térmica del colector, η [0.3 0.7]	Ec. (4.1)	0,58
Flujo másico por unidad de área, G ($Kg/m^2 \cdot s$)	Ec. (4.29)	0,00702

Finalmente se determina el rendimiento térmico del sistema; que tendrá un comportamiento lineal inverso entre eficiencia del sistema -vs- gradiente térmico de calentamiento del agua. Figura. 4.4

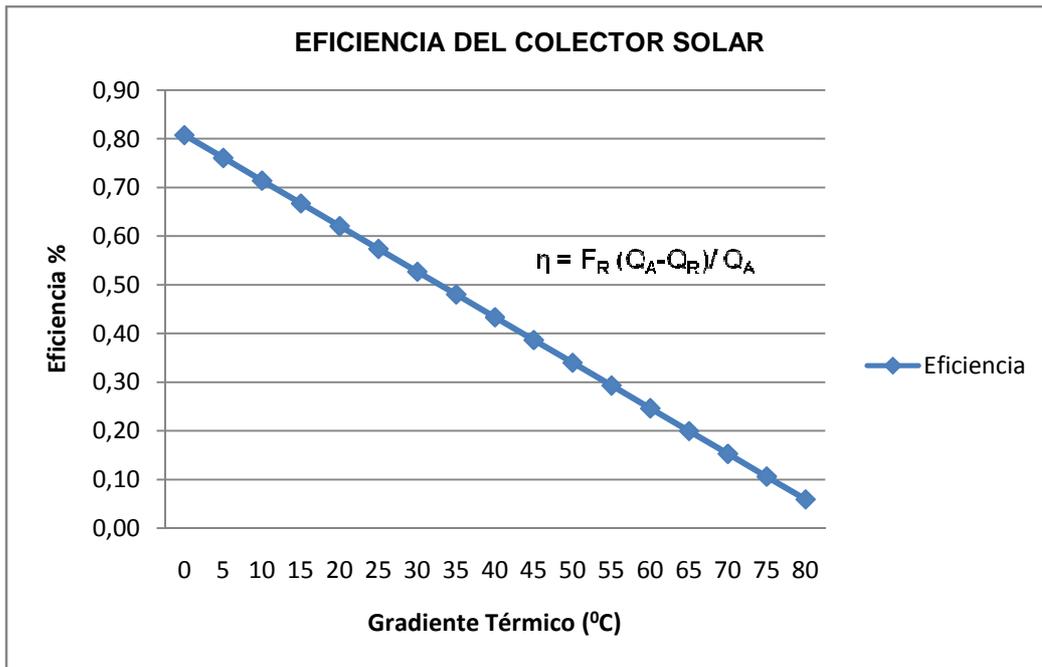


Fig. 4.4: Eficiencia – gradiente térmico

5.4. INDICADORES TÉCNICOS: CALOR TOTAL, CALOR ÚTIL, PÉRDIDAS ENERGÍA, EFICIENCIA.

Los indicadores técnicos del panel solar diseñado y calculado en los numerales anteriores, tienen las siguientes características:

- **Calor total:** es el calor que ingresa al sistema: $678,42 \text{ W/m}^2$, que es la radiación solar promedio incidente en la localidad (Riobamba), valor que fue determinado mediante cálculo de la fórmula (4.3) y que permite obtener con buena precisión la incidencia solar que llega a la corteza terrestre, este valor es el que se dispone de energía para fines de aprovechamiento energético.
- **Calor útil:** este valor es el que considera tanto la radiación incidente en la tierra, es decir el valor del calor total, analizado en el párrafo anterior y al que se le disminuye el calor que se rechaza debido a las pérdidas propias del sistema cuando se da el proceso de aprovechamiento de la energía radiante que llega al panel, cuyo valor es de 295.09 W/m^2 .
- **Pérdidas de energía:** Son las pérdidas de calor que se producen desde la placa absorbidora hasta el medio circundante del panel, estas han sido cuantificadas en el modelo matemático y consisten en las pérdidas por conducción y convección térmica desde la placa hasta el medio circundante de la base y flancos del panel, así como las pérdidas de calor por convección y radiación desde la placa hasta el medio circundante particularmente por la cubierta o cima del colector, estos valores están especificados gráficamente en las Figs. 4.1. y 4.2., numéricamente son de 6.68 W/m^2 .
- **Eficiencia del sistema:** Es el factor o coeficiente que determina el grado de aprovechamiento del calor que acompaña a la radiación incidente y que en el presente caso es del 58%, valor que indica que más de la mitad de la radiación incidente sobre el panel es aprovechada, este valor

podría ser mejorado siempre y cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- Las pérdidas totales de calor disminuyen.
- Disminuye el gradiente de temperatura ($T_{\text{salida}} - T_{\text{ingreso}}$) del agua.
- Aumente la transmisividad de la cubierta con un vidrio de alta calidad, es decir bajo contenido de óxido férrico (Fe_2O_3), vidrio de canto blanco.
- Que aumente la absorbencia de la placa colectora, mediante la preparación de la superficie selectiva con materiales altamente absorbentes (cuerpo negro).
- Mejore la radiación solar incidente sobre el panel.
- La distancia entre tubos de la placa colectora sea la adecuada esto es entre 7 y 20 cm de longitud.
- Que el material de la placa sea de alta conductividad térmica con la finalidad de incrementar la eficiencia de la aleta, el coeficiente de película del fluido, el factor de remoción de calor.
- Las pérdidas de calor por aislamiento tiendan al mínimo esto es obtener las mínimas pérdidas de calor en base a la selección de espesor crítico de aislamiento.

Todas estas consideraciones técnicas de carácter térmico, mecánico, hidráulico han sido observadas minuciosamente, basadas en las recomendaciones bibliográficas y comprobadas en las diferentes rutinas de cálculo del modelo matemático preparado, por lo que los resultados han sido

encontrados en base a la teoría del diseño óptimo, por lo que se presenta un sistema térmico de excelentes características.

5.5. ESTANDARIZACIÓN DE SISTEMAS SOLARES: POTENCIAL SOLAR- N_o. USUARIOS - AREA DE CAPTACIÓN

Uno de los objetivos centrales del presente trabajo, en función de los trabajos efectuados en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y otras fraternas universidades del país, así como la bibliografía mundial consultada nos permite plantear una estandarización de paneles solares para calentamiento de agua en base a la interrelación de las siguientes variables:

- Potencial solar
- Área de captación solar
- Caudal de agua a utilizar

Para lo que se encuentra el área de captación de los paneles en función de las otras dos variables, mediante la ecuación (3.3):

**TABLA 4.3: ESTANDARIZACIÓN DE COLECTORES SOLARES PARA
USO DOMÉSTICO**

USUARIO S	CAUDA L	AREA (m ²)/	A(m ²)/	A(m ²)/	A(m ²)/	A(m ²)/	A(m ²)/
N ₀ .	(Lts/día)	RADIACIÓ N (200 W/ m ²)	I(400 W/ m ²)	I(600 W/ m ²)	I(678,42 W/ m ²)	I(800 W/ m ²)	I(1000 W/ m ²)
1	50	1,37	0,68	0,46	0,40	0,34	0,27
2	100	2,74	1,37	0,91	0,81	0,68	0,55
3	150	4,11	2,05	1,37	1,21	1,03	0,82
4	200	5,48	2,74	1,83	1,62	1,37	1,10
5	250	6,85	3,42	2,28	2,02	1,71	1,37
6	300	8,22	4,11	2,74	2,42	2,05	1,64
7	350	9,59	4,79	3,20	2,83	2,40	1,92
8	400	10,96	5,48	3,65	3,23	2,74	2,19
9	450	12,33	6,16	4,11	3,63	3,08	2,47
10	500	13,70	6,85	4,57	4,04	3,42	2,74
11	550	15,07	7,53	5,02	4,44	3,77	3,01
12	600	16,44	8,22	5,48	4,85	4,11	3,29
13	650	17,81	8,90	5,94	5,25	4,45	3,56
14	700	19,18	9,59	6,39	5,65	4,79	3,84
15	750	20,55	10,27	6,85	6,06	5,14	4,11
16	800	21,92	10,96	7,31	6,46	5,48	4,38
17	850	23,29	11,64	7,76	6,87	5,82	4,66
18	900	24,66	12,33	8,22	7,27	6,16	4,93
19	950	26,03	13,01	8,68	7,67	6,51	5,21
20	1000	27,40	13,70	9,13	8,08	6,85	5,48

Estandarización realizada en hoja de cálculo y en Visual Basic. Anexo

(7).

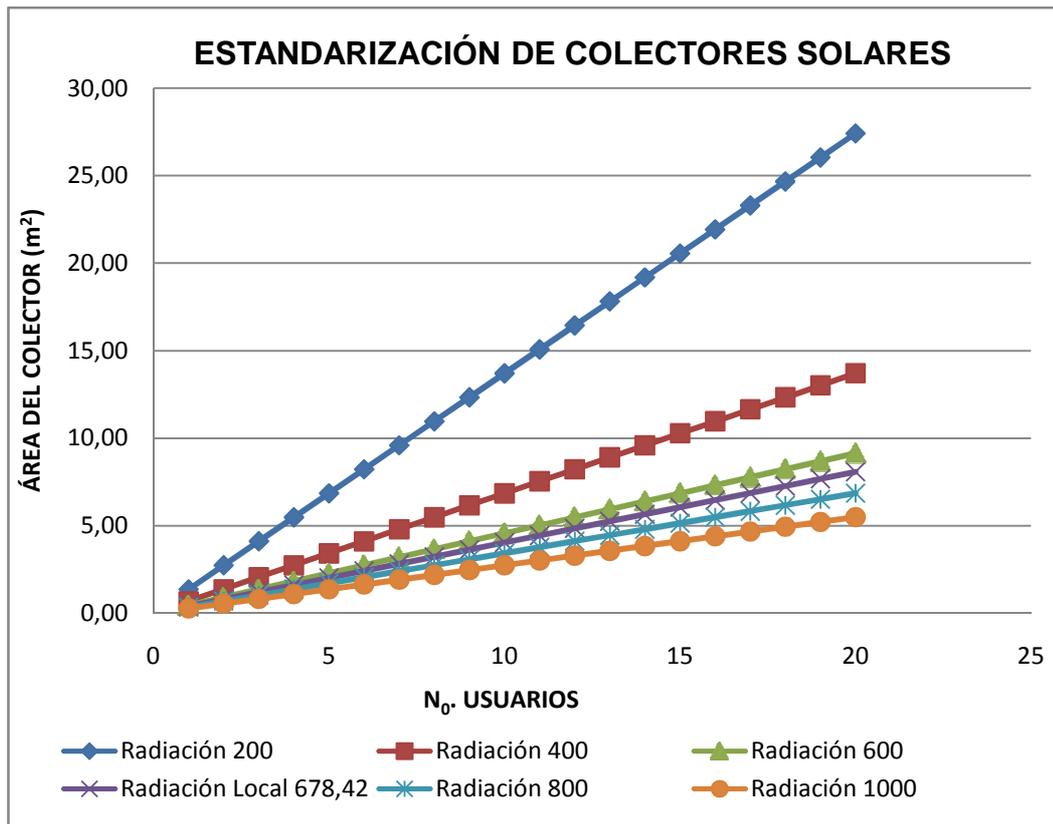


Fig. 4.5: Estandarización de colectores solares para uso doméstico

5.6. ESQUEMAS DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA

En las figuras a continuación, se muestran secuencialmente las partes constitutivas del sistema de calentamiento estandarizado:



Fig. 4.6: Panel absorbedor



Fig. 4.7: Tanque reservorio aislado



Fig. 4.8: Tubería y accesorios de ingreso de agua fría



Fig. 4.9: Tubería y accesorios de salida de agua caliente

5.7. INSTALACIÓN DEL SISTEMA

El sistema de calentamiento de agua con energía solar, luego de su proyectación, rediseño y estandarización según la teoría planteada en el presente estudio, ha sido adquirido en el mercado nacional y se procede a su instalación en la Facultad de Mecánica, para que el mismo sirva como un aporte para la formación práctica de nuevas generaciones de profesionales de nuestra Escuela y Facultad, además se considera que una aplicación práctica conlleva a un mejor entendimiento del funcionamiento del sistema y una visualización real de equipos de transformación de energía renovable, en este caso la energía solar.

Para la instalación del equipo de calentamiento de agua se consideran los siguientes parámetros:

- Equipo: sistema de calentamiento de agua con energía solar: (equipo estandarizado).
- Tipo: panel de tubos cabezales y paralelos con reservorio de agua (condición de diseño del sistema).
- Área de captación: Un panel de 2 m² (Área de captación estandarizada para una familia promedio en Riobamba, 5 personas).
- Sistema de almacenamiento de agua caliente: Tanque aislado de 120 litros (sistema de calentamiento continuo con efecto termosifón).

- Materiales del sistema: Los seleccionados en la modelación matemática (en función de criterios de optimización del diseño).
- Lugar de instalación: Facultad de Mecánica de la ESPOCH.
- Posicionamiento geográfico: Latitud: $1^{\circ} 38'$ (S), Longitud: $78^{\circ} 48'$ (O)
- Orientación: sur-norte; con inclinación del panel encarada al norte geográfico. (ver Fig. 4.10), a efectos de que no hayan sombras en el panel por el aparente movimiento del sol de este a oeste.
- Inclinación del panel absorbedor: Latitud geográfica de Riobamba, más $10^{\circ} \approx 11^{\circ}$, con esta inclinación se garantiza una incidencia perpendicular de los rayos del sol sobre el panel, durante el año.
- No deben existir sombras sobre el panel, debido a presencia de árboles, paredes, edificaciones, para la mejor y mayor captación de incidencia solar.
- El mantenimiento del sistema se efectuará periódicamente, esto es: limpieza semanal de la cubierta de vidrio del panel absorbedor, desoxidación de tuberías internas cada tres (3) meses, control de los accesorios del sistema cada mes.
- Garantizar el flujo constante de agua de ingreso de la red de alimentación.



Fig. 4.10: Sistema instalado y funcionamiento

5.8. PRUEBAS Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Para el presente trabajo se ha considerado como prueba de funcionamiento, la ejecución de experiencias de calentamiento del agua en el sistema debidamente instalado en diferentes días, los mismos que muestran diversas características de intensidad de radiación, esto es:

- Días con gran insolación
- Días con mediana insolación
- Días con baja intensidad de insolación

En los días con diversa insolación el calentamiento del agua es obviamente diferente, como se puede observar en las figuras a continuación:

**TABLA 4.4: TEMPERATURA DEL AGUA - TIEMPO DE CALENTAMIENTO
DIAS DE ALTA INSOLACIÓN**

DIA/HORA	05/03/2009	06/03/2009	07/03/2009	08/03/2009	PROMEDIO
08H00	16,2	16,5	16,1	16,3	16,3
08H30	17,1	18,3	17,3	17,0	17,4
09H00	20,2	19,4	20,4	18,7	19,7
09H30	24,5	25,2	25,2	29,2	26,0
10H00	31,5	30,4	31,0	38,4	32,8
10H30	39,2	37,6	36,8	47,6	40,3
11H00	47,2	45,6	44,6	51,6	47,3
11H30	53,4	50,5	52,0	59,5	53,9
12H00	61,2	57,6	58,8	67,0	61,2

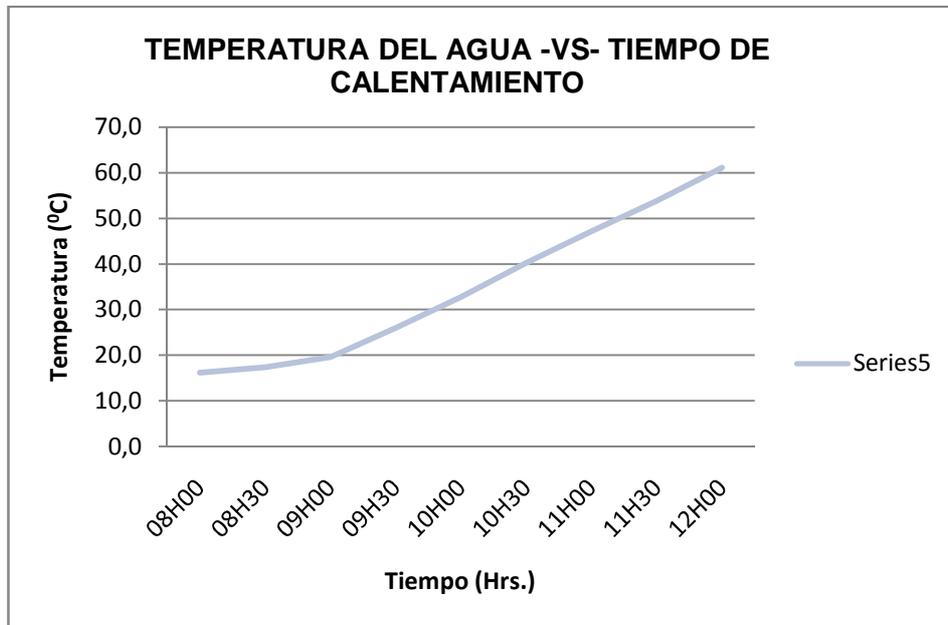


Fig. 4.11. Calentamiento del agua – tiempo (alta insolación)

El calentamiento del agua es ligero, en aproximadamente 2.5 horas de insolación se obtienen temperaturas de hasta 40 °C, para los 120 litros de agua del reservorio, que mezcladas con agua de la red, se tendría 250 litros para el uso de la familia.

TABLA 4.5: TEMPERATURA DEL AGUA - TIEMPO DE

**CALENTAMIENTO
DIAS DE INSOLACIÓN MEDIA**

DIA/HORA	03/03/2009	04/03/2009	PROMEDIO
08H00	16,2	16,5	16,4
08H30	17,1	17,3	17,2
09H00	20,2	19,4	19,8
09H30	24,5	23,2	23,9
10H00	29,0	30,0	29,5
10H30	33,2	35,0	34,1
11H00	36,2	37,0	36,6
11H30	39,4	40,5	40,0
12H00	41,2	42,0	41,6
12H30	45,2	44,0	44,6
13H00	46,0	50,0	48,0
13H30	50,0	52,0	51,0
14H00	52,0	53,0	52,5

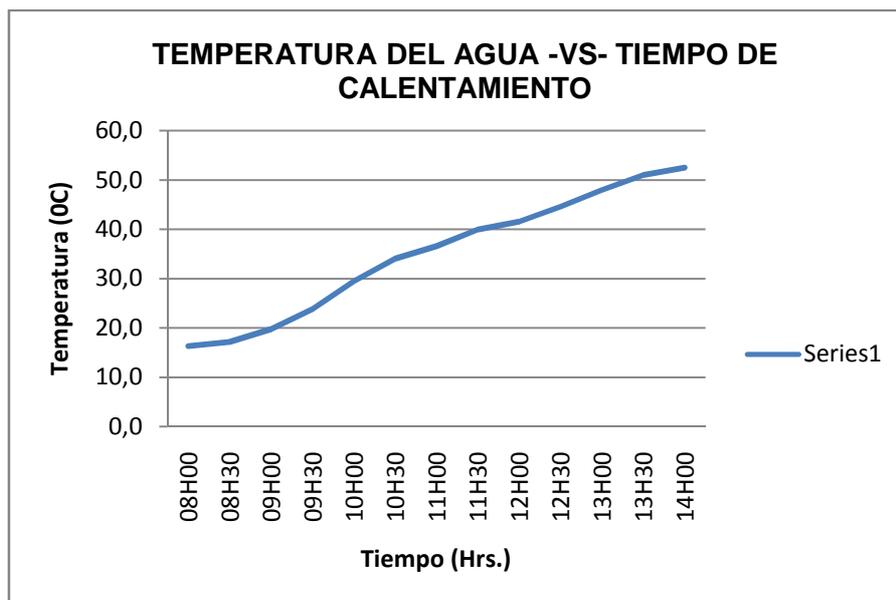


Fig. 4.12. Calentamiento del agua – tiempo (mediana insolación)

El calentamiento del agua es más lento que con intensidad de radiación fuerte, en aproximadamente 4 horas de insolación se obtienen temperaturas de hasta 40 °C, para los 120 litros de agua del reservorio, igualmente, que mezclada con agua de la red, se tendría 250 litros para el uso de la familia.

**TABLA 4.6: TEMPERATURA DEL AGUA - TIEMPO DE CALENTAMIENTO
DIAS DE BAJA INSOLACIÓN**

DIA/HORA	01/03/2009	02/03/2009	PROMEDIO
08H00	16,2	16,0	16,1
08H30	17,1	17,3	17,2
09H00	20,2	19,4	19,8
09H30	22,5	20,0	21,3
10H00	24,0	21,0	22,5
10H30	26,0	23,0	24,5
11H00	26,2	25,6	25,9
11H30	30,4	31,0	30,7
12H00	33,2	31,5	32,4
12H30	37,0	35,0	36,0
13H00	41,6	36,6	39,1
13H30	42,0	37,0	39,5
14H00	43,0	41,0	42,0

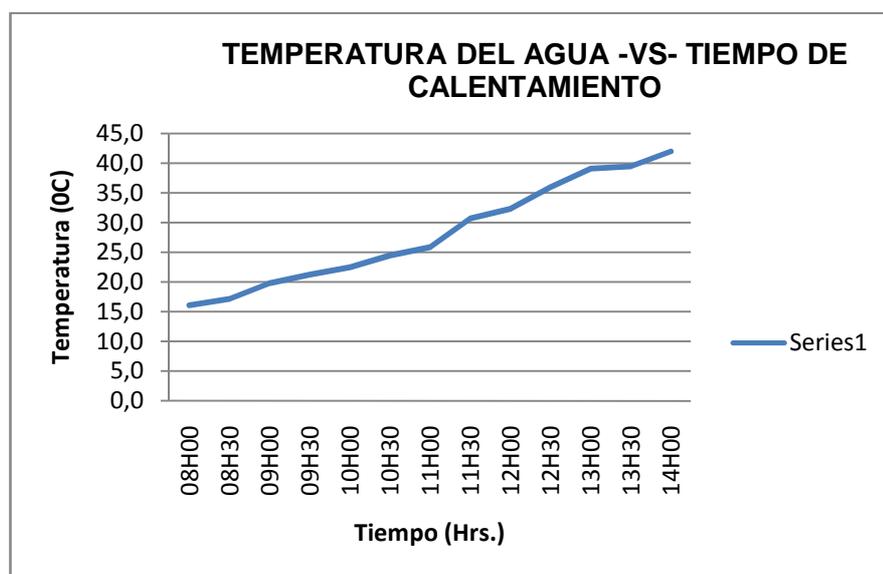


Fig. 4.13. Calentamiento del agua – tiempo baja insolación

El calentamiento del agua es lento, en aproximadamente 6 horas de insolación se obtienen temperaturas de hasta 40 °C, para los 120 litros de agua del reservorio, y mezcladas con agua de la red, se tendría 250 litros para el uso.

Consecuentemente con cualquier tipo de radiación solar, se tienen condiciones de operación adecuadas.

Es importante manifestar, que al final del día (18H00) se tiene el reservorio con agua sobre los 40-50 °C, y en la experimentación efectuada se comprobó la bondad del aislamiento térmico de todo el sistema particularmente del reservorio, pues, al día siguiente, la temperatura del agua, no desciende mayormente, sino que se mantiene con un menor gradiente térmico entre 5-6 °C, garantizando el uso continuo del agua temperada con energía solar, además que el calentamiento en el día siguiente será en tiempos considerablemente menores, ya que el gradiente térmico será menor.

CAPITULO V

5. ESTUDIO DE COSTOS Y RENTABILIDAD

5.1. GENERALIDADES

Los costos que representan la generación energética renovable (solar) son considerados altos en su inversión inicial, pues, estos costos consideran entre otras cosas a los equivalentes a:

- Materiales
- Tecnología y procesos de fabricación
- Mano de obra
- Transporte
- Procesos de instalación
- Pruebas y funcionamiento

Estos rubros se suman y constituyen la inversión inicial del sistema, que el usuario debe absorber generalmente en un solo pago, constituyéndose en una erogación considerada alta.

Luego de haber efectuado la proyección, estandarización y selección técnica del sistema de calentamiento de agua de uso doméstico, en el siguiente numeral se presenta el análisis de costos del sistema.

5.2. COSTOS DIRECTOS

Los costos directos son gastos generales fijos, que se presentan a un inicio de la inversión y son de valor constante. (12)

Dentro de la inversión de adquisición del equipo, se tiene valores fijos detallados a continuación:

TABLA: 5.1 COSTOS MATERIALES ADQUIRIDOS

Unid.	Denominación	Cantidad	Precio U.(\$)	Subtotal (\$)
u	Panel Solar	1	350	350
u	Tanque de Almacenamiento	1	471	471
			Subtotal 1	821

TABLA: 5.2 COSTOS MANO DE OBRA

Cant	Operador	Horas - Hombre	Costo/hora	Subtotal (\$)
1	Soldador	3	3,75	11,25
1	Gasfitero	10	2	20
1	Operario	2	1,8	3,6
			Subtotal 2	34,85

TABLA: 5.3 COSTOS MÁQUINAS HERRAMIENTAS

Cant.	Denominación	Horas - Equipo	Costo/hora	Subtotal (\$)
1	Dobladora	1	1	1
1	Tarrajadas de 1/2" , 3/4" y 1"	1	1	1
1	Amoladora	1	2	2
1	Soldadora eléctrica	2	5	10
1	Soldadora oxi-acetilénica	1	10	10
1	Compresor	1	3	3
1	Varios	1	0,5	0,5
			Subtotal 3	27,5

TABLA: 5.4 COSTOS TRANSPORTE

N°	Denominación	Cantidad	Costo Uni.(\$)	Subtotal (\$)
1	Movilización.	1	2,5	2,5
			Subtotal 4	2,5

El costo total directo para la construcción del equipo solar es de:

Subtotal 1	821
Subtotal 2	34,85
Subtotal 3	27,5
Subtotal 4	2,5
TOTAL	885,85

5.3. COSTOS INDIRECTOS

Son todos los gastos variables que se tienen y comprenden lo siguiente:

- Costo ingenieril
- Utilidad
- Imprevistos

TABLA: 5.5 COSTO INGENIERIL

N°	Denominación	Cantidad	Costo Uni.(\$)	Subtotal (\$)
1	Diseño y construcción de los soportes	1	72	72
1	Montaje del equipo	1	16,62	16,62
			Subtotal 1	88,62

Utilidad.- Se considera el 0% del costo directo total por que es un equipo tipo para la tesis presentada.

Imprevistos.- Se considera un 3% del costo directo total, por lo tanto es del \$26.53.

El costo total indirecto para la ejecución del equipo solar es de:

Subtotal 1	88,62
Subtotal 2	0
Subtotal 3	26,53
TOTAL	115,15

5.4. COSTOS TOTALES DEL PROYECTO

El costo total es la suma de los costos directos más los costos indirectos, por lo tanto el costo total del equipo es de 1001 dólares.

Dentro del cálculo del costo total de proyecto, se debe conocer el punto de equilibrio que es una herramienta importante de la administración; gráfica que generalmente es utilizada en varias formas de análisis económicos para la toma de decisiones, en este caso adquisición o no del equipo, la misma que será determinada mas adelante.

5.5. VALOR ACTUAL NETO (VAN) Y TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Para el cálculo de la tasa interna de retorno, primero se debe calcular el valor positivo y el valor negativo del valor actual neto.

Según las especificaciones técnicas del fabricante, la vida útil promedio del equipo es de 20 años, este tiempo es una estimación mínima, ya que el sistema puede durar más tiempo.

El consumo anual por vivienda es de \$ 310, este valor representa un ingreso en caso de que el equipo ya haya sido adquirido, el mismo que se lo conoce como valor actual de ingresos (VAI), por lo tanto el costo de adquisición es el valor actual de egresos (VAE).

Valores que restados nos dan como resultado el valor actual de ingresos expresado de la siguiente forma:

$$VAN = VAI - VAE \quad (5.1)$$

$$VAI = A * \left(\frac{P}{A}, i\%, n\right) \quad (5.2)$$

$$VAE = 1001$$

Para un interés del 46%, se tiene un valor actual neto de 7.197, mientras que para un interés del 47%, se obtiene un valor de -14.167, rango que nos permite calcular la tasa interna de retorno (TIR), cuando el valor del VAN es cero como se observa en la figura 5.1.

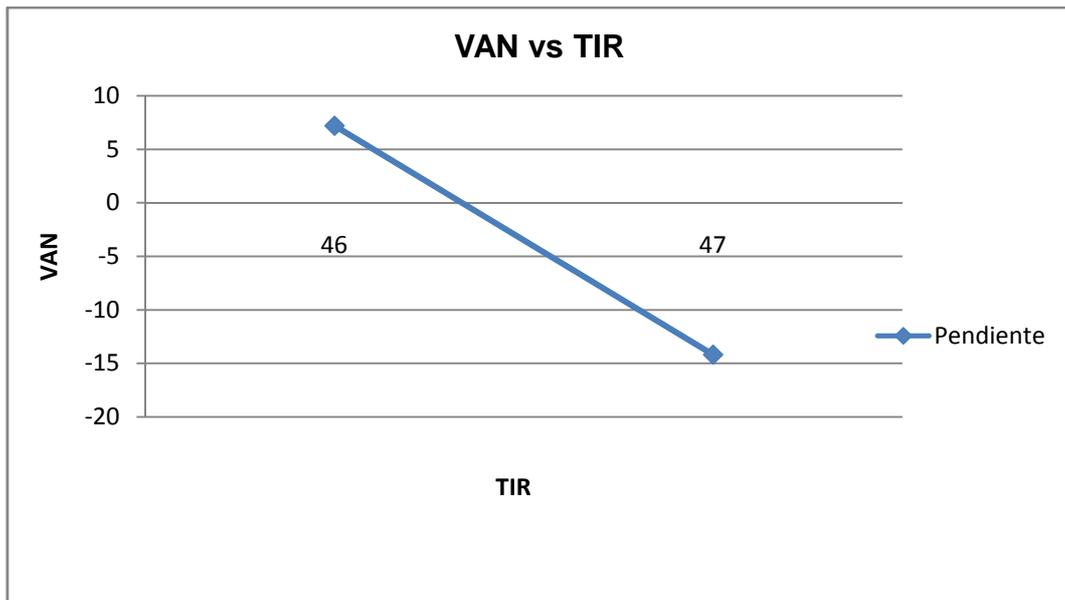


Fig. 5.1: Tasa interna de retorno

La tasa interna de retorno es del 46.34%, valor considerado como aceptable, ya que es el resultado de la transacción económica, en este caso exitosa.

5.6. RENTABILIDAD DEL PROYECTO

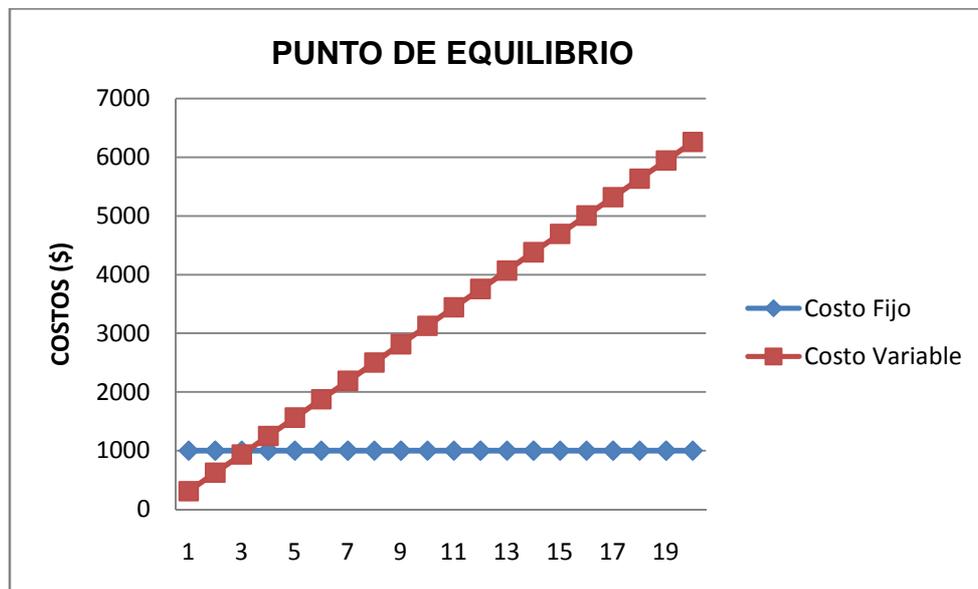


Fig. 5.2: Análisis del punto de equilibrio

Al analizar la gráfica, se observa que la inversión del equipo se recupera en tres años aproximadamente, en el caso de un financiamiento personal que se explicará más adelante.

5.7. FINANCIAMIENTO

En el caso de la implementación de sistemas de calentamiento de agua para uso doméstico en Riobamba, se plantean las siguientes alternativas económicas:

- **Financiamiento personal:** esto es que el sistema a instalarse sea financiado por los propios usuarios en el valor que implica el mismo, esto es mil un dólares (US\$ 1001,00) por sistema para cada cinco (5) personas, este sistema de compras implica una disminución del costo en 7% del valor comercial por parte del vendedor de equipos.
- **Financiamiento a través de la casa distribuidora de equipos:** que permitiría una adquisición del sistema en cuotas prorrateadas a 3, 6, 9, 12 meses del costo del equipo con un recargo adicional por concepto de financiamiento, que contempla tasas permitidas por la ley. (12% anual).
- **Financiamiento a través de tarjetas de crédito:** las que permiten la adquisición del sistema solar inmediato y sin recargo adicional por tasas de financiamiento si la compra es hasta tres (3) meses sin intereses. Cuando supera este tiempo se recargan tasas de interés variable dependiendo del tiempo de crédito. (Anexo 7)

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- La energía para uso doméstico en Ecuador y en Riobamba se centraliza en la utilización de electricidad del S.N.I. o quema de GLP principalmente lo que ocasiona que el costo energético correspondiente a este uso sea alto, pues para una familia media de Riobamba (5 personas) implica un pago de electricidad que bordea los 15 dólares mensuales.
- En Riobamba y Ecuador el uso de la energía solar para calentamiento de agua para uso doméstico es incipiente, debido principalmente a la falta de incentivos del uso de las fuentes alternas de energía, así como de los aparentes costos elevados en su implementación, \$1001,00 el sistema, para una familia promedio en la Ciudad.
- El costo de implementación de sistemas de calentamiento de agua para uso doméstico es fácilmente amortizable en un lapso de 3 años.
- La energía del sol en Riobamba es considerable, pues llega como promedio alrededor de 678 W/m^2 , lo que permite la utilización adecuada de energía solar , ya que de promedio en la Ciudad se tendría sobre los

5 KW/m².dia, valor superior a los 3 KW/m².dia, que son requeridos para que un sistema de calentamiento de agua sea rentable.

- La tecnología para la implementación de sistemas de calentamiento de agua para uso doméstico es accesible y adaptable al medio, pues los materiales para la construcción de los mismos son de fácil consecución en el mercado nacional, así como su construcción, inclusive en talleres mecánicos no tan sofisticados ni provistos de máquinas especiales.
- De las encuestas efectuadas en el presente trabajo se determina que el 74% de familias consultadas desearía implementar el sistema de calentamiento de agua con energía solar, toda vez, que el consumo de energía para calentamiento de agua de uso doméstico es de aproximadamente 0.17 c.\$/día, que en el año acumulan a \$ 62.05/persona.
- La estandarización de los sistemas de calentamiento de agua con energía solar se basó en la modelación matemática que permite relacionar las siguientes variables: área de paneles solares (dependiente) en función de la radiación solar incidente y número de personas.
- La tabla de estandarización de sistemas solares para calentamiento de agua es amplio, desde una persona hasta familias numerosas (20 personas), es decir que incluye a toda gama de familias de la Ciudad y País.

- La estandarización no solo permite la selección de equipos estandarizados en Riobamba, sino en cualquier posición geográfica cuya radiación solar se encuentre en el rango de 200 a 1000 W/m², que incluye a todos los lugares de Ecuador.
- El equipo típico estandarizado para la Ciudad de Riobamba es de 2 m² de área de colector, con tanque reservorio de 120 litros, que da cobertura para los miembros de una familia de 5 personas.
- El costo del equipo estandarizado es de US \$1001,00 debidamente instalado y que incluye un sensor para actuar en caso de que la irradiación solar sea insuficiente y utilizaría un sistema auxiliar de energía eléctrica, lo que le da versatilidad y seguridad al sistema solar con energía eléctrica.
- Los materiales que fueron seleccionados con las mejores características para el sistema son: cubierta de vidrio, placa absorbente de aluminio comercial, tubería del panel: cobre, aislamiento del panel: poliuretano, tuberías exteriores: manguera de PVC y CPVC, reservorio de agua: tanque aislado con poliuretano de doble fondo. soporte del panel y reservorio: de acero estructural.
- De la modelación matemática se concluye que el sistema tiene una eficiencia de 58%, considerada alta, por la adecuada selección de los materiales, en función de consideraciones mecánicas, térmicas e hidráulicas de los mismos.

- El uso de la energía solar para calentamiento de agua es una alternativa válida con la finalidad de ahorrar energía de tipo convencional y si la ciudad utilizaría esta fuente alterna de energía se estaría ahorrando 286,18 MW-h /día o el equivalente a 104.455.7 MW-h /año en la Ciudad, con el consecuente ahorro económico y además estaríamos evitando contaminación ambiental particularmente de SO_x, NO_x, CO_x, gases nocivos que se presentan en la generación térmica y que agravan el problema del calentamiento global del planeta.
- El funcionamiento del sistema estandarizado es adecuado, pues así lo demuestran las pruebas de funcionamiento y operación, pues se requieren de 2, 3 y 6 horas para calentar el agua del reservorio con insolaciones altas, medianas y bajas.
- Se puede concluir, que se puede fácilmente duplicar y hasta triplicar el calentamiento de agua que supera los 40 °C asumidos, con el consecuente funcionamiento continuo de agua sin uso de energía auxiliar.
- Se debe mantener siempre conectado el sistema a la red doméstica de agua de la vivienda para garantizar el flujo continuo de agua y evitar elevaciones excesivas de temperaturas.
- El funcionamiento del sistema de calentamiento estandarizado debe mantener una altura de 1 metro desde la base del piso hasta la entrada de agua caliente al sistema, ó al menos 40 centímetros, desde la salida del agua del panel hasta la entrada de ésta la tanque reservorio.

- En Riobamba al existir de promedio cinco (5) horas de sol brillante al día en el año está garantizado el funcionamiento del sistema estandarizado en todo el tiempo y estación anual.

6.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el sistema solar de calentamiento de agua de uso doméstico no trabaje a más de 40 °C, a fin de evitar pérdidas térmicas y disminuir la eficiencia del colector, manifestando que la eficiencia del sistema es inversamente proporcional al gradiente térmico.
- Se recomienda la instalación del sistema solar en lugares donde no haya sombras sobre el panel (techos, terrazas de las casas) y observen una orientación del panel de 10° y un encaramiento hacia la línea ecuatorial es decir mirando al hemisferio norte para garantizar una adecuada trayectoria aparente del sol.
- Que se procure un mantenimiento periódico de limpieza semanal del sistema particularmente, de la cubierta del panel (vidrio) y una desoxidación de las tuberías cada tres (3) meses).
- Se mantenga un flujo constante de agua desde la red domiciliaria para garantizar el calentamiento estacionario del agua, el mismo que es controlado por la válvula check ubicada en el ingreso del agua fría del sistema.
- La instalación doméstica del agua debe incluir un sistema de mezcla de agua para el uso, pues las temperaturas que se alcanzan son superiores

a los 40 °C, con lo que se estaría en capacidad de duplicar el volumen de agua temperada, con los consiguientes beneficios para el usuario.

- Concienciar a la ciudadanía respecto al uso de la energía solar como alternativa energética para el calentamiento de agua de uso doméstico.
- Entregar el presente documento a instituciones públicas y privadas para que se procure la implementación de la energía solar como alternativa energética para el calentamiento de agua de uso doméstico.
- Que la Facultad de Mecánica de la ESPOCH retome el liderazgo en estudios, desarrollo e implementación de sistemas energéticos renovables a nivel local y nacional.
- Se haga una difusión masiva de los resultados del presente trabajo a todo nivel, particularmente en Colegios, Facultades de Educación Superior y ciudadanía en general.
- Se busque la posibilidad de que la Facultad de Mecánica y su Escuela de Ingeniería Mecánica a través de sus talleres y CEDICOM puedan producir equipos de calentamiento de agua con energía solar y ubique estos productos en el mercado nacional como una fuente de autogestión de la Facultad, así como de una verdadera vinculación entre la ESPOCH y la colectividad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **ASHRAE.** Manual de Climatización. USA, 2000, pp: 244-245
- [2] **FOSTER, Arthur.** Energía Solar. Método de Cálculo de Colectores Solares. Quito: EPN., 1980, pp: 70-91
- [3] **KREITH I.T.C.-** Principles of heat transfer.- 2a. Edición.- New York.- USA.- 1980. pp: 13-47
- [4] **LIND, Marshall.** Estadística para Administración y Economía. 11va. Ed. Bogotá - Colombia: D`Vinni.- Ltda., 2004, pp: 261-420
- [5] **MANRIQUE, José A.- G.-** Energía Solar. Fundamentos y Aplicaciones Foto térmicas. México: Harla S.A., 2000, pp: 99-137
- [6] **MINISTERIO DE ELECTRICIDAD.-** Ecuador. Publicaciones periódicas. Quito – Ecuador, 2008
- [7] **OLIVA, Luis y otros.** Generadores de Vapor. Curso de Maestría en Energía. Riobamba –Ecuador, 1997
- [8] **RAU, Hans.** Energía Solar y Aplicaciones. EE.UU, 2005, pp: 101-102
- [9] **SALVAT.** Colección. 5ta. Ed. México, 2004
- [10] **SANTILLÁN, Rodolfo.** Fuentes Alternas de Energía, Energía Solar. Riobamba - Ecuador: ESPOCH, 2000, pp: 24-48
- [11] **SANTILLÁN, Rodolfo.** Tecnología y Medio Ambiente. Texto básico. Riobamba: Facultad de Mecánica. ESPOCH, 2005, pp: 12-23
- [12] **TARQUIN, Anthony.** Ingeniería Económica. 6ta. Ed. México: McGraw-Hill., 2006, pp: 226-311
- [13] **VIZUETE, Luis y otro.** Diseño de Colectores Solares para el Hotel Manabí. Tesis de Grado. Riobamba-Ecuador, 1998

BIBLIOGRAFÍA

- ASHRAE.** Manual de Climatización. USA, 2000
- DANIELS, Farrington.** Uso de la Energía Solar. México: Baume, 1980
- FOSTER, Arthur.** Energía Solar. Método de Cálculo de Colectores Solares.
Quito: EPN., 1980
- KREITH I, T.C.** Principles of Heat Transfer. 2da. Ed. New York-USA, 1980.
- LIND, Marshall.** Estadística para Administración y Economía. 11va. Ed.
Bogotá - Colombia: D'Vinni.- Ltda., 2004
- MANRIQUE, José A.- G.-** Energía Solar. Fundamentos y Aplicaciones Foto
térmicas. México: Harla S.A., 2000
- MINISTERIO DE ELECTRICIDAD.-** Ecuador. Publicaciones periódicas.
Quito – Ecuador, 2008
- MONTGOMERY, Richard.** La Crisis de la Energía. 2da. Ed. México, 2001
- OLIVA, Luis y otros.** Generadores de Vapor. Curso de Maestría en
Energía. Riobamba –Ecuador, 1997
- PAZMIÑO, Marco.** Energía Solar, Teoría y Experimentos. Guayaquil-
Ecuador: ESPOL, 1985
- RAU, Hans.** Energía Solar y Aplicaciones. EE.UU, 2005
- SALVAT.** Colección. 5ta. Ed. México, 2004
- SANTILLÁN, Rodolfo.** Fuentes Alternas de Energía, Energía Solar.
Riobamba - Ecuador: ESPOCH, 2000
- SANTILLÁN, Rodolfo.** Tecnología y Medio Ambiente. Texto básico.
Riobamba: Facultad de Mecánica. ESPOCH, 2005
- TARQUIN, Anthony.** Ingeniería Económica. 6ta. Ed. México: McGraw-Hill.,
2006

VIZUETE, Luis y otro. Diseño de Colectores Solares para el Hotel Manabí.

Tesis de Grado. Riobamba-Ecuador, 1998

ANEXOS