

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

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

TEMA:

**“ANÁLISIS DEL RECURSO SOLAR Y CARACTERIZACIÓN DEL
COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO ENTRE UN CALENTADOR SOLAR DE
AGUA IMPORTADO MARCA HELIOLCOL Y UN NACIONAL DE 2 m² EN LA
ESPE”**

ELABORADO POR:

Miguel Alejandro Mena Coba

DIRECTOR: ING. JOSÉ GUASUMBA

CODIRECTOR: ING. ROBERTO GUTIÉRREZ

SANGOLQUI - ECUADOR

MAYO - 2013

CERTIFICACION DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto: **“ANÁLISIS DEL RECURSO SOLAR Y CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO ENTRE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA IMPORTADO MARCA HELIOLCOL Y UN NACIONAL DE 2 m² EN LA ESPE”**, fue realizado en su totalidad por el Sr. Miguel Alejandro Mena Coba, como requerimiento previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Atentamente:

Ing. José Guasumba

Ing. Roberto Gutiérrez.

Sangolqui, 16 de mayo de 2013

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“ANÁLISIS DEL RECURSO SOLAR Y CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO ENTRE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA IMPORTADO MARCA HELIOLCOL Y UN NACIONAL DE 2 m² EN LA ESPE”.

ELABORADO POR:

Sr. Miguel Alejandro Mena Coba

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Ing. Angeló Villavicencio

Sangolqui, 16 de mayo de 2013

AUTORIZACIÓN

Yo, Miguel Alejandro Mena Coba

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “**ANÁLISIS DEL RECURSO SOLAR Y CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO ENTRE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA IMPORTADO MARCA HELIOLCOL Y UN NACIONAL DE 2 m² EN LA ESPE**”, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolqui, 16 de Mayo 2013

Sr. Miguel Alejandro Mena Coba

CI: 171650410-3

DEDICATORIA

El presente proyecto va dedicado a mis padres y hermana Alicia, José y Karina, por su apoyo constante durante toda mi vida, gracias a su cariño y consejos e logrado cumplir una meta más en mi vida.

También quiero dedicar este proyecto a mi esposa Judy, que gracias a su apoyo nunca deje de luchar por conseguir esta meta alcanzada, a mi hijo Alexandre quien fue mi gran motivación.

Miguel Mena C

Autor

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la salud y la inteligencia para alcanzar un objetivo más y poder comprobar una vez más que todo se puede en esta vida.

Por el amor y cariño que nos brindaron, agradezco a mis padres por darme una carrera para mi futuro y por creer en mis capacidades para salir adelante a pesar de las adversidades, siempre supieron brindarme su apoyo, sus consejos, su motivación constante e incondicional en todo momento, como también les agradezco por haber inculcado en mi los valores de paciencia, responsabilidad y esfuerzo, para lograr culminar con éxito lo que se empieza, superando todos los obstáculos que se presentan en la vida.

Al concluir la Tesis presento mis más profundos agradecimiento y reconocimiento:

A la Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, de manera especial a los docentes que compartieron sus experiencias y conocimientos, contribuyendo en mi formación y capacitación profesional.

A mi Director Ing. José Guasumba y Codirector de Tesis Ing. Roberto Gutiérrez, por sus valiosas orientaciones y recomendaciones en el desarrollo de la misma.

INDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
Certificación de la elaboración del proyecto.....	i
Legalización del proyecto.....	ii
Autorización	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento	v
Índice de contenidos	vi
Índice de figuras.....	x
Índice de tablas.....	xiii
Índice de anexos.....	xv
Nomenclatura.....	xvi
Resumen.....	xviii
CAPITULO 1	1
GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Definición del problema.....	4
1.3 Objetivos.	4
1.3.1 General.	4
1.3.2 Específicos.....	5
1.4 Alcance	5
1.5 Justificación e importancia del proyecto.....	5
CAPITULO 2	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1 Técnicas de estimación de la radiación solar.....	7
2.1.1 Método de amstrong page	7
2.1.2 Método ISF.....	11
2.1.3 Datos de satélite de la nasa	11

2.1.4 Método de medición con instrumentos.....	12
2.2 Estado del arte de sistemas de calentamiento de agua alternativos.....	16
2.2.1 Colectores Concentradores.....	16
2.2.2 Calderas De Biomasa	18
2.2.3 Colectores solares de botellas plásticas	20
2.2.4 Sistema Green Ward ridge vent.....	21
2.3 Colector solar plano.	22
2.3.1 Balance térmico en colectores solares.....	24
2.3.2 Rendimiento de un colector.....	24
2.3.3 Distribución de temperatura en colectores de placa plana.....	25
2.3.4 Coeficiente global de pérdidas del colector plano	26
2.3.5 Calculo coeficientes de transferencia:.....	27
2.3.6 Calculo de coeficientes de transferencia (cont.):.....	27
2.3.7 Comportamiento óptico de cubiertas.....	28
2.3.8 Propiedades ópticas de vidrios no absorbentes	29
2.3.9 Comportamiento óptico de cubiertas (cont.).....	29
2.3.10 Comportamiento Óptico Conjunto Cubierta-Placa	30
2.3.11 Comportamiento Térmico Placa Absorbente.....	32
2.3.12 Comportamiento Térmico Placa Absorbente (Cont.).....	33
2.3.13 Solución De Temperatura Del Fluido A Lo Largo Del Colector	34
2.3.14 Evolución De Temperatura Del Fluido A Lo Largo Del Colector (Cont.)	35
2.3.15 Temperaturas Medias Del Fluido Y De La Placa	36
2.4 Comportamiento macroscópico de los sistemas de calentamiento de agua...	36
2.5 Colectores desarrollados con materiales avanzados.	40
2.5.1 Colector Solar De Tubos De Vidrio Al Vacío	40
2.5.2 Colector Solar De Polipropileno.	42
2.6 Normas para captadores solares.	43
CAPITULO 3	44
ANALISIS DEL RECURSO SOLAR	44
3.1 Radiación directa.	44
3.2 Radiación difusa.....	45
3.3 Radiación de albedo o reflejada.....	45
3.4 Radiación global.....	46

CAPITULO 4	47
ANÁLISIS COMPARATIVO DE COLECTORES	47
4.1 Colector solar nacional.	47
4.1.1 Características geométricas.....	47
4.1.2 Función y valores característicos.	47
4.1.3 Especificaciones básicas.	48
4.1.4 Análisis y cálculo.....	49
4.2 Colector solar marca heliocol.	50
4.2.1 Característica geométrica.	50
4.2.2 Función y valores característicos.	50
4.2.3 Especificaciones básicas.	51
4.2.4 Análisis y cálculo.....	52
4.3 Matriz de valoración bajo normativa EN-12975.	54
CAPITULO 5	55
PRUEBAS Y TOMA DE DATOS	55
5.1 Medición de la radiación solar.....	55
5.2 Magnitudes y símbolos relacionados con el modelo matemático del colector.	58
5.3 Toma de datos, medición de parámetros termo físicos.....	58
5.4 Curvas de rendimiento de los captadores.	62
5.5 Análisis de reflexión en la cubierta transparente.	73
5.6 Análisis de absorción de calor en la placa colectora para cielo isótropo. ...	73
CAPITULO 6	74
ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS	74
6.1 Rendimiento óptico de captadores (η_0).....	74
6.2 Coeficiente de pérdidas térmicas de los captadores.....	75
6.3 Factor de eficiencia de los captadores.....	76
6.4 Factor de remoción de calor de los captadores.	90
6.5 Transmitancia y absortancia de los captadores.	93
6.6 Capacidad energética de los captadores.	96
6.7 Análisis estadístico de datos.	98
6.7.1 Análisis de datos mes de diciembre 2012 día tipo 11	98
6.7.2 Análisis de datos mes de enero 2012 día tipo 17.....	109
6.8 Comparación de características generales y específicas de los captadores.	121

6.9 Presentación de matriz de resultados.....	122
CAPITULO 7.....	124
ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO	124
7.1 Análisis económico.....	124
7.1.1 Costos directos	124
7.1.2 Costos indirectos.....	125
7.1.3 Costos totales	126
7.2 Financiamiento.....	127
CAPITULO 8.....	128
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	128
8.1 Conclusiones.....	128
8.2 Recomendaciones.....	130
BIBLIOGRAFÍA	130
Direcciones de internet	131
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

INDICE DE FIGURAS

No. Figura	Contenido	Pág.
1.1	Colector de producción nacional.....	1
1.2	Localización de instrumental a instalar	2
1.3	Localización de instrumental a instalar	3
1.4	Colector importado marca heliocol.....	3
2.1	Variación de la irradiación directa respecto a cada mes	10
2.2	Heliógrafo Campell Stokes.....	12
2.3	Piranómetro para medir radiación difusa.....	13
2.4	Piranómetro para medir radiación directa	14
2.5	Piranómetro para medir radiación global.....	14
2.6	Estación meteorológica.....	15
2.7	Termómetro digital y análogo.....	15
2.8	Radiómetro digital	16
2.9	Colector parabólico	17
2.10	Heliostatos	17
2.11	Reflectores parabolooides.....	18
2.12	Lente convencional y de frensnel.....	18
2.13	Caldera de biomasa	18
2.14	Pellets	19
2.15	Colector solar de botellas plásticas.....	20
2.16	Sistema Greenward Ridge Vent.....	21
2.17	Esquema del sistema instalado.....	21
2.18	Sistema Green Ward instalado en la vivienda.....	22
2.19	Sistema de calentamiento de agua	23
2.20	Colector solar plano	24
2.21	Distribución de temperatura de la placa de absorción	25
2.22	Esquema eléctrico equivalente del colector	26
2.23	Comportamiento óptico de medios semitransparentes	28
2.24	Propiedades físicas de vidrios no absorbentes	29
2.25	Análisis del comportamiento óptico de cubiertas	30

2.26	Análisis del comportamiento óptico cubierta-placa	31
2.27	Análisis como aleta unidimensional	32
2.28	Balance entalpico de un fluido en un elemento.....	34
2.29	Flujo del colector del factor F'' en función de Ω	35
2.30	Distribución de energía del cuerpo negro.....	37
2.31	Reflectancia de una superficie plana de vidrio para luz plano-polarizada con el vector eléctrico paralelo a la superficie ($//$), perpendicular a la superficie (\perp) y para luz natural (medio)	38
2.32	Reflexiones múltiples de una placa de vidrio en aire	39
2.33	Valores de absortancia y emitancia para diversos materiales.....	40
2.34	Sistema de tubos de vidrio al vacío.....	40
2.35	Esquema de un tubo de vidrio al vacío	41
2.36	Colector solar de polipropileno.....	42
3.1	Curva representativa de la radiación solar directa	44
3.2	Curva representativa de la radiación difusa	45
3.3	Radiación de albedo o reflejada.....	46
3.4	Curva representativa de la radiación global	46
4.1	Colector solar nacional.....	48
4.2	Colector solar heliocol.....	51
5.1	Grafica del rendimiento del captador nacional del mes de diciembre día tipo 11	64
5.2	Grafica del rendimiento del captador heliocol del mes de diciembre día tipo 11.....	67
5.3	Grafica del rendimiento del captador nacional del mes de enero día tipo 17.....	69
5.4	Grafica del rendimiento del captador heliocol del mes de enero día tipo 17	71
6.1	Grafico de la placa tubo	76
6.2	Grafico de la irradiancia en función de las horas del mes de diciembre día tipo 11	100
6.3	Grafico de la temperatura promedio del agua del colector nacional en función de la irradiancia del mes de diciembre día tipo 11	102
6.4	Grafico de la temperatura promedio del agua del colector heliocol en función de la irradiancia del mes de diciembre día tipo 11	104

6.5 Grafico de la temperatura ambiente en función de la irradiancia del mes de diciembre día tipo 11.....	106
6.6 Grafico de la humedad relativa en función de la temperatura ambiente del mes de diciembre día tipo 11	108
6.7 Grafico de la irradiancia en función de las horas del mes de enero día tipo 17.....	111
6.8 Grafico de la temperatura promedio del agua del colector nacional en función de la irradiancia del mes de enero día tipo 17	113
6.9 Grafico de la temperatura promedio del agua del colector heliocol en función de la irradiancia del mes de enero día tipo 17.....	115
6.10 Grafico de la temperatura ambiente en función de la irradiancia del mes de enero día tipo 17	117
6.11 Grafico de la humedad relativa en función de la temperatura ambiente del mes de enero día tipo 17.....	119

INDICE DE TABLAS

No. Tabla	Contenido	Pág.
2.1	Valores de a y b para la ecuación 2.1	9
2.2	Valores de índice de claridad para diferentes climas	9
2.3	Datos para el cálculo de la irradiación	9
2.4	Irradiación global directa (fuente hoja de cálculo – Armstrong page).....	10
2.5	Valores del coeficiente de reflexión.....	11
2.6	Latitud y longitud de sangolqui.....	12
4.1	Estabilidad mecánica	52
4.2	Matriz de valoración	54
5.1	Día tipo.....	55
5.2	Radiación solar promedio mes de diciembre	56
5.3	Radiación solar promedio mes de enero.....	57
5.4	Magnitudes y símbolos.....	58
5.5	Parámetros termo físicos dados.....	59
5.6	Datos del rendimiento y el cociente entre la diferencia de temperaturas y la irradiancia del mes de diciembre día tipo 11 (nacional).....	63
5.7	Datos del rendimiento y el cociente entre la diferencia de temperaturas y la irradiancia del mes de diciembre día tipo 11 (heliocol).....	65
5.8	Datos del rendimiento y el cociente entre la diferencia de temperaturas y la irradiancia del mes de enero día tipo 17 (nacional)	68
5.9	Datos del rendimiento y el cociente entre la diferencia de temperaturas y la irradiancia del mes de enero día tipo 17 (heliocol)	70
5.10	Rendimientos para cada mes.....	72
6.1	Coeficientes de perdidas térmicas bajo norma EN 12975.....	75
6.2	Factores de eficiencia calculados y normalizados	90
6.3	Factores de remoción calculados y normalizados.....	93
6.4	Datos de irradiancia tomados a diferentes horas del mes de diciembre día tipo 11	99
6.5	Datos de la temperatura promedio del agua del colector nacional tomado a diferente irradiación del mes de diciembre día tipo 11	101

6.6	Datos de la temperatura promedio del agua del colector heliocol tomado a diferente irradiación del mes de diciembre día tipo 11	103
6.7	Datos de la temperatura ambiente tomado a diferente irradiancia del mes de diciembre día tipo 11	105
6.8	Datos de la humedad relativa tomado a diferente temperatura ambiente del mes de diciembre día tipo 11	107
6.9	Datos de irradiancia tomados a diferentes horas del mes de enero día tipo 17	109
6.10	Datos de la temperatura promedio del agua del colector nacional tomado a diferente irradiación del mes de enero día tipo 17	111
6.11	Datos de la temperatura promedio del agua del colector heliocol tomado a diferente irradiación del mes de enero día tipo 17	113
6.12	Datos de la temperatura ambiente tomado a diferente irradiancia del mes de enero día tipo 17	115
6.13	Datos de la humedad relativa tomado a diferente temperatura ambiente del mes de enero día tipo 17	117
6.14	Características generales y específicas de los captadores	121
6.15	Matriz de resultados	123
7.1	Mantenimiento y reparación	125
7.2	Costos indirectos	126
7.3	Servicios y suministros	126
7.4	Costos totales	126
7.5	Financiamiento	127

INDICE DE ANEXOS

Anexo	Contenido	Pág.
A:	Parámetros termo físicos.....	134
B:	Coeficiente A.....	135
C:	Coeficiente B.....	136
D:	Valores de irradiación y albedo método nasa.....	137
E:	Datos recolectados mes de diciembre 2012.....	138
F:	Datos recolectados mes de enero 2013	199

NOMENCLATURA

H	Radiación solar en la superficie terrestre
H₀	Radiación solar extraterrestre
K_t	Índice de claridad
n	Índice de refracción
N	Número de horas de brillo solar
a	Factor de confiabilidad
b	Factor de confiabilidad
β	Inclinación del panel
Φ	Latitud
Q	Energía útil
FR	Factor de remoción
A	Área
I	Radiación absorbida
U_L	Coefficiente global de pérdidas
T_{pm}	Temperatura media de la placa
T_a	Temperatura ambiente
η	rendimiento
T_e	Temperatura de entrada
T_s	Temperatura de salida
h_{c,c-a}, h_{c,b-a}	Convección forzada flujo externo
σ	Constante de Stefan Boltzman
τ	Transmitancia
α	Absortancia
F`	Factor de eficiencia del colector
ρ	Reflectancia
ε	Emitancia
a1	Coefficiente lineal de pérdidas térmicas
a2	Coefficiente cuadrático de pérdidas térmicas
η_o	Rendimiento óptico
HR	Humedad relativa

V_v	Velocidad del viento
T_{red}	Temperatura de la red
a_{glob}	Coefficiente global de perdidas térmicas
T_c	Temperatura cubierta
T_p	Temperatura placa
D	Diámetro externo
D_i	Diámetro interno
ε_c	Emitancia vidrio
ε_p	Emitancia absorbente
i	Distancia entre el absorbente y el vidrio
k	Conductividad térmica del aislante
k_p	Conductividad térmica del absorbente
j	Grosor del aislante
C_p	Calor específico
C_b	Conductividad térmica
G	Flujo del agua a travez del tubo
h_{fi}	Coefficiente de transferencia de calor
T_m	Temperatura media
E	Irradiación
T_{uso}	Temperatura de uso
P_o	Presión de operación

RESUMEN

En el presente proyecto de estudio se muestra la caracterización de los parámetros termofísicos entre un colector solar nacional de tipo artesanal y un extranjero de marca heliocol de fabricación israelí, considerando los mismos índices de radiación solar en el lugar de la investigación, al igual que el estudio del recurso solar existente en la zona de investigación.

El recurso solar existente en la zona de investigación y la comparación de los parámetros termofísicos generales de los colectores solares, se los realizó con la ayuda de instrumentos de medición facilitados por el laboratorio de termodinámica de la ESPE, los cuales ayudaron a obtener datos de irradiancia, irradiación, albedo, temperaturas, humedad relativa, presiones y caudales, al igual se realizó cálculos matemáticos para la determinación de los parámetros termofísicos como son el factor de remoción de calor, la eficiencia, pérdidas térmicas, rendimiento óptico y la capacidad energética de los colectores solares.

Con los datos que se obtienen, se tendrá más claro los recursos existentes en la zona de investigación, para así poder aprovecharlo de mejor manera y obtener una referencia científica para desarrollos futuros, al igual que la obtención de características semejantes o mejores que la de los colectores internacionales.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

El proyecto está orientado al análisis del comportamiento energético de un colector solar nacional y de tipo artesanal frente a un colector internacional marca heliocol de fabricación israelí que se encuentran en el laboratorio de energías renovables de la ESPE, con el proyecto lo que se desea es obtener características semejantes o mejores que las de los colectores internacionales.

Colector solar plano de producción nacional.



Figura 1.1 Colector de producción nacional¹

¹ José Guasumba, citecna corp. 2003

Dentro del trabajo de investigación del proyecto de grado, al hacer relación al colector nacional y sistema de acumulación de agua caliente, se tiene que analizar los datos de radiación solar incidentes sobre el colector sean estas directas, difusas y albedo, las temperaturas de entrada y salida del captador, las temperaturas de entrada y salida del acumulador, así como también las presiones y caudales y la eficiencia de este sistema de calentamiento de agua con energía solar. Para este estudio se utilizara un calentador experimental construido por el Ing. José Guasumba y que se encuentra en el laboratorio de Energías Renovables.

Es necesario indicar que como paso previo a la investigación, se realizara el mantenimiento correctivo de este sistema alternativo el mismo que se encuentra deteriorado.

Característica del colector de producción nacional

- **Área del colector:** 2 m²
- **Capacidad De Almacenamiento de Agua:** 120 lt.

Reestructuración de componentes



Figura 1.2 Localización de instrumental a instalar



Figura 1.3 Localización de instrumental a instalar

Dónde:

T1, 2, 3, 4,5: termómetros

M1: manómetro

Colector importado marca helicol

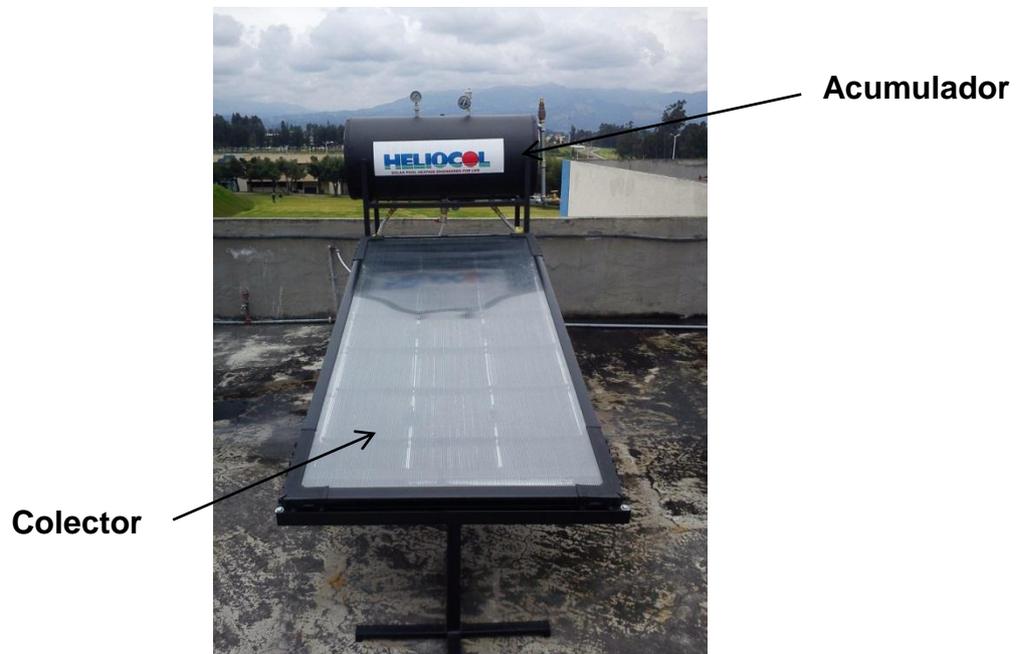


Figura 1.4 Colector importado marca helicol²

² Colector solar facilitado por la empresa AQUACOBRE

Los mismos parámetros físico para el estudio del colector nacional se los analizará en el colector de marca heliocol de fabricación Israelita que ha sido facilitado en calidad de préstamo para este estudio por la empresa AQUACOBRE de la ciudad de Quito, este equipo tiene características geométricas similares al colector nacional el cual se puede observar en la figura 1.

Collectores son producidos utilizando materiales de alta calidad y técnicas avanzadas, lo que da por resultado productos altamente eficientes y perdurables que Ud. Puede aprovechar por años.

La vasta gama de colectores solares permite a heliocol ofrecer soluciones convenientes que se ajustan a una variedad de normas internacionales y satisfacen variadas necesidades.

Únicos en el mercado nacional con la tecnología de punta por medio de ultrasonido y robótica lo que multiplica su eficiencia y asegura una larga vida del producto

1.2 Definición del problema.

Con los datos que se obtienen en la investigación tendremos más claro los recursos existentes en nuestra localidad, para así poder aprovecharlo de una mejor manera y así obtener una referencia científica para desarrollos futuros.

1.3 Objetivos.

1.3.1. General.

- Analizar el recurso solar y caracterizar el comportamiento energético entre un calentador solar de agua importado marca heliocol y un nacional de 2 m² en la ESPE.

1.3.2. Específicos.

- Determinar el recurso solar existente en la zona de instalación de los colectores.
- Caracterizar el comportamiento energético entre un colector nacional y el de marca heliocol.
- Realizar la comparación de tecnología nacional de colectores con la extranjera.

1.4 Alcance

El alcance del proyecto se enfoca en la comparación de los parámetros termo físicos generales (ver anexo A), considerando los mismos índices de radiación solar existentes en el lugar de investigación.

1.5 Justificación e importancia del proyecto.

El hecho de que la Escuela Politécnica Del Ejercito, pueda realizar la homologación y caracterización de colectores solares planos utilizando de manera adecuadamente la normativa existente nacional e internacional, es de vital importancia para el engrandecimiento del nombre y del departamento de la escuela, debido a que se estaría adentrando como pioneros en el área de investigación para el mejoramiento de la tecnología utilizada en calentadores solares planos.

Es por eso que el presente proyecto se enmarca en el plan estratégico de la Escuela Politécnica Del Ejercito, el cual apunta a ser una universidad líder a nivel regional en conjunción con el plan del buen vivir, que dicta las estrategias para el aprovechamiento de las Energías Renovables y eficiencia energética, el cual se constituye como un objetivo tacita en la caracterización del colector nacional homologado con un extranjero que es el objetivo primordial del proyecto.

Por lo que el proyecto será una referencia común para científicos, ingenieros, así como también para profesores, estudiantes y todo aquel, implicado en el área de energías.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Técnicas de estimación de la radiación solar.

Entre las principales técnicas de estimación de la radiación solar tenemos las siguientes:

- Armstrong Page.
- Método ISF.
- Datos de satélite NASA.
- Medición con instrumentos.

2.1.1 Método de Armstrong page

Este método relaciona ciertas variables para determinar el recurso solar, mediante el cual se determina el aporte solar en una determinada superficie terrestre y que va a ser variante de acuerdo al mes que nos encontremos.

Para la utilización de este método es necesario que conozcamos la latitud a la que se encuentra nuestra localidad de estudio, el ángulo de inclinación en el que se encuentra ubicado el colector solar, factor

climático y factor albedo, estos factores oscilan entre 0 y 1 de acuerdo a las características de la ubicación del colector.

Para nuestro estudio los datos de la localidad son los siguientes:

Lugar: Escuela Politécnica del Ejercito

Ciudad: Sangolquí

Cantón: Rumiñahui

Provincia: Pichincha

Latitud: S 0° 18' 37"

Longitud: W 78° 26' 28,1"

El modelo de cálculo de la irradiación más aceptado es el de Armstrong modificado.

$$\frac{(H)j}{(H_o)j} = a + b \frac{(n)j}{(N)j} \quad (2.1)$$

Dónde:

Hj: promedio mensual durante el mes j de la irradiación solar diaria global sobre una superficie horizontal, **(Ho)j**: promedio mensual durante el mes j de la irradiación solar extraterrestre diaria, **a,b**: representan constantes empíricas, **(N)j**: máximo de horas diarias de sol de ese mismo periodo, **(n)j**: promedio de horas diarias de sol de ese mismo periodo.

La determinación de los valores a y b para el territorio ecuatoriano constan en la siguiente tabla.

Tabla 2.1 Valores de a y b para la ecuación 2.1³

Región	a	b
Sierra	0.25	0.45
Costa	0.28	0.54

A la relación $\frac{H}{H_0}$ se la conoce también como índice de claridad (kt), el cual para ser determinado, requiere determinar la radiación durante un periodo de tres años. Esta relación puede tomar valores de:

Tabla 2.2 Valores de índice de claridad para diferentes climas

Clima	Valores
Abierto o nublado	0.3
soleado	0.8

Una vez colocado los respectivos datos en la hoja de cálculo de Armstrong page obtenemos los valores de la irradiación global directa el cual servirá para futuros cálculos.

Tabla 2.3 Datos para el cálculo de la irradiación

Datos de entrada para la ciudad de Sangloqui			
	Grados	Minutos	segundos
Latitud	0	18	37
Latitud	0,310277778	Factor climatico	
INCLINACION	15		
Angstron page			
a	0,25		
b	0,45		
factor de albedo	0.4		

³ Fuente INAMHI

Tabla 2.4 Irradiación global directa (fuente hoja de cálculo - Armstrong page)

MES	IRRADIACIÓN GLOBAL DIRECTA Ho	
	LANGLEY	Wh/m ² dia
Enero	371,3	4314,8
Febrero	383,9	4462,1
Marzo	388,6	4516,8
Abril	377,9	4392,5
Mayo	358,1	4161,6
Junio	345,3	4013,4
Julio	349,9	4066,7
Agosto	367,5	4270,8
Septiembre	382,3	4442,8
Octubre	382,8	4448,9
Noviembre	372,5	4329,3
Diciembre	365,5	4247,9
1LANGLEY=41800 (J/m²)		

A continuación se muestra la gráfica para identificar cual es el peor mes del año donde la irradiación es baja.

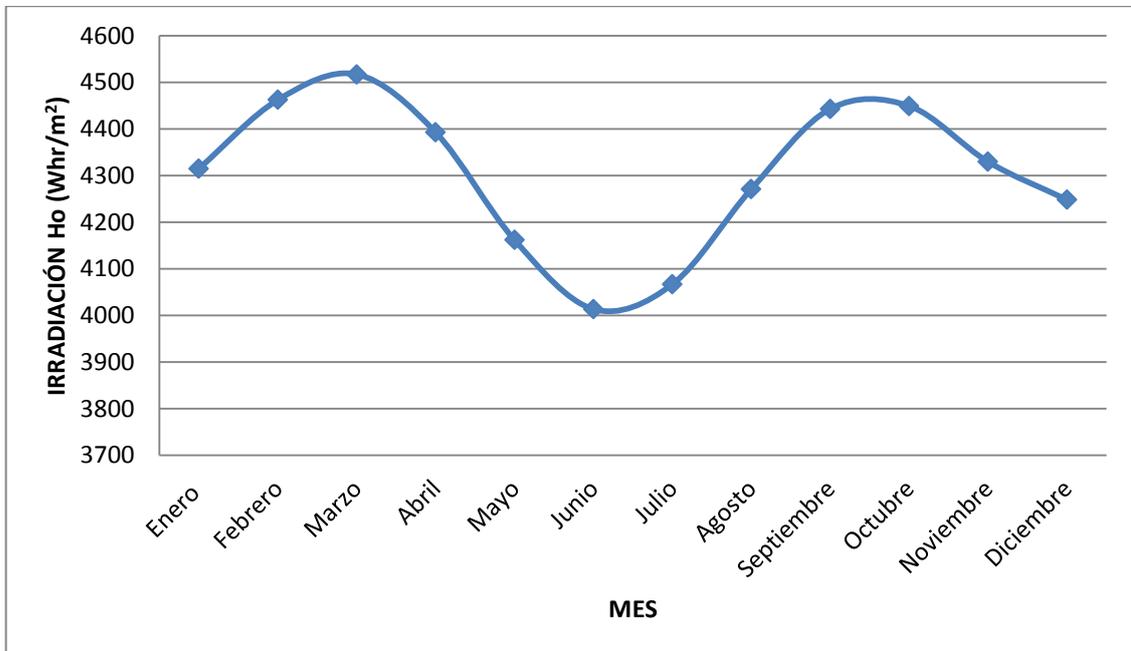


Figura 2.1 Variación de la irradiación directa respecto a cada mes

2.1.2 Método ISF

La mayor responsabilidad en un proyecto de energías renovables, tiene que ver con la estimación correcta del recurso solar, por lo cual, en esta investigación científica de alto nivel procede a cuantificar el recurso solar mediante el procedimiento facilitado por el ISF que se basa en la siguiente fórmula que sirve para el cálculo de irradiación sobre una superficie inclinada.

$$G_{dm}(\beta) = A * G_{dm}(0) + B * (G_{dm}(0))^2 \quad (2.2)$$

Los coeficientes A y B se calculan de la siguiente forma:

a) Coeficiente A

A depende de la inclinación del panel β (ver anexo B) y del coeficiente de reflexión del suelo.

Tabla 2.5 Valores del Coeficiente de reflexión

SUELO	REFLECTIVIDAD
Seco	0.2
Hierba húmeda	0.3
Pavimento	0.4
Nieve	0.6

b) Coeficiente B

B depende de la latitud del emplazamiento Φ , la inclinación del panel β y el mes del año (ver anexo C).

2.1.3 Datos de satélite de la nasa

Con la ayuda de satélites ubicados en la órbita terrestre y los datos de latitud y longitud, podemos obtener los siguientes datos en un lugar determinado (ver anexo D), en nuestro caso es Sangolqui.

Tabla 2.6 Latitud y longitud de Sangolqui

Lugar	Latitud (decimal grados)	Longitud (decimal grados)
Sangolqui	-0,316667	-78,45

2.1.4 Método de medición con instrumentos

La radiación difusa directa, albedo y las horas de sol pico se determina con los siguientes instrumentos:

- Heliógrafo Campbell Stokes
- Piranómetro radiación difusa
- Piranómetro radiación directa
- Piranómetro radiación global
- Estación meteorológica
- Termómetro análogo y digital
- Radiómetro

a) Heliógrafo Campbell Stokes



Figura 2.2 Heliógrafo Campbell Stokes

El heliógrafo Campbell Stokes utiliza una esfera de cuarzo que concentra la radiación solar directa en un punto, que se desplaza a lo largo de un cartón, quemando su superficie, este instrumento permite determinar las horas de sol pico o la insolación diaria.

b) Piranómetro radiación difusa

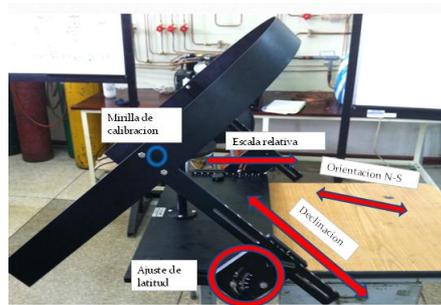


Figura 2.3 Piranómetro para medir radiación difusa

Características del instrumento:

- Exactitud: 2%
- Rotación del aro de ajuste de latitud: 0-60°
- Declinación: $\pm 25^\circ$
- Ancho de la banda cobertor: 76mm
- Diámetro del aro cobertor: 635 mm
- Montaje: sobre plataforma
- Niveles de ajuste: 3
- Tamaño: 26"x29"x23"

c) Piranómetro radiación directa



Figura 2.4 Piranómetro para medir radiación directa

Características:

- Movimiento de seguimiento solar en un solo eje.
- Permite la calibración del ángulo solar (más/menos 25°)
- Calibración de Latitud de 0° a 90°
- Nivel de agua para ubicación horizontal del equipo.
- Motor que gira 15 grados cada hora.
- Los datos se descargan directamente en la computadora.
- Voltaje 8.13×10^{-6} V/Wm⁻²
- Voltaje de Operación 120V, 60 Hz

d) Piranómetro radiación global



Figura 2.5 Piranómetro para medir radiación global

Características:

- Rango espectral: (50% puntos) 310 a 2800 nm
- Sensibilidad ($\mu\text{W}\cdot\text{m}^2$): 5 – 15
- Tiempo de respuesta (95%) < 18 s
- No linealidad (0 – 100 W/m^2): 2.5%
- Máxima irradiación: 2000 W/m^2
- Rango: 180 grados

e) Estación meteorológica

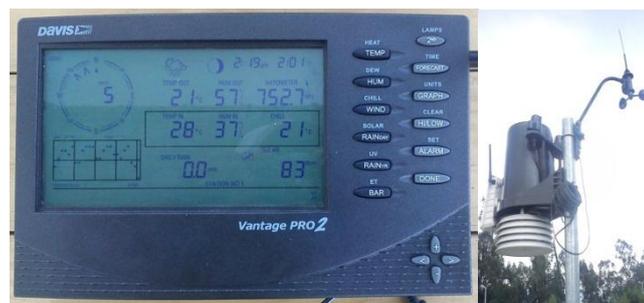


Figura 2.6 Estación meteorológica

f) Termómetro análogo y digital



Figura 2.7 Termómetro digital y análogo

g) Radiómetro



Figura 2.8 Radiómetro digital

2.2 Estado del arte de sistemas de calentamiento de agua alternativos.

Con el fin del aprovechamiento del recurso solar, en el país y en todo el mundo existen varios métodos de calentamiento de agua solar como son:

2.2.1 Colectores Concentradores

Los colectores concentrados pueden ser de varios tipos:

- Parabólico por Refracción: El colector está formado por una lente que recibe los rayos solares paralelos y los refracta concentrándolos en un punto, donde se encuentra el elemento receptor que contiene el fluido a calentar.
- Parabólico por Reflexión: El colector está formado por una superficie reflectora (espejo, aluminio anodizado, etc.) de forma parabólica, que recibe los rayos solares y que merced a la propiedad de la parábola que dice que cuando los rayos son paralelos al eje de la misma se concentran en el foco de ella, dichos rayos inciden en un elemento receptor ubicado en el foco, que contiene el fluido a calentar.



Figura 2.9 Colector Parabólico

La ventaja de los dispositivos concentradores no solamente reside en la mayor temperatura que generan, sino también en el hecho de que mientras que se obtiene calor de un área grande, la pérdida de calor se produce solamente en una superficie reducida (el absorbedor en sí). Su desventaja es que pueden aprovechar únicamente la radiación directa, direccional, y no responden a la energía radiante difusa. Pueden distinguirse cinco tipos básicos de dispositivos de concentración:

1. Espejos de membrana tensionada.



Figura 2.10 Helióstatos

2. Canales parabólicos (reflectores cilíndricos).
3. Reflectores paraboloides.

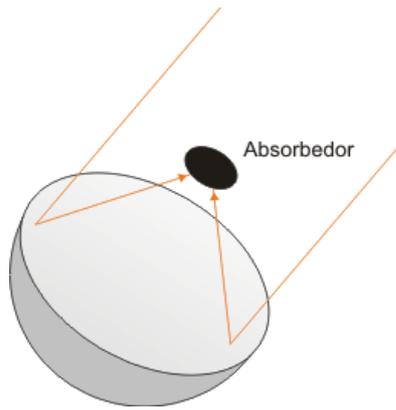


Figura 2.11 Reflectores paraboloïdes

- 4. Lentes Fresnel cilíndricas.
- 5. Lentes Fresnel circulares.

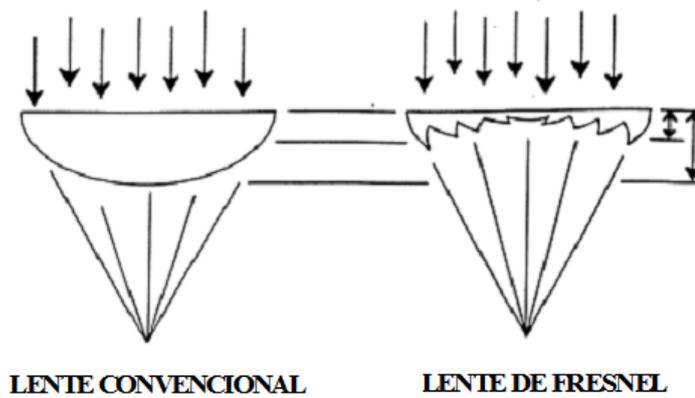


Figura 2.12 Lente convencional y de fresnel

2.2.2 Calderas De Biomasa⁴



Figura 2.13 Caldera de Biomasa

⁴ <http://www.energiamadre.com/aplicaciones-caldera-de-biomasa.php>

En las calderas de biomasa, los pellets llegan a alcanzar un poder calorífico de casi 5000 kcal, son de gran eficiencia energética, alrededor de un 80%.

Las encontramos de uso particular e industrial. En la foto, vemos una caldera de biomasa para uso familiar, tiene un tamaño parecido al de una estufa de gas butano, se utiliza para la calefacción y para calentar el agua, en este modelo solo se pueden quemar pellets.

Hay otras de uso combinado en las que se pueden quemar además de pellets, huesos de aceituna, piñas y cascaras de almendras, siendo las más adecuadas en entornos rurales.

El único residuo es la ceniza, que puede ser utilizada como abono natural.

El combustible reciclado (Pellets)



Figura 2.14 Pellets

El material de combustión que se usa para las estufas de biomasa son los pellets, pequeñas barritas prensadas obtenidas de la poda de árboles, limpieza de bosques, reciclaje de la industria maderera como virutas y el serrín. Una vez se dispone del material se tritura, se seca y se prensa para dar forma a los pellets.

2.2.3 Colectores solares de botellas plásticas



Figura 2.15 Colector solar de botellas plásticas⁵

El calentador ecológico, es un sistema térmico que para su funcionamiento utiliza la energía solar y materiales ecológicos. Precisamente por utilizar recursos renovables y existentes en el mercado nacional es que sus costos de implementación resultan económicos.

En la actualidad representa una alternativa a los anteriores calefones a gas. Este calentador ecológico es aplicable para los hogares y familias de menos recursos económicos.

Este prototipo puede ser colocado sobre un techo con inclinación de 25° y orientado hacia el norte o hacia el sur, el agua de un día a otro estará a una temperatura de entre 26 °C a 45°C.

Con el nuevo sistema lo que se pretende es reutilizar las botella para generar un efecto invernadero para calentar el agua, de esta manera, la botella sustituye al vidrio del colector tradicional. Esta es una innovación que permite bajar los costos de desarrollo de este sistema de calentamiento de agua.

⁵ Colector de botellas construido y facilitado por el Ing. José Guasumba

2.2.4 Sistema Green Ward ridge vent⁶

Lo que hace básicamente es utilizar toda la superficie del tejado como un gran colector de calor (de hecho es algo que el propio tejado ya hace).



Figura 2.16 Sistema Green Ward ridge vent

La idea de utilizar el tejado como un colector de calor solar no es nueva, pero sí la forma en que Green Ward hace que sea mucho más fácil de instalar y aun así obtener un beneficio significativo.

En lugar de tener los tubos de un lado a otro a lo largo de toda la superficie del tejado, los tubos Green Ward se instalan sólo en la cresta (que debe ser la parte más caliente del techo debido a la ventilación natural). Y debido a que sólo se instala en la cresta lo convierte en un candidato sencillo de instalar en viviendas existentes.

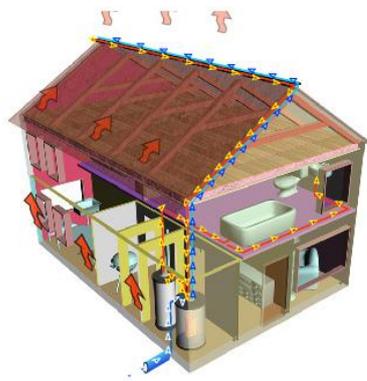


Figura 2.17 Esquema del sistema instalado

⁶ <http://jumanjisolar.com/2010/12/sencillo-sistema-para-calentar-el-agua-en-casa.html>

El agua calentada en la cresta pasa por un intercambiador de calor para ser almacenada en un tanque. Después puede ser directamente conducida al tanque doméstico de agua caliente como agua precalentada necesitando así menos energía que antes. Para las instalaciones en clima frío el sistema Green Ward debe llenarse con una mezcla de agua y glicol para evitar la congelación.

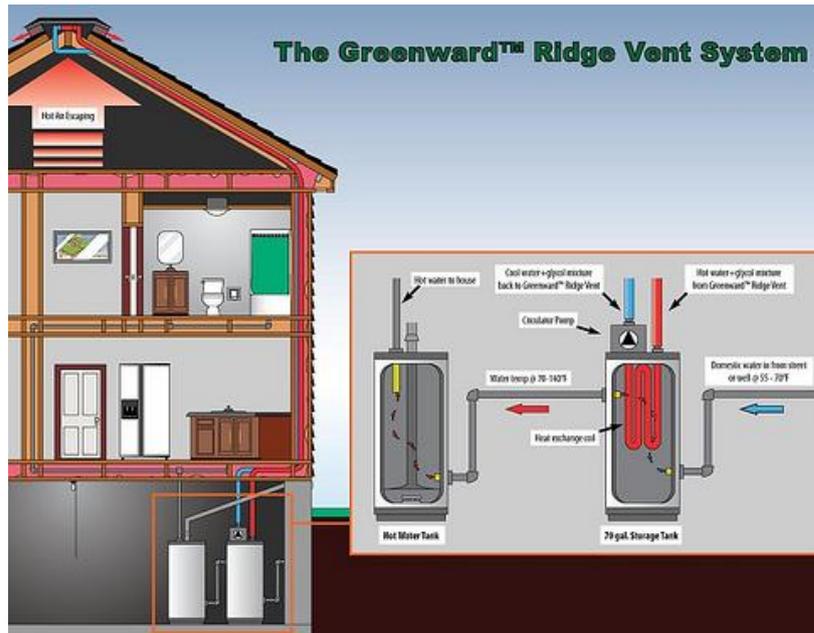


Figura 2.18 Sistema Green Ward instalado en la vivienda

El calentar agua mediante el sol ofrece uno de los periodos de amortización más rápida de cualquier proyecto de mejora para el hogar, lo que debería ayudar a incorporar sistemas fáciles de instalar en muchos hogares.

2.3 Colector solar plano.⁷

Un colector solar plano no es otra cosa más que un dispositivo para aprovechar la radiación solar transformándola en energía térmica de baja temperatura para usos domésticos o comerciales.

Los usos que se les puede dar a los colectores solares son principalmente estos:

⁷ <http://www.textoscientificos.com/energia/calentador-solar/>

- Para climatización de piscinas
- Para uso doméstico
- Para calefacción
- Para precalentamiento de agua de usos industriales

En la figura 2.19 se muestra un típico sistema de calentamiento de agua para uso hogareño complementando con los sistemas convencionales.

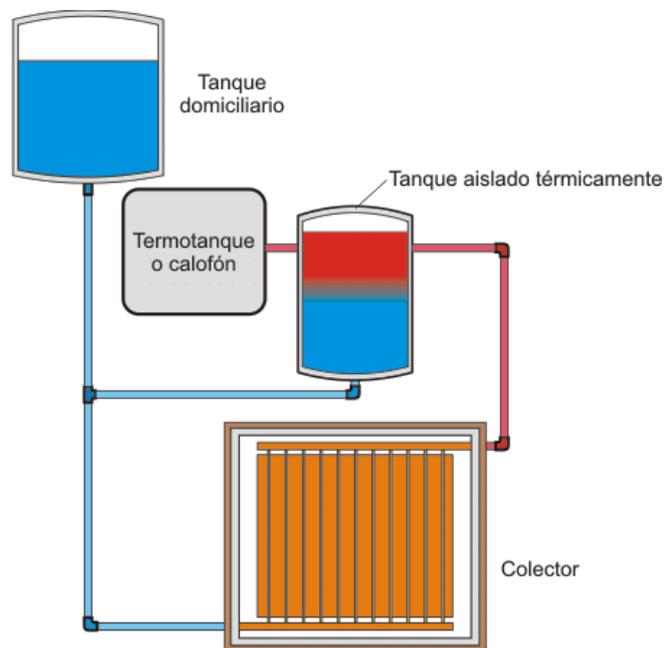


Figura 2.19 Sistema de calentamiento de agua

Composición de los colectores solares

Entre los principales componentes más comunes del colector solar plano tenemos los siguientes:

- Placa absorbente (negra)
- Conductos de fluido
- Cubierta(s)
- Aislante posterior y carcasa portante

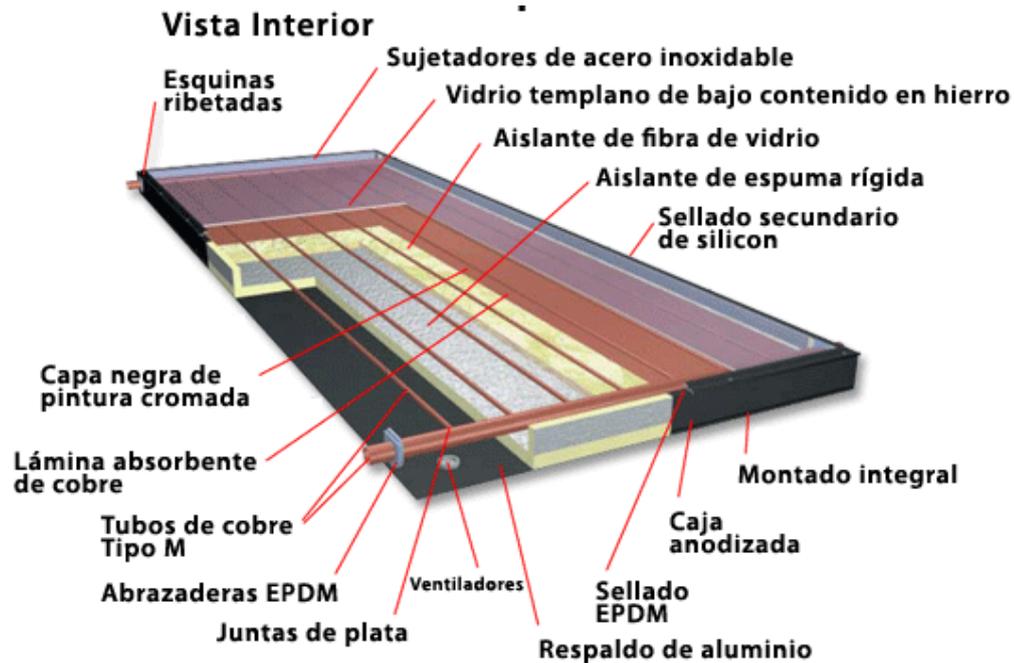


Figura 2.20 Colector solar plano

2.3.1 Balance térmico en colectores solares

energía útil = radiación absorbida – pérdidas térmicas

Para el colector plano

$$Q := FR \cdot A \cdot [I \cdot k \cdot \alpha \cdot \tau - U_L (\Delta T)] \quad (2.3)$$

Dónde:

Q : calor útil (W), FR : factor de remoción, A : Área colectora (m^2),

U_L : coeficiente global de pérdidas placa ambiente (W/m^2K),

T_{pm} : temperatura media de la placa ($^{\circ}C$), T_a : temperatura ambiente ($^{\circ}C$),

k : factor de sombra y suciedad, I : irradiancia.

2.3.2 Rendimiento de un colector

$$\eta = \frac{\int Q_u * dt}{A_c \int G * dt} = \frac{\text{Energia util}}{\text{Radiacion incidente}}$$

$$\eta = \frac{\frac{T_e + T_s}{2} - T_a}{i} \quad (2.4)$$

Dónde:

Te: temperatura del agua de entrada ($^{\circ}\text{C}$), **Ts:** temperatura del agua de salida ($^{\circ}\text{C}$), **Ta:** temperatura del aire exterior, **i:** intensidad de radiación solar promedio sobre el área del colector (W/m^2).

2.3.3 Distribución de temperatura en colectores de placa plana

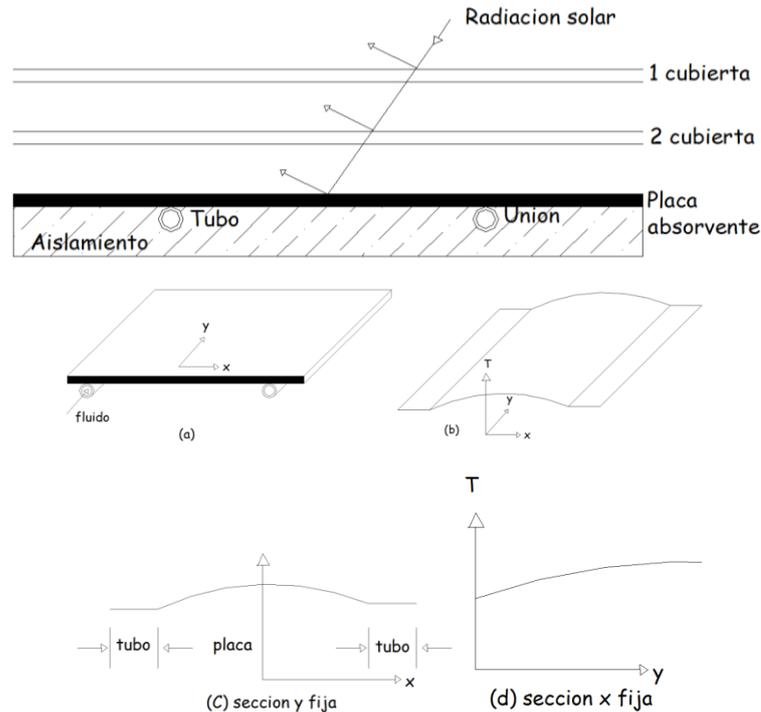


Figura 2.21 Distribución de temperatura de la placa de absorción⁸

Hipótesis de modelación del colector solar plano

- Régimen permanente, flujos de calor unidimensionales.
- Tubos paralelos, caudales de agua uniformes, cabezales sin efecto.
- Cubiertas delgadas, no absorbentes, opacas en el infrarrojo.
- Gradientes térmicos independientes en dirección x e y.
- Propiedades termo físicas independientes de la temperatura.

⁸ López, J. M. (2003). Modelado termico del captador solar plano. Andalucía.

2.3.4 Coeficiente global de pérdidas del colector plano

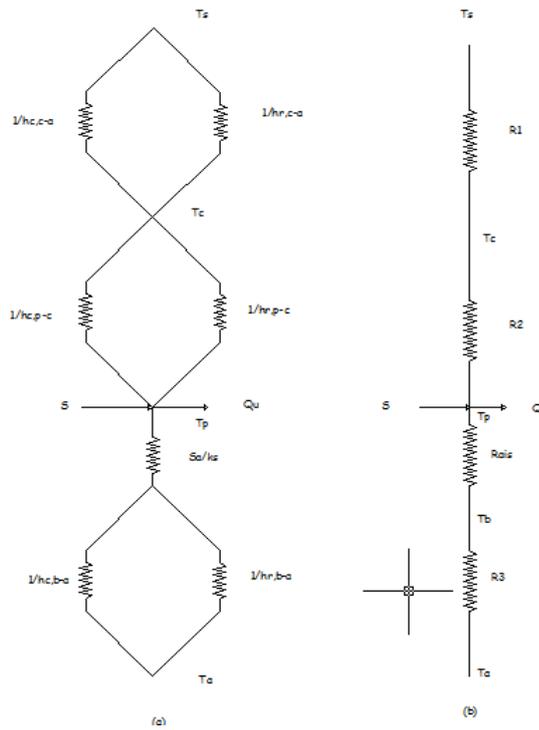


Figura 2.22 Esquema eléctrico equivalente del colector⁹

$$R_{aiss} = \frac{e_a}{K_a} \quad (2.5)$$

$$R_1 = \frac{1}{h_{c,c-a} + h_{r,c-a}} \quad (2.6)$$

$$R_2 = \frac{1}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} \quad (2.7)$$

$$R_3 = \frac{1}{h_{c,b-a} + h_{r,b-a}} \quad (2.8)$$

$$U_b = \frac{1}{R_{aiss} + R_3} \quad (2.9)$$

$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad (2.10)$$

$$U_L = U_t + U_b \quad (2.11)$$

⁹ López, J. M. (2003). Modelado termico del captador solar plano. Andalucía.

2.3.5 Cálculo coeficientes de transferencia:

$h_{c,c-a}, h_{c,b-a}$: Convección forzada flujo externo

Watmuff: $h = 2.8 + 3 v$ (v en m/s y h en W/m^2K)

$h_{c,p-c}$: Convección libre flujo interno en cavidad rectangular inclinada

Hollands:

$$Nu = \frac{h_{c,p-c} L_{p-c}}{k_{aire}} \quad (2.12)$$

$$Ra = \frac{g \beta_{aire} (T_p - T_c) L_{p-c}^3}{\nu_{aire} \alpha_{aire}} \quad (2.13)$$

2.3.6 Cálculo de coeficientes de transferencia (cont.):

$$h_{r,c-a} = 4\sigma T_{m,c-a}^3 \epsilon_c \quad (2.14)$$

$$h_{r,b-a} = 4\sigma T_{m,b-a}^3 \epsilon_{bc} \quad (2.15)$$

$$h_{r,c-a} = \frac{4\sigma T_{m,p-c}^3}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} \quad (2.16)$$

$$T_{m,c-a} = \frac{T_c + T_a}{2} \text{ (K)} \quad (2.17)$$

$$T_{m,b-a} = \frac{T_b + T_a}{2} \text{ (K)} \quad (2.18)$$

$$T_{m,p-c} = \frac{T_p + T_c}{2} \text{ (K)} \quad (2.19)$$

Dónde:

$h_{r,c-a}$: Coeficiente de transferencia radiante entre cubierta y ambiente,

$h_{r,b-a}$: Coeficiente de transferencia radiante entre base del colector y

ambiente, $h_{r,c-a}$: Coeficiente de transferencia radiante entre placa y

cubierta, ϵ_p :Emisividad placa, ϵ_c :Emisividad cubierta, σ :Constante de Stefan Boltzman $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{k}^4$.

2.3.7 Comportamiento óptico de cubiertas

Leyes ópticas de los medios semitransparentes:

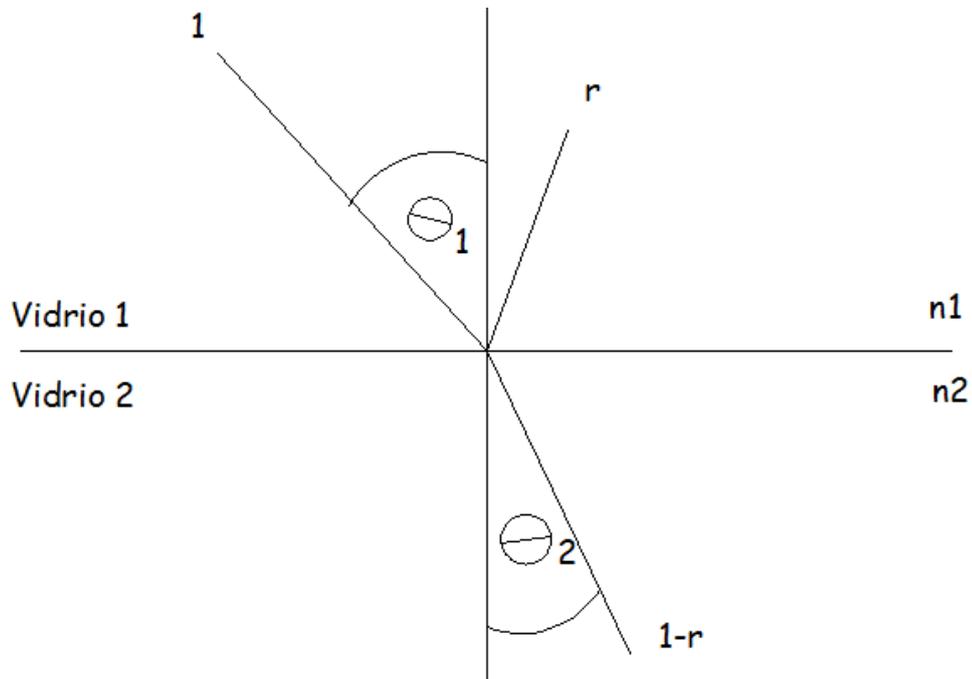


Figura 2.23 Comportamiento óptico de medios semitransparentes¹⁰

Ley de Snell:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2.20)$$

Ecuaciones de Fresnel:

$$\text{Polar, paralela (rp): } r_p = \frac{\text{tg}^2(\theta_2 - \theta_1)}{\text{tg}^2(\theta_2 + \theta_1)} \quad (2.21)$$

$$\text{Polar, perpendicular normal (rn): } r_n = \frac{\text{sen}^2(\theta_2 - \theta_1)}{\text{sen}^2(\theta_2 + \theta_1)} \quad (2.22)$$

$$\text{Radiación no polarizada: } r = \frac{1}{2}(r_p - r_n) \quad (2.23)$$

$$\text{Angulo de incidencia nulo } (\theta_1 = \theta_2 = 0): r = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}\right)^2 \quad (2.24)$$

¹⁰ López, J. M. (2003). Modelado termico del captador solar plano. Andalucía.

2.3.8 Propiedades ópticas de vidrios no absorbentes

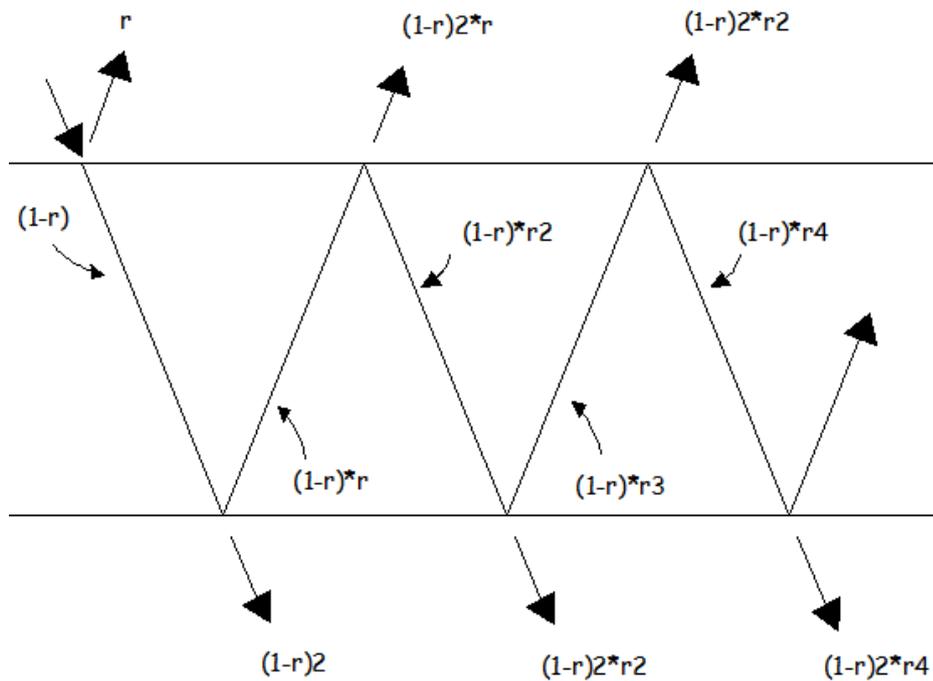


Figura 2.24 Propiedades físicas de vidrios no absorbentes¹¹

$$p = r + r(1 - r)^2 + r^3(1 - r)^2 + \dots =$$

$$p = r \left(1 + \frac{1-r}{1+r} \right) \quad (2.25)$$

$$\tau_r = (1 - r)^2(1 + r^2 + r^4 + \dots) =$$

$$\tau_r = \frac{1-r}{1+r} \quad (2.26)$$

Para radiación no polarizada

$$p = \frac{1}{2}(p_p + p_n) \quad (2.27)$$

$$\tau_r = \frac{1}{2}(\tau_{rp} + \tau_{rn}) \quad (2.28)$$

2.3.9 Comportamiento óptico de cubiertas (cont.)

Vidrios absorbentes: presentan atenuación de la radiación al ser barridos por esta. Dicha atenuación se rige por la ley de Bouguer:

¹¹ López, J. M. (2003). Modelado termico del captador solar plano. Andalucía.

$$dI = -K * I * dx \rightarrow \frac{I \text{ transmitancia}}{I \text{ incidente}} = \tau_a = \exp\left(\frac{-kL}{\cos \theta_2}\right) \quad (2.29)$$

k: coeficiente de extinción

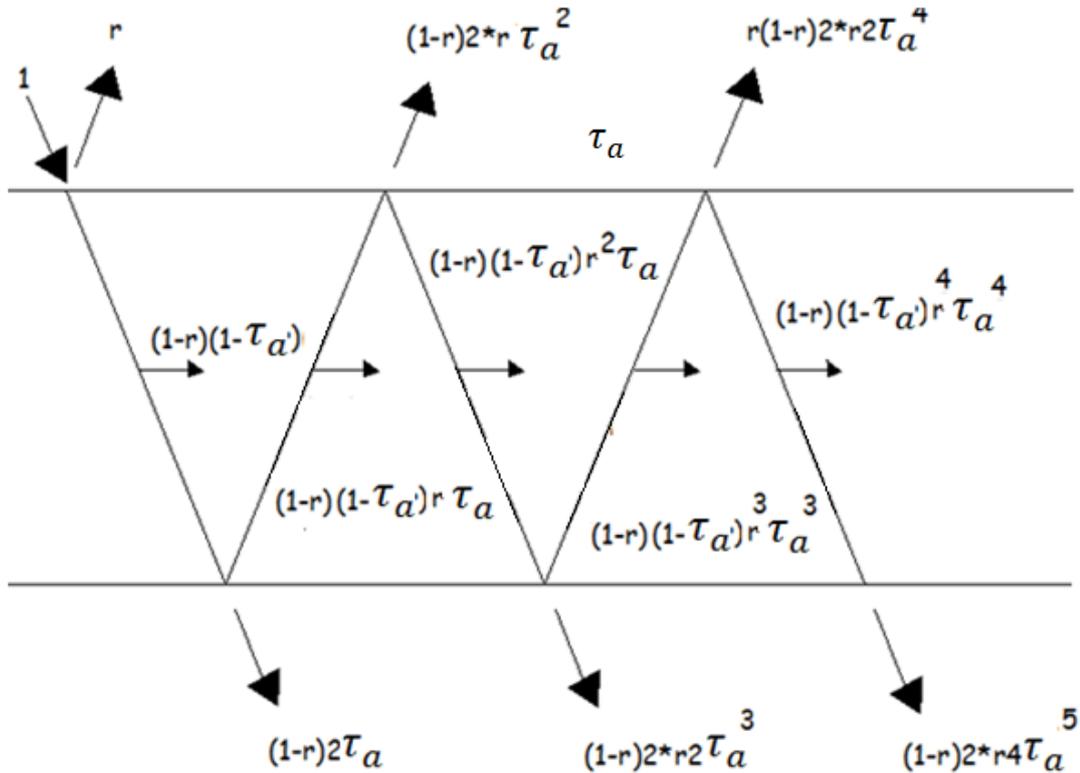


Figura 2.25 Análisis del comportamiento óptico de cubiertas¹²

$$\rho = r + \frac{(1-r)^2\tau_a^2r}{1-(\tau_a r)^2} = r(1 + \tau_a \tau) \quad (2.30)$$

$$\tau = \frac{\tau_a(1-r)^2}{1-(\tau_a r)^2} = \tau_a \frac{1-r}{1+r} \left(\frac{1-r^2}{1-(\tau_a r)^2} \right) \approx \tau_a \tau_r \quad (2.31)$$

$$\alpha = \frac{(1-r)(1-\tau_a)}{1-\tau_a r} \approx 1 - \tau_a \quad (2.32)$$

2.3.10 Comportamiento óptico conjunto cubierta-placa

Producto transmitancia absortancia ($\tau\alpha$): concepto típico en colectores planos. La radiación absorbida (S) por la placa es ($\tau\alpha$) a veces la radiación incidente (I).

¹² López, J. M. (2003). Modelado termico del captador solar plano. Andalucía.

Energía solar

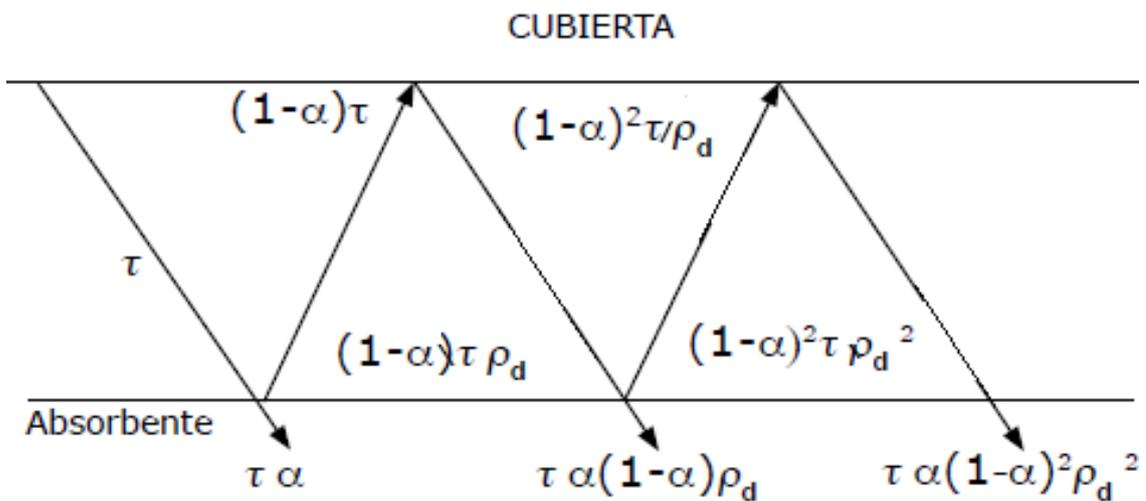


Figura 2.26 Análisis comportamiento óptico cubierta-placa¹³

ρ_d : Reflectividad de la cubierta ante radiación difusa

$$\rho_d = \rho(60^\circ) \text{aprox.} \quad (2.33)$$

$$(\tau\alpha) = \tau\alpha(1 + (1 - \alpha)\rho_d + (1 - \alpha)^2\rho_d^2 + \dots) = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho_d} \quad (2.34)$$

Placa muy absorbente $\rightarrow \alpha \rightarrow 1 \rightarrow (\tau\alpha) \rightarrow \tau\alpha \quad (2.35)$

En la práctica $(\tau\alpha) \approx 1.01\tau\alpha \quad (2.36)$

Si cubierta absorbente \rightarrow menores pérdidas \rightarrow en la práctica se supone cubierta no absorbente con

$$(\tau\alpha)_e = 1.01(\tau\alpha) \approx 1.02\tau\alpha \quad (2.37)$$

Expresión completa para S (con modelo de cielo isótropo):

$$S = I_b R_b (\tau\alpha)_b + I_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2}\right) (\tau\alpha)_d + (I_b + I_d) \rho_g \left(\frac{1 - \cos\beta}{2}\right) (\tau\alpha)_g \quad (2.38)$$

Directa

cielo difuso

difusa refleja suelo

¹³ López, J. M. (2003). Modelado termico del captador solar plano. Andalucía.

2.3.11 Comportamiento térmico placa absorbente

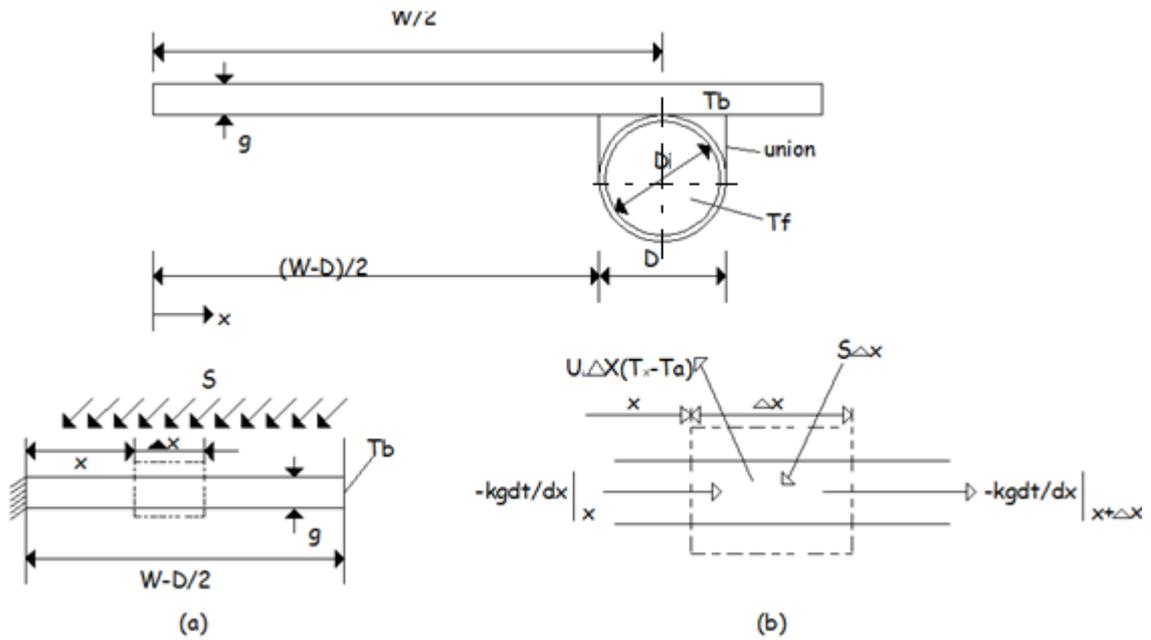


Figura 2.27 Análisis como aleta unidimensional¹⁴

Balance en elemento diferencial de aleta

$$S * \Delta x - U_L * \Delta x * (T - T_a) + \left(-k\delta \frac{dT}{dx} \Big|_x \right) - \left(-k\delta \frac{dT}{dx} \Big|_{x+\Delta x} \right) = 0 \quad (2.39)$$

Cuando $\Delta x \rightarrow 0$

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = \frac{U_L}{k\delta} \left(T - T_a - \frac{S}{U_L} \right) \quad (2.40)$$

Perfil de temperatura en la placa

$$\frac{T - T_a - S/U_L}{T_b - T_a - S/U_L} = \frac{\cosh mx}{\cosh m \frac{W-D}{2}} \quad (2.41)$$

$$x = \frac{W-D}{2} \rightarrow T = T_b \quad (2.42)$$

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{k\delta}} \quad (2.43)$$

¹⁴ López, J. M. (2003). Modelado termico del captador solar plano. Andalucía.

Flujo conductivo hacia el tubo desde las placas

$$q_{\text{placas}} = 2 \left(-k\delta \frac{dT}{dx} \Big|_{x=W-D/2} \right) = (W - D)[S - U_L(T_b - T_a)]F \quad (2.44)$$

$$F = \frac{\tanh\left(m\frac{W-D}{2}\right)}{m\frac{W-D}{2}} \text{ eficiencia aleta recta} \quad (2.45)$$

2.3.12 Comportamiento térmico placa absorbente (cont.)

Flujo neto recibido por parte de placa sobre el tubo:

$$q_{\text{tubo}} = D[S - U_L(T_b - T_a)] \quad (2.46)$$

Flujo de calor útil sobre el tubo ($q_u = q_{\text{placas}} + q_{\text{tubo}}$):

$$q_u = [(W - D)F + D][S - U_L(T_b - T_a)] \quad (2.47)$$

Modelización transferencia placa-fluido:

$$q_u = \frac{T_b - T_f}{\frac{1}{h_{fi}\pi D_i} + R_{\text{union}}} \quad \left(\frac{1}{R_{\text{union}}} > 30 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \right) \quad (2.48)$$

Eliminando T_b :

$$q_u = WF'[S - U_L(T_f - T_a)] \quad (2.49)$$

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \left[\frac{1}{U_L[D + (W-D)F]} + R_{\text{union}} + \frac{1}{h_{fi}\pi D_i} \right]} \quad (2.50)$$

F' : factor de eficiencia del colector

Interpretaciones físicas de F' :

- Cociente entre la energía útil captada por el colector y la que captaría si la placa absorbente estuviera a la temperatura del fluido.

- Resistencia térmica placa-ambiente dividida por la resistencia térmica fluido-ambiente
- Dependencia funcional de F' : F' depende de la geometría del colector y del caudal másico de fluido.

2.3.13 Solución de temperatura del fluido a lo largo del colector

Balance entálpico en el fluido en un elemento diferencial de tubo Δy :

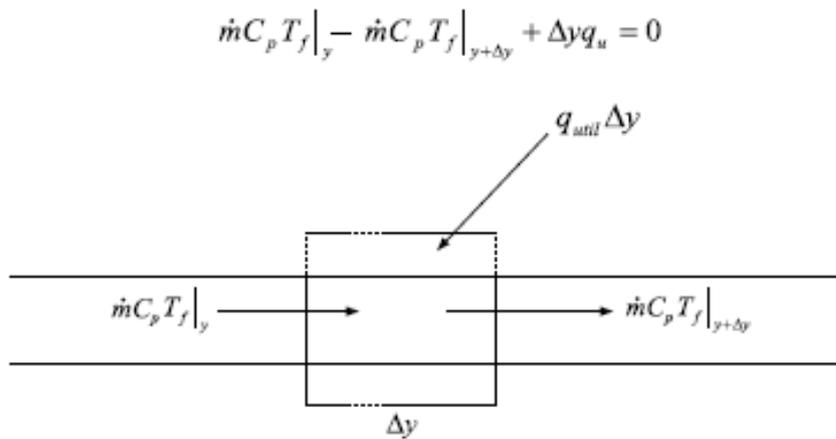


Figura 2.28 Balance entálpico den un fluido en un elemento¹⁵

$\Delta y \rightarrow 0$

$$\dot{m}C_p \frac{dT}{dy} - nWF'[S - U_L(T_f - T_a)] = 0 \quad (2.51)$$

$$y = 0 \rightarrow T_f = T_{fi}$$

Integrando F' y U_L independientes de y :

$$\frac{T_f(y) - T_a - S/U_L}{T_{fi} - T_a - S/U_L} = \exp\left(-\frac{U_L n W F' y}{\dot{m}C_p}\right) \quad (2.52)$$

Temperatura de salida del fluido ($T_{fo} = T_f(L)$):

$$\frac{T_{fo} - T_a - S/U_L}{T_{fi} - T_a - S/U_L} = \exp\left(-\frac{U_L A_c F'}{\dot{m}C_p}\right) \quad (2.53)$$

¹⁵ López, J. M. (2003). Modelado termico del captador solar plano. Andalucía.

Factor de evacuación de calor del colector (F_R):

$$F_R = \frac{\text{calor util captado por el fluido}}{\text{calor util captado con placa a } T_{fi}} = \frac{\dot{m}C_p(T_{fo}-T_{fi})}{A_c[S-U_L(T_{fi}-T_a)]} \quad (2.54)$$

$$F_R = \frac{\dot{m}C_p}{A_cU_L} \left[1 - \exp\left(-\frac{U_LA_cF'}{\dot{m}C_p}\right) \right] \quad (2.55)$$

2.3.14 Evolución de temperatura del fluido a lo largo del colector (cont.)

$$F'' = \frac{F_R}{F'} = \Omega \left[1 - \exp\left(-\frac{1}{\Omega}\right) \right] \quad (2.56)$$

$$\Omega = \frac{\dot{m}C_p}{A_cU_LF'} \quad (\text{capacidad termica adimensional del colector}) \quad (2.57)$$

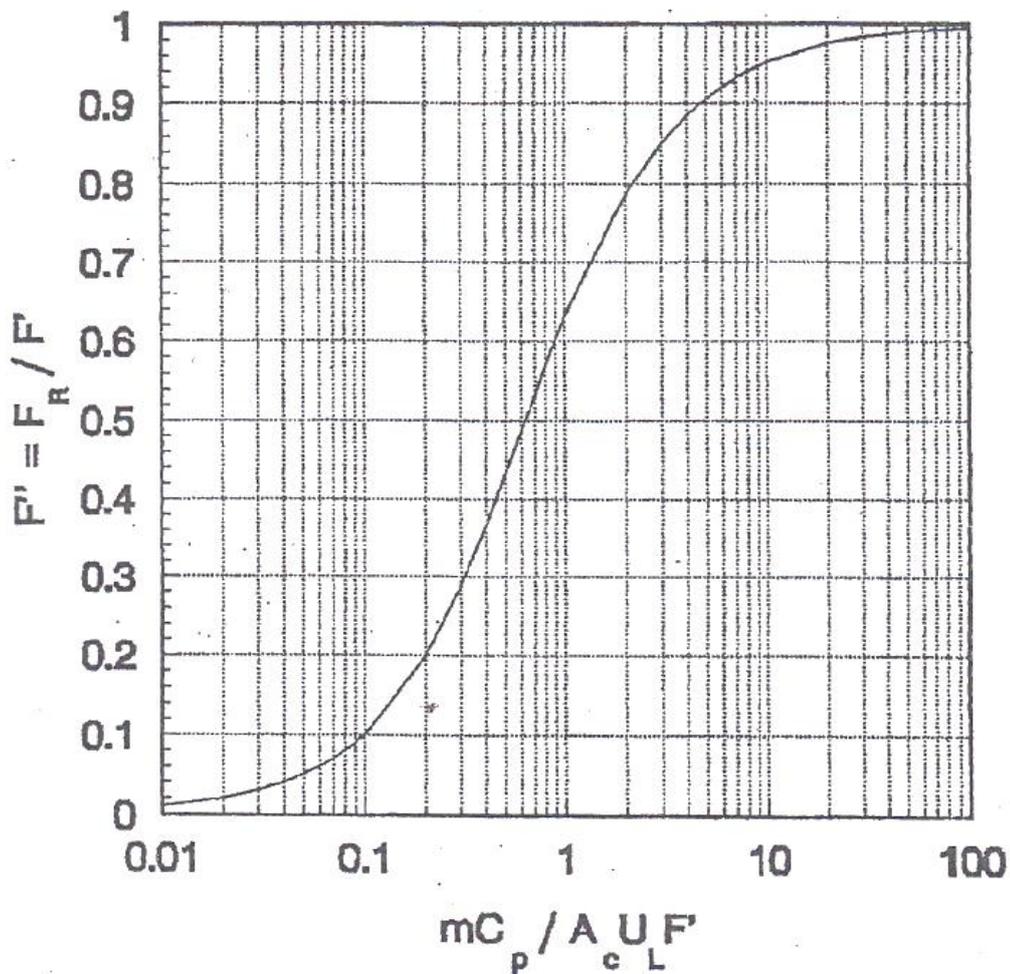


Figura 2.29 flujo del colector del factor F'' en función de Ω ¹⁶

¹⁶ López, J. M. (2003). Modelado termico del captador solar plano. Andalucía.

Expresión del calor útil del colector en función del factor F_R :

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_{fi} - T_a)] \quad (2.58)$$

2.3.15 Temperaturas medias del fluido y de la placa

Temperatura media del fluido (T_m):

$$T_{fm} = \frac{1}{L} \int_0^L T_f(y) dy \quad (2.59)$$

Integrando:

$$T_{fm} = T_{fi} + \frac{Q_u}{F_R U_L A_c} (1 - F') \quad (2.60)$$

Temperatura media de la placa (T_{pm}):

$$Q_u = A_c [S - U_L (T_{pm} - T_a)] \quad (2.61)$$

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_{fi} - T_a)] \quad (2.62)$$

Identificando expresiones:

$$T_{pm} = T_{fi} + \frac{Q_u}{F_R U_L A_c} (1 - F_R) \quad (2.63)$$

Porqué el cálculo de temperaturas medias:

Obtención de temperaturas de referencia para propiedades fluidas en el cálculo de los diversos coeficientes (h_{fi} , U_L , F , F' , F_R , etc.)

2.4 Comportamiento macroscópico de los sistemas de calentamiento de agua.

El comportamiento de sustancias se describe normalmente como comportamiento macroscópico, y al considerar las propiedades ópticas de sólidos y líquidos nos referimos a magnitudes como la reflectancia (ρ), transmitancia (τ) e índice de refracción (n).

Las tres propiedades mencionadas anteriormente dependen de la longitud de onda y para conocer las razones de esta conducta y especialmente predecir sus cambios debemos examinar los procesos físicos subyacentes.

Para el caso de nuestro análisis consideraremos un cuerpo ideal que absorbe toda la energía radiante que incide sobre este, al no existir radiación reflejada, el cuerpo ideal aparecerá siempre negro.

Un cuerpo negro a la temperatura ambiente emite fundamentalmente radiación próxima a 10 μm , un cuerpo

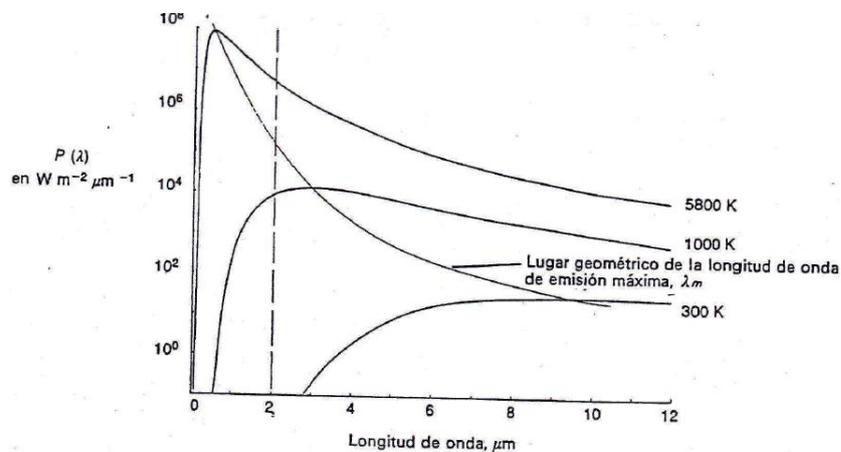


Figura 2.30 Distribuciones de energía del cuerpo negro

La potencia total viene dada por $P = \sigma T^4$ donde $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$.

Un cuerpo negro absorbe energía radiante de todas las longitudes de onda y remite energía con una distribución de longitudes de onda que depende solo de la temperatura. Supondremos que $\alpha = \varepsilon$ para cualquier longitud de onda, aunque la superficie no se encuentra en equilibrio térmico estricto con la fuente, este caso se da en un captador solar y el sol.

Para determinar α a partir de los datos de reflectancia, se utiliza la relación energética entre ρ , α y τ .

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \quad (2.64)$$

Los materiales opacos tienen por definición $\tau = 0$ y por tanto $\rho = (1 - \alpha) = (1 - \varepsilon)$. Usualmente, los materiales son transparentes por lo menos para ciertas partes del espectro de radiación.

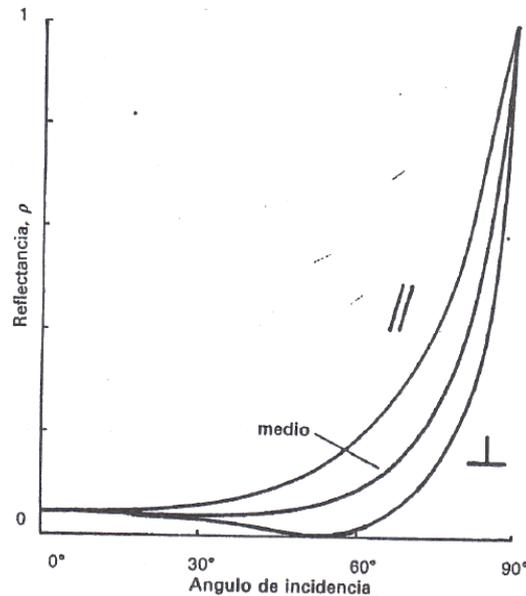


Figura 2.31 Reflectancia de una superficie plana de vidrio para la luz plano-polarizada con el vector eléctrico paralelo a la superficie ($//$), perpendicular a la superficie (\perp) y para la luz natural (medio).

Aplicando la teoría electromagnética se obtiene la ecuación de Fresnel que relaciona la reflectancia con los índices de refracción del dieléctrico n_1 y del medio adyacente n_2 :

$$\rho = \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2} \quad (2.65)$$

Cuando se trata de estimar la reflectancia o transmitancia de una o más láminas de vidrio surgen complicaciones. Esto es lo que ocurre en los colectores solares de placas planas con cubiertas de vidrio, debido a que presentan múltiples reflexiones entre las sucesivas superficies de vidrio. Solo $(1 - \rho)$ de la radiación incidente pasa de la primera superficie a la segunda si $\alpha = 0$, pero parte de esta será devuelta por la segunda superficie.

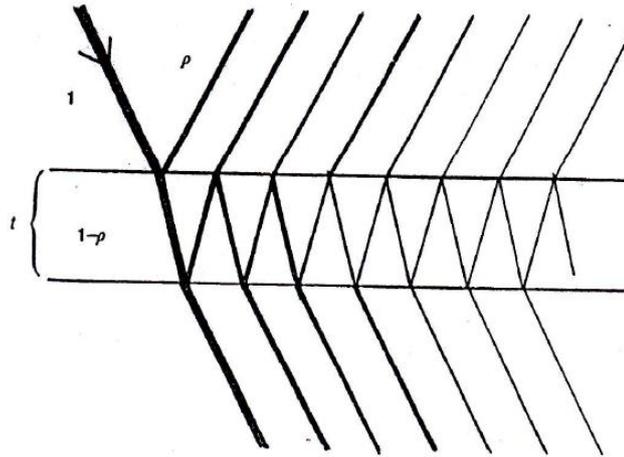


Figura 2.32 Reflexiones múltiples de una placa de vidrio en aire

Sumando todas las componentes de la radiación que pasan por la superficie final de la i láminas se obtiene el valor de la transmitancia total:

$$T = \frac{(1-\rho)}{1+(2i-1)\rho} \quad (2.66)$$

Suponiendo que la absorptancia (α) de las láminas es cero, pero incluso el vidrio más transparente acabaría por absorber toda la radiación incidente. Para determinar la transmitancia tenemos la siguiente expresión:

$$\text{si } \rho = 0, \tau = \exp(-kd) \quad (2.67)$$

Donde (k) es el coeficiente de extinción y (d) la longitud de la trayectoria en el material. En las cubiertas de los colectores es más importante el valor de (τ) que el de (ρ).

Lo antes mencionado es suficiente en los materiales ordinarios transparentes que utilizan los colectores solares más corrientes. Pero cuando existen sustancias semiconductoras es necesario utilizar el índice de refracción complejo n' , deducido de la ecuación de Maxwell para un medio conductor:

$$n' = n - ik \quad (2.68)$$

Donde n es la parte real relacionada con la velocidad de la radiación en el material y es ya familiar en nuestro tratamiento de materiales transparentes, para los cuales $k=0$ y k , la parte imaginaria está relacionada con la absorción y es grande para los metales.

Superficie	Temperatura θ °C	α (visible)	ϵ (infrarrojo)
Hielo (nieve)	0	0,31-0,33	0,96-0,82
Pintura negra mate	20	0,95	0,95
Pintura verde	20	0,50	0,95
Pintura blanca	20	0,25	0,95
Negro de humo	20	0,95	0,89
Cobre pulido	200	0,35	0,04
Aluminio	20	0,09	0,10
Plata	200	0,04	0,04
Cobre (oxidado)	20	0,90	0,14
Negro de níquel	20	0,89-0,95	0,16-0,07
Negro de cromo (es decir (Ni + Zn + S): Depende del sustrato)			

Figura 2.33 Valores de absorción y emisividad para diversos materiales.

2.5 Colectores desarrollados con materiales avanzados.

2.5.1 Colector solar de tubos de vidrio al vacío



Figura 2.34 Sistema de tubos de vidrio al vacío

Los sistemas de calentamiento de agua con el sistema de tubos de vidrio al vacío, emplean el fenómeno de convección natural conocido como termosifón, que es el resultado de que el agua caliente es más ligera que el agua fría.

Tubos de vidrio al vacío.

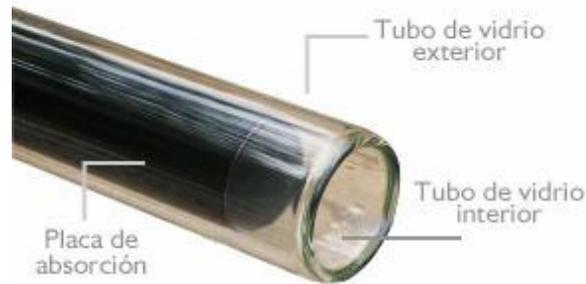


Figura 2.35 Esquema de un tubo de vidrio al vacío

Cada tubo de vidrio al vacío consiste en dos tubos de vidrio. El tubo de vidrio exterior que se encuentra elaborado de boro silicato transparente de alta resistencia capaz de resistir impactos de granizo de 2.5 cm de diámetro. El tubo de interior también está hecho de vidrio de boro silicato, pero este está recubierto con nitrato de aluminio que tiene una excelente absorción de calor solar y mínimas propiedades de reflexión.

Los tubos colectores al vacío pueden ser comparados a un termo, el cual conserva el líquido caliente por varias horas. El sistema de serpentín con cubierta de vidrio se compara a un vaso de plástico en el cual el líquido pierde su calor en menos de una hora.

Con el tubo al vacío usted puede esperar un promedio de temperatura de hasta 55^o/95^oC.

Principio de operación.

El agua calentada dentro de los tubos aumenta a través del calentador solar para entrar en el tanque de almacenamiento, mientras el agua fría en el fondo del tanque fluye en los tubos, creando una circulación continua. El flujo de convección continuara tanto el sol este calentando el calentador y debido a este efecto natural no es necesario el uso de ningún equipo de bombeo.

Ventajas y Desventajas

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none">- Los tubos de vacío, en comparación con los colectores planos, suponen un avance en la captación de calor en condiciones desfavorables.- Una ventaja añadida de los tubos es su mayor versatilidad de colocación, tanto desde el punto de vista práctico como estético.- Toleran inclinaciones de 25° sin pérdida de rendimiento.- Permite adaptarlos a la mayoría de edificaciones.	<ul style="list-style-type: none">- El elevado precio de esta tecnología solo es recomendable en lugares con climas extremos.

2.5.2 Colector solar de polipropileno.

Los colectores solares de polipropileno son ideales para calentar agua en condiciones climáticas y de radiación poco desfavorables, por sus características únicas y peculiares.

Estos colectores nos permiten ahorros de combustibles de hasta un 70%, su vida útil es de 25 años, las temperaturas alcanzadas son de hasta 45 °C, los colectores resisten temperaturas de 90°C presiones de 6 atm y resistencia al viento de velocidades de 280 km/hr.



Figura 2.36 Colector solar de polipropileno

2.6 Normas para captadores solares.

Todos los diseños de los captadores tienen el objetivo común de convertir con el mayor rendimiento posible la radiación solar en calor, para después suministrar eficientemente este a los consumos. Los diseños de los captadores varían considerablemente en cuanto a calidad, rendimiento, construcción y coste. Y es debido a esto que los diferentes países han decidido crear normas específicas para el cumplimiento y desarrollo de colectores solares.

Para la certificación de colectores solares existen varias normas existentes a nivel mundial como son:

- EN 12975 norma europea.
- ISO 9806 norma internacional.
- AS/NZS norma australiana.
- OG-100 norma norteamericana.

Para el caso de estudio la norma a utilizar para garantizar un colector solar que cumpla con los requerimientos de calidad, rendimiento, construcción y coste es la norma EN 12975, con la cual también determinaremos los valores característicos de los captadores para la correcta comparación entre ellos.

CAPITULO 3

ANALISIS DEL RECURSO SOLAR

3.1 Radiación directa.

Es aquella parte de la energía del sol que llega directamente, en línea recta. Proviene de una porción puntual del cielo, lo que unido a su propagación hace que sea especialmente sensible a la orientación del módulo. En condiciones normales es la más intensa. Es proporcional a la claridad (transparencia) de la atmosfera, y puede llegarse a anularse si el cielo está totalmente cubierto.

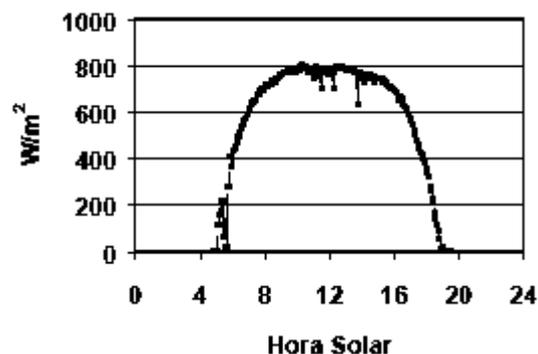


Figura 3.1 Curva representativa de la radiación solar directa

3.2 Radiación difusa.

La atmosfera absorbe y dispersa parte de la radiación procedente del sol. Una parte de esa energía dispersada llega a la tierra de manera aleatoria.

Es mayor cuando el modulo esta horizontal, no es intensa pero si más extensa y es ms importante cuando más cubierto está el cielo.

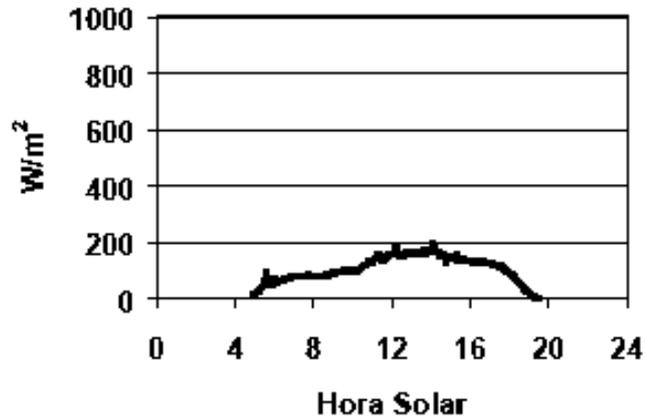


Figura 3.2 Curva representativa de la radiación difusa

3.3 Radiación de albedo o reflejada.

Es aquella energía que proviene del sol y llega al módulo después de reflejarse en el suelo u objetos circundantes. Salvo en entornos especiales (superficies lisas y blancas), para estimarla se propone que el suelo es una superficie horizontal infinita que refleja con igual intensidad en todas las direcciones la irradiación difusa que le llega en una proporción caracterizada por la reflectividad del suelo ρ . Bajo esta hipótesis, la irradiación de la albedo es máxima cuando el modulo esta vertical, y nula cuando esta horizontal

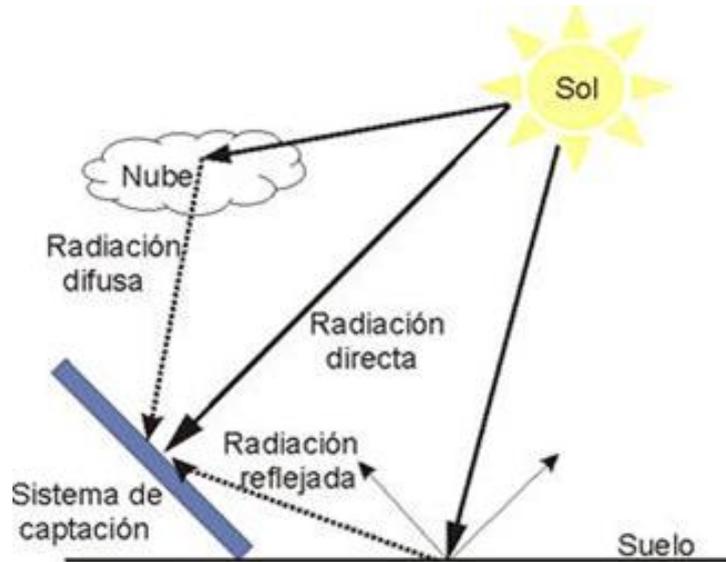


Figura 3.3 Radiación de albedo o reflejada

3.4 Radiación global.

Es la suma de las radiaciones directa, difusa y albedo que se reciben sobre una superficie.

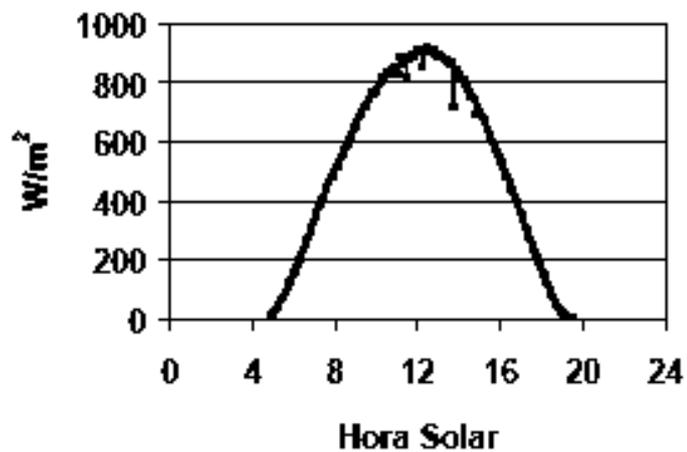


Figura 3.4 Curva representativa de la radiación global

CAPITULO 4

ANÁLISIS COMPARATIVO DE COLECTORES

4.1 Colector solar nacional.

4.1.1 Características geométricas.

- Área de captación óptica: 2 m²
- Volumen del acumulador: 120 litros
- Temperatura promedio del agua en el acumulador: 43 °C en días de mínima insolación
- Temperatura máxima del agua en el acumulador: 75 °C

4.1.2 Función y valores característicos.

Entre las principales funciones características del absorbedor tenemos el balance energético por unidad de área (suponiendo que la cubierta es transparente para la mayor parte del espectro solar) es el siguiente:

$$\alpha_A(E + \varepsilon_G \sigma T_c^4) = \varepsilon_A \sigma T_A^4 + h(T_A - T_c)^{17} \quad (4.1)$$

Energía solar incidente	Irradiada por la cubierta	Irradiada por el absorbente	Perdidas por conducción y convección hacia la cubierta
----------------------------	------------------------------	--------------------------------	---

En donde

$\alpha_A, \varepsilon_A, T_A$ se refiere al absorbente; suponemos $\alpha_A = \varepsilon_A = 1$

Para un cuerpo negro absorbente a la luz solar, T_A sería 345 K, que es aproximadamente la temperatura alcanzada por una placa negra aislada dejada al sol

4.1.3 Especificaciones básicas.

Al colector solar plano nacional con placa adherida al tubo, se le innovó con el propósito de aumentar la temperatura del agua. A diferencia del tradicional, el tubo generalmente se le ubica debajo de la placa negra o en la parte superior. Al nuevo, se le hizo unos conductos en la placa para que el tubo tenga mayor área de contacto, de tal manera que la transmisión del calor mejora considerablemente y aumenta la temperatura del agua hasta unos 75°C, en tanto que con el modelo tradicional existente en el mercado alcanza un promedio de entre unos 50 a 60°C. Con el rediseño también se bajan los costos del equipo para satisfacer a una misma demanda de agua caliente.



Figura 4.1 Colector solar nacional

¹⁷ Energía solar John I.B. Wilson, 1979, pág. 109

Componentes del colector

El calentador está compuesto por placa de vidrio, tubos de cobre, una placa de aluminio, soporte en acero estructural tipo ángulo de 1 pulgada que permite dar la inclinación de 15° al captador solar.

Con este colector se consigue reducir el área de captación y desde luego los costos, debido a la mejor adherencia de la placa a los tubos. El área de 2 m², es suficiente un abastecer la demanda de una familia de 3 miembros que requieren unos 120 litros de agua caliente sanitaria.

4.1.4 Análisis y cálculo.

Cálculo del rendimiento

DATOS

$a1 := 2.6 \frac{W}{m^2K}$	Coeficiente lineal de pérdidas térmicas
$a2 := 0.01 \frac{W}{m^2K}$	Coeficiente cuadrático de pérdidas térmicas
$F' := 0.945$	Factor de eficiencia del captador
$\tau := 0.895$	Transmitancia de la cubierta
$\alpha := 0.93$	Absortancia del absorbedor

Dic

$Eg := 581.3 \frac{W}{m^2}$	Irradiancia
$Tm1 := 46 \text{ C}$	Nac Temperatura media
$Tm2 := 36 \text{ C}$	Hel Temperatura media
$Ta := 23.9 \text{ C}$	Temperatura ambiente

Ene

$Eg2 := 653.3 \frac{W}{m^2}$	Irradiancia
$Tm3 := 48 \text{ C}$	Nac Temperatura media
$Tm4 := 41 \text{ C}$	Hel Temperatura media
$Ta2 := 63.1 \text{ C}$	Temperatura ambiente

Cálculo del rendimiento optico del captador

$$\eta_0 := \alpha \cdot \tau \cdot F'$$

$$\eta_0 = 0.787$$

Cálculo del rendimiento mes diciembre colector nacional

$$\eta := \eta_0 - a_1 \cdot \frac{(T_{m1} - T_a)}{E_g} - a_2 \cdot \frac{(T_{m1} - T_a) \cdot (T_{m1} - T_a)}{E_g}$$

$$\eta = 0.679$$

$$\eta \cdot 100 = 67.932 \quad \%$$

Cálculo del rendimiento mes enero colector nacional

$$\eta := \eta_0 - a_1 \cdot \frac{(T_{m3} - T_{a2})}{E_{g2}} - a_2 \cdot \frac{(T_{m3} - T_{a2}) \cdot (T_{m3} - T_{a2})}{E_{g2}}$$

$$\eta = 0.844$$

$$\eta \cdot 100 = 84.353 \quad \%$$

4.2 Colector solar marca heliocol.

4.2.1 Característica geométrica.

- Área de captación óptica: 2 m²
- Volumen del acumulador: 120 litros
- Temperatura promedio del agua en el acumulador: 20 °C en días de mínima insolación
- Temperatura máxima del agua en el acumulador: 80 °C

4.2.2 Función y valores característicos.

Entre las principales funciones características del absorbedor tenemos el balance energético por unidad de área (suponiendo que la cubierta es transparente para la mayor parte del espectro solar) es el siguiente ver ecuación 4.1.

Para un cuerpo negro absorbente a la luz solar, T_A sería 345 K, que es aproximadamente la temperatura alcanzada por una placa negra aislada dejada al sol.

4.2.3 Especificaciones básicas.

Colector polimérico de alta eficiencia¹⁸

Material termoplástico especialmente formulado, testeado en laboratorios autorizados y previsto para ser estable contra los efectos de la exposición prolongada a la radiación UV, condiciones meteorológicas extremas, corrosión, incrustaciones, sales y agua de mar.

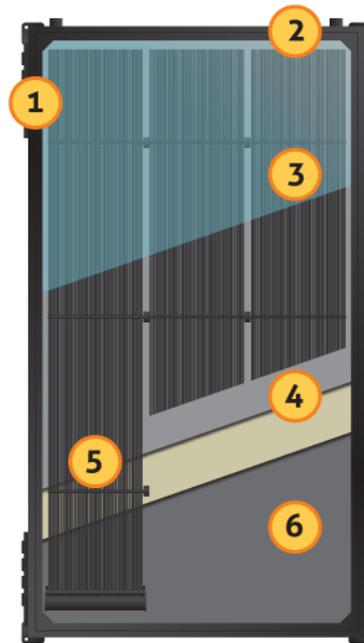


Figura 4.2 Colector solar heliocol

1 La cubierta y el marco: Compuesto de plástico reforzado y aluminio de muy bajo peso, para una fácil instalación y mínima carga posible sobre el techo.

2 Tuberías de conexión: Dos conectores hembra de $\frac{3}{4}$ "(BSP), ubicados hacia arriba.

3 Cobertura: Policarbonato alveolar con un tejido adicional inhibidor de los rayos UV. Muy liviano y con una muy alta resistencia de impactos (200 veces más que el vidrio).

¹⁸ <http://www.gruposolar.com.ar/es/productos-y-servicios/ecoflare/>

4 Aislamientos: El colector se encuentra encajonado en espuma de poliuretano y polyester cubierto por aluminio.

5 Absorbedor: 117 tubos individuales de 6.5 mm de diámetro, unidos a un único colector cuadrado fabricado por Over-Molding (sobre moldeó) técnica de inyección y soldadura.

6 Placa trasera: La misma es de polipropileno con aditivos anti-UV.

Tabla 4.1 Estabilidad mecánica

ESTABILIDAD MECÁNICA					
TEMPERATURA DEL AGUA	°C	20	40	60	80
	°F	68	104	140	176
PRESCIÓN OPERATIVA MAXIMA RECOMENDADA	bar	16	10	6	4
	psi	232	145	87	58

4.2.4 Análisis y cálculo.

Cálculo del rendimiento

DATOS

$$a1 := 2.6 \frac{W}{m^2K}$$

Coficiente lineal de pérdidas térmicas

$$a2 := 0.01 \frac{W}{m^2K}$$

Coficiente cuadrático de pérdidas térmicas

$$F' := 0.945$$

Factor de eficiencia del captador

$$\tau := 0.895$$

Transmitancia de la cubierta

$$\alpha := 0.93$$

Absortancia del absorbedor

Dic		
$E_g := 581.3$	$\frac{W}{m^2}$	Irradiancia
$T_{m1} := 46$	C Nac	Temperatura media
$T_{m2} := 36$	C Hel	Temperatura media
$T_a := 23.9$	C	Temperatura ambiente

Ene		
$E_{g2} := 653.3$	$\frac{W}{m^2}$	Irradiancia
$T_{m3} := 48$	C Nac	Temperatura media
$T_{m4} := 41$	C Hel	Temperatura media
$T_{a2} := 63.1$	C	Temperatura ambiente

Cálculo del rendimiento optico del captador

$$\eta_0 := \alpha \cdot \tau \cdot F'$$

$$\eta_0 = 0.787$$

Cálculo del rendimiento mes diciembre colector heliocol

$$\eta := \eta_0 - a_1 \cdot \frac{(T_{m2} - T_a)}{E_g} - a_2 \cdot \frac{(T_{m2} - T_a) \cdot (T_{m2} - T_a)}{E_g}$$

$$\eta = 0.73$$

$$\eta \cdot 100 = 72.993 \quad \%$$

Cálculo del rendimiento mes enero colector heliocol

$$\eta := \eta_0 - a_1 \cdot \frac{(T_{m4} - T_{a2})}{E_{g2}} - a_2 \cdot \frac{(T_{m4} - T_{a2}) \cdot (T_{m4} - T_{a2})}{E_{g2}}$$

$$\eta = 0.867$$

$$\eta \cdot 100 = 86.738 \quad \%$$

4.3 Matriz de valoración bajo normativa EN-12975.

Tabla 4.2 Matriz de Valoración

			COLECTOR NACIONAL		COLECTOR HELIOL	
			DICIEMBRE	ENERO	DICIEMBRE	ENERO
Irradiación	HSP	(Wh/m ² dia)	3675	4690,5	3675	4690,5
Irradiancia	I	(W/m ²)	581,3	653,3	581,3	653,3
Albedo	A	(W/m ²)	93,3	75,3	93,3	75,3
Temp ambiente	Ta	(°C)	23,9	63,2	23,9	63,2
Humedad relativa	HR	(%)	42	41	42	41
Temp media	Tm	(°C)	46	48	36	41
Temp de uso	Tuso	(°C)	46	48	35	42
Presión de operación	Po	(Psi)	74	86	52	53
Rendimiento del captador	η	(%)	0,68	0,84	0,73	0,87
Rendimiento óptico del captador	η _o	(%)	0,786	0,786	0,786	0,786
Coefficiente lineal de pérdidas térmicas	a1	(W/m ² K)	2,6	2,6	2,6	2,6
Coefficiente cuadrático de pérdidas térmicas	a2	(W/m ² K ²)	0,01	0,01	0,01	0,01
Factor de eficiencia del captador	F'	(%)	0,945	0,945	0,945	0,945
Transmitancia cubierta	τ	(%)	0,895	0,895	0,895	0,895
Absortancia absorbedor	α	(%)	0,93	0,93	0,93	0,93

CAPITULO 5

PRUEBAS Y TOMA DE DATOS

Día tipo

Con la finalidad de simplificar razonablemente los cálculos, se utiliza un día tipo para cada mes. Este día tipo se define como el día teórico que representaría un comportamiento medio representativo del mes.

Tabla 5.1 Día tipo

Mes	Día Tipo
Enero	17
Diciembre	11

5.1 Medición de la radiación solar.

La radiación solar medidas para el mes de diciembre y su promedio se obtuvieron con la ayuda de un radiómetro (ver figura 2.8), a continuación se muestran en la siguiente tabla marcadas con amarillo:

Tabla 5.2 Radiación solar mes de diciembre

INVESTIGADOR:		Miguel Mena						
FECHA:		MES PROMEDIO DICIEMBRE						
ORD	Vv		Irradiación (Wh/m ² dia)	IRRADIANCIA (W/m ²)	ALBEDO (W/m ²)	Ta (°C)	HR (%)	Tred (°C)
	(Km/h)	(m/s)						
1	5,4	1,51	5000	672,95	94,91	23,1	41	18
2	4,1	1,14	250	504,85	106,72	24,7	46	18
3	3,6	0,99	3000	546,73	98,19	24,4	47	18
4	5,2	1,43		642,04	106,57	25,3	43	18
5	3,6	1,00	2750	390,77	78,08	24,1	42	18
6	6,1	1,68	4750	696,53	102,90	26,2	36	18
7	2,8	0,76	3750	627,62	106,30	24	42	18
8	5,1	1,41		629,80	82,38	21,7	51	18
9	4,2	1,16	5500	684,28	94,80	23,6	37	18
10	4,4	1,23	6500	705,44	93,81	23,3	40	18
11	1,7	0,48	1500	303,43	52,71	22	45	18
12	5,2	1,43	3750	570,76	101,70	24,5	39	18
PROM	4,3	1,2	3675,0	581,3	93,3	23,9	42	18

La radiación solar medidas para el mes de enero y su promedio se obtuvieron con la ayuda de un radiómetro (ver figura 2.8), a continuación se muestran en la siguiente tabla marcadas con amarillo:

Tabla 5.3 Radiación solar mes de enero

INVESTIGADOR:		Miguel Mena						
FECHA:		MES PROMEDIO ENERO						
ORD	Vv		Irradiación (Wh/m² día)	IRRADIANCIA (W/m²)	ALBEDO (W/m²)	Ta (°C)	HR (%)	Tred (°C)
	(Km/h)	(m/s)						
1	7,4	2,06	1750	410,99	79,21	23,80	41,61	18
2	4,7	1,32	3250	474,3	69,8	23,3	49,4	18
3	6,1	1,70	6500	809,9	81,4	25,0	36,7	18
4	7,0	1,94	6500	821,0	75,3	24,1	30,3	18
5	6,4	1,79	4500	589,6	82,1	25,8	32,8	18
6	6,4	1,79	5000	615,5	73,5	73,5	35,0	18
7	5,5	1,54	5000	605,4	81,8	81,8	34,0	18
8	5,2	1,43	6000	718,7	68,7	68,7	45,5	18
9	4,1	1,14	5750	657,9	45,7	45,7	53,8	18
10	4,8	1,32	4250	610,9	68,1	68,1	48,1	18
11	5,2	1,43	4750	702,3	61,7	61,7	49,9	18
12	2,9	0,82	2000	390,7	71,5	71,5	45,1	18
13	4,1	1,15	6250	747,4	74,5	74,5	35,6	18
14	5,7	1,59	5000	661,8	71,9	71,9	41,9	18
15	3,7	1,02	1250	438,3	70,4	70,4	37,9	18
16	4,2	1,16	4250	570,1	69,7	69,7	41,4	18
17	3,6	1,00	3750	643,2	62,2	62,2	46,2	18
18	6,4	1,77		682,3	86,5	86,5	40,9	18
19	4,7	1,30	6000	841,3	89,1	89,1	36,2	18
20	7,1	1,98	6000	918,7	97,8	97,8	34,5	18
21	8,6	2,40	6250	859,4	96,3	96,3	36,5	18
22	4,9	1,37	4500	603,5	79,7	79,7	39,9	18
PROM	5,4	1,5	4690,5	653,3	75,3	63,2	41	18

5.2 Magnitudes y símbolos relacionados con el modelo matemático del colector.

Para mostrar las magnitudes y los símbolos relacionados con el modelo matemático del captador, se colocó los valores del colector nacional del mes de diciembre para poder presentar la siguiente tabla:

Tabla 5.4 Magnitudes y símbolos

Símbolo	Unidad	Descripción	Valor
η	%	Rendimiento del captador	0,68
η_o	%	Rendimiento óptico del captador	0,786
a_1	(W/m ² K)	Coeficiente lineal de perdidas térmicas	2,6
a_2	(W/m ² K ²)	Coeficiente cuadrático de perdidas térmicas	0,01
T_m	(°C)	Temperatura media del fluido de trabajo en el absorbedor	46
T_a	(°C)	Temperatura ambiente	23,9
E_g	(W/m ²)	Irradiación	581,3
F'	%	Factor de eficiencia del captador	0,945
τ	%	Transmitancia cubierta	0,895
α	%	Absortancia absorbedor	0,93
a_{glob}		coeficiente global de perdidas térmicas	2,82

5.3 Toma de datos, medición de parámetros termofísicos.

Para la medición de los parámetros termofísicos vamos a tomar como datos el día tipo para cada mes.

Para el mes de diciembre el día tipo es el 11 de diciembre, y sus datos se puede observar en el anexo E 6.

Tabla 5.5 Parámetros termofísicos dados

a1	(W/m²k)	Coeficiente lineal de perdidas térmicas	2,6
a2	(W/m²K²)	Coeficiente cuadrático de perdidas térmicas	0,01
F'	%	Factor de eficiencia del captador	0,945
τ	%	Transmitancia cubierta	0,895
α	%	Absortancia absorbedor	0,93

Con los parámetros termo físicos de la tabla 5,5 y los datos del anexo E 6, podemos calcular los parámetros termofísicos faltantes como son el rendimiento del captador, el rendimiento óptico del captador y el coeficiente global de perdidas térmicas

Cálculos:

CALCULO DE LA EFICIENCIA Y PERDIDA TERMICA GLOBAL

DATOS

$a_1 := 2.6 \frac{W}{m^2K}$	Coeficiente lineal de pérdidas térmicas
$a_2 := 0.01 \frac{W}{m^2K}$	Coeficiente cuadrático de pérdidas térmicas
$F' := 0.945$	Factor de eficiencia del captador
$\tau := 0.895$	Transmitancia de la cubierta
$\alpha := 0.93$	Absortancia del absorbedor

Dic día 11

$E_g := 697 \frac{W}{m^2}$	Irradiancia	
$T_{m1} := 48. C$	Nac	Temperatura media colector nacional
$T_{m2} := 38 C$	Hel	Temperatura media colector heliocol
$T_a := 26.2 C$		Temperatura ambiente
$\Delta T_1 := T_{m1} - T_a$	$\Delta T_2 := T_{m2} - T_a$	
$\Delta T_1 = 22 C$	$\Delta T_2 = 11.8 C$	

Cálculo del rendimiento optico del captador

$$\eta_o := \alpha \cdot \tau \cdot F'$$

$$\eta_o = 0.787$$

Cálculo del rendimiento mes de diciembre colector nacional

$$\eta := \eta_o - a_1 \cdot \frac{(T_{m1} - T_a)}{E_g} - a_2 \cdot \frac{(T_{m1} - T_a) \cdot (T_{m1} - T_a)}{E_g}$$

$$\eta = 0.698$$

$$\eta \cdot 100 = 69.756 \quad \%$$

Cálculo del rendimiento mes de diciembre colector heliocol

$$\eta := \eta_o - a_1 \cdot \frac{(T_{m2} - T_a)}{E_g} - a_2 \cdot \frac{(T_{m2} - T_a) \cdot (T_{m2} - T_a)}{E_g}$$

$$\eta = 0.741$$

$$\eta \cdot 100 = 74.056 \quad \%$$

Coefficiente global de **pérdidas** termicas mes de diciembre colector nacional

$$a_g := a_1 - a_2 \cdot \Delta T_1$$

$$a_g = 2.38$$

Coefficiente global de **pérdidas** termicas mes de diciembre colector heliocol

$$a_g := a_1 - a_2 \cdot \Delta T_2$$

$$a_g = 2.482$$

A continuación se tomara los parámetros termo físicos para el mes de enero el día tipo es el 17 de enero, y sus datos se encuentran en el anexo F 11.

Con los parámetros termo físicos de la tabla 5,5 y los datos del anexo F 11 podemos calcular los parámetros termo físicos faltantes como son el rendimiento del captador, el rendimiento óptico del captador y el coeficiente global de pérdidas térmicas

Cálculos:

CÁLCULO DE LA EFICIENCIA Y PÉRDIDA TERMICA GLOBAL

DATOS

$$a_1 := 2.6 \frac{W}{m^2 K} \quad \text{Coeficiente lineal de pérdidas térmicas}$$

$$a_2 := 0.01 \frac{W}{m^2 K} \quad \text{Coeficiente cuadrático de pérdidas térmicas}$$

$$F' := 0.945 \quad \text{Factor de eficiencia del captador}$$

$$\tau := 0.895 \quad \text{Transmitancia de la cubierta}$$

$$\alpha := 0.93 \quad \text{Absortancia del absorbedor}$$

Ene dia 17

$$E_g := 702.3 \frac{W}{m^2} \quad \text{Irradiancia}$$

$$T_{m1} := 49 \text{ C} \quad \text{Nac} \quad \text{Temperatura media colector nacional}$$

$$T_{m2} := 40 \text{ C} \quad \text{Hel} \quad \text{Temperatura media colector heliocol}$$

$$T_a := 24 \text{ C} \quad \text{Temperatura ambiente}$$

$$\Delta T_1 := T_{m1} - T_a \quad \Delta T_2 := T_{m2} - T_a$$

$$\Delta T_1 = 25 \text{ C} \quad \Delta T_2 = 16 \text{ C}$$

Cálculo del rendimiento optico del captador

$$\eta_0 := \alpha \cdot \tau \cdot F'$$

$$\eta_0 = 0.787$$

Cálculo del rendimiento mes enero colector nacional

$$\eta := \eta_0 - a_1 \cdot \frac{(T_{m1} - T_a)}{E_g} - a_2 \cdot \frac{(T_{m1} - T_a) \cdot (T_{m1} - T_a)}{E_g}$$

$$\eta = 0.685$$

$$\eta \cdot 100 = 68.512 \quad \%$$

Cálculo del rendimiento mes enero colector heliocol

$$\eta := \eta_0 - a_1 \cdot \frac{(T_{m2} - T_a)}{E_g} - a_2 \cdot \frac{(T_{m2} - T_a) \cdot (T_{m2} - T_a)}{E_g}$$

$$\eta = 0.724$$

$$\eta \cdot 100 = 72.369 \quad \%$$

Coefficiente global de **pérdidas** termicas mes de enero colector nacional

$$a_g := a_1 - a_2 \cdot \Delta T_1$$

$$a_g = 2.35$$

Coefficiente global de **pérdidas** termicas mes de enero colector heliocol

$$a_{g,x} := a_1 - a_2 \cdot \Delta T_2$$

$$a_g = 2.44$$

5.4 Curvas de rendimiento de los captadores.

De la misma manera para simplificar los cálculos usaremos el día tipo para cada mes.

Las curvas de rendimiento que se mostraran a continuación se basan en la norma EN 12975.

MES DE DICIEMBRE DIA TIPO 11

a) Curva de rendimiento colector nacional

Tabla 5.6 Datos del rendimiento y el cociente entre la diferencia de temperaturas y la irradiancia mes de diciembre día tipo 11

Ord	η (%)	$(T_m - T_a)/I$ (K/(W/m ²))	Ord	η (%)	$(T_m - T_a)/I$ (K/(W/m ²))
1	0,711	0,027	33	0,636	0,053
2	0,717	0,025	34	0,61	0,063
3	0,714	0,026	35	0,643	0,051
4	0,719	0,024	36	0,604	0,065
5	0,711	0,027	37	0,733	0,019
6	0,712	0,026	38	0,738	0,017
7	0,715	0,025	39	0,73	0,02
8	0,711	0,027	40	0,612	0,061
9	0,713	0,026	41	0,652	0,047
10	0,716	0,025	42	0,659	0,045
11	0,716	0,025	43	0,587	0,069
12	0,717	0,025	44	0,716	0,025
13	0,72	0,024	45	0,573	0,074
14	0,72	0,024	46	0,571	0,076
15	0,721	0,023	47	0,568	0,077
16	0,347	0,156	48	0,59	0,07
17	0,724	0,022	49	0,613	0,062
18	0,72	0,024	50	0,602	0,066
19	0,721	0,023	51	0,587	0,071
20	0,721	0,023	52	0,59	0,07
21	0,721	0,023	53	0,599	0,067
22	0,722	0,023	54	0,596	0,068
23	0,719	0,024	55	0,69	0,034
24	0,719	0,024	56	0,723	0,022
25	0,717	0,024	57	0,696	0,032
26	0,718	0,024	58	0,728	0,02
27	0,716	0,024	59	0,719	0,024
28	0,718	0,024	60	0,686	0,035
29	0,72	0,023	61	0,664	0,043
30	0,723	0,022	62	0,719	0,024
31	0,727	0,021	63	0,727	0,021
32	0,579	0,073	64	0,725	0,021

Ord	η (%)	$(T_m - T_a)/I$ (K/(W/m ²))
65	0,712	0,026
66	0,723	0,022
67	0,716	0,024
68	0,716	0,025
69	0,603	0,066
70	0,583	0,073
71	0,638	0,053
72	0,632	0,055
73	0,598	0,067
74	0,581	0,073
75	0,577	0,075
76	0,529	0,092
77	0,445	0,121
78	0,48	0,109
79	0,548	0,085

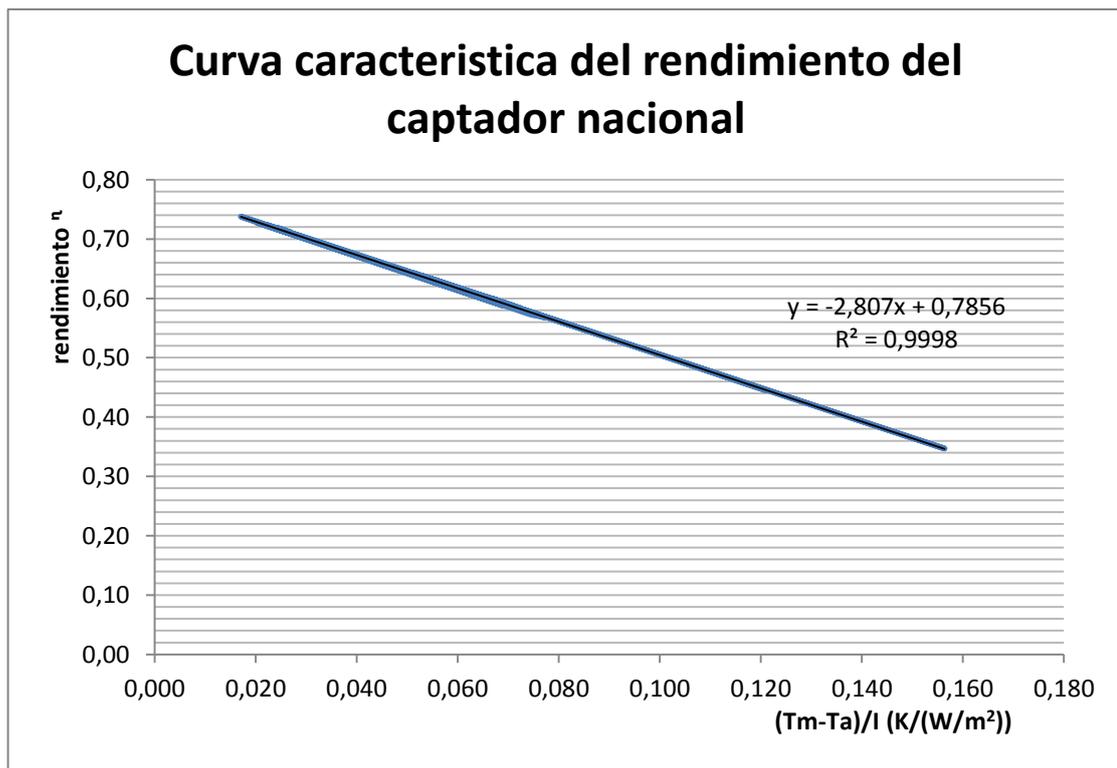


Figura 5.1 Grafica del rendimiento del captador nacional del mes de diciembre día tipo 11

En la figura 5.1 demuestra claramente que el rendimiento del captador se reduce si la irradiancia disminuye, y si la diferencia de temperaturas entre el captador y el ambiente aumenta.

Para el captador nacional el promedio del rendimiento es 0,7 para el mes de diciembre día tipo 11.

El modelo matemático para el colector nacional con respecto al rendimiento es el siguiente:

$$y = -2,807 * X + 0,7856 \quad (5.2)$$

b) Curva de rendimiento colector heliocol

Tabla 5.7 Datos del rendimiento y el cociente entre la diferencia de temperaturas y la irradiancia del mes de diciembre día tipo 11

Ord	η (%)	$(T_m - T_a)/I$ (K/(W/m ²))	Ord	η (%)	$(T_m - T_a)/I$ (K/(W/m ²))
1	0,747	0,014	25	0,743	0,015
2	0,75	0,014	26	0,741	0,016
3	0,749	0,014	27	0,743	0,016
4	0,753	0,012	28	0,743	0,016
5	0,745	0,015	29	0,735	0,018
6	0,748	0,014	30	0,736	0,018
7	0,751	0,013	31	0,747	0,014
8	0,746	0,015	32	0,663	0,045
9	0,747	0,014	33	0,697	0,033
10	0,745	0,015	34	0,676	0,04
11	0,746	0,015	35	0,693	0,034
12	0,745	0,015	36	0,666	0,044
13	0,744	0,015	37	0,756	0,011
14	0,743	0,016	38	0,762	0,009
15	0,742	0,016	39	0,761	0,009
16	0,502	0,104	40	0,71	0,028
17	0,743	0,016	41	0,727	0,022
18	0,742	0,016	42	0,727	0,022
19	0,745	0,015	43	0,736	0,018
20	0,746	0,015	44	0,757	0,011
21	0,746	0,015	45	0,748	0,014
22	0,747	0,014	46	0,757	0,011
23	0,745	0,015	47	0,758	0,01
24	0,746	0,015	48	0,748	0,014

Ord	n	(Tm-Ta)/l
	(%)	(K/(W/m²))
49	0,738	0,018
50	0,76	0,01
51	0,76	0,01
52	0,759	0,01
53	0,754	0,012
54	0,762	0,009
55	0,757	0,011
56	0,758	0,01
57	0,708	0,029
58	0,758	0,01
59	0,702	0,031
60	0,69	0,035
61	0,681	0,039
62	0,679	0,039
63	0,697	0,033
64	0,692	0,035
65	0,683	0,038
66	0,69	0,036
67	0,701	0,032
68	0,688	0,036
69	0,696	0,033
70	0,694	0,034
71	0,72	0,024
72	0,715	0,026
73	0,7	0,032
74	0,691	0,035
75	0,7	0,032
76	0,678	0,04
77	0,655	0,049
78	0,657	0,048
79	0,688	0,037

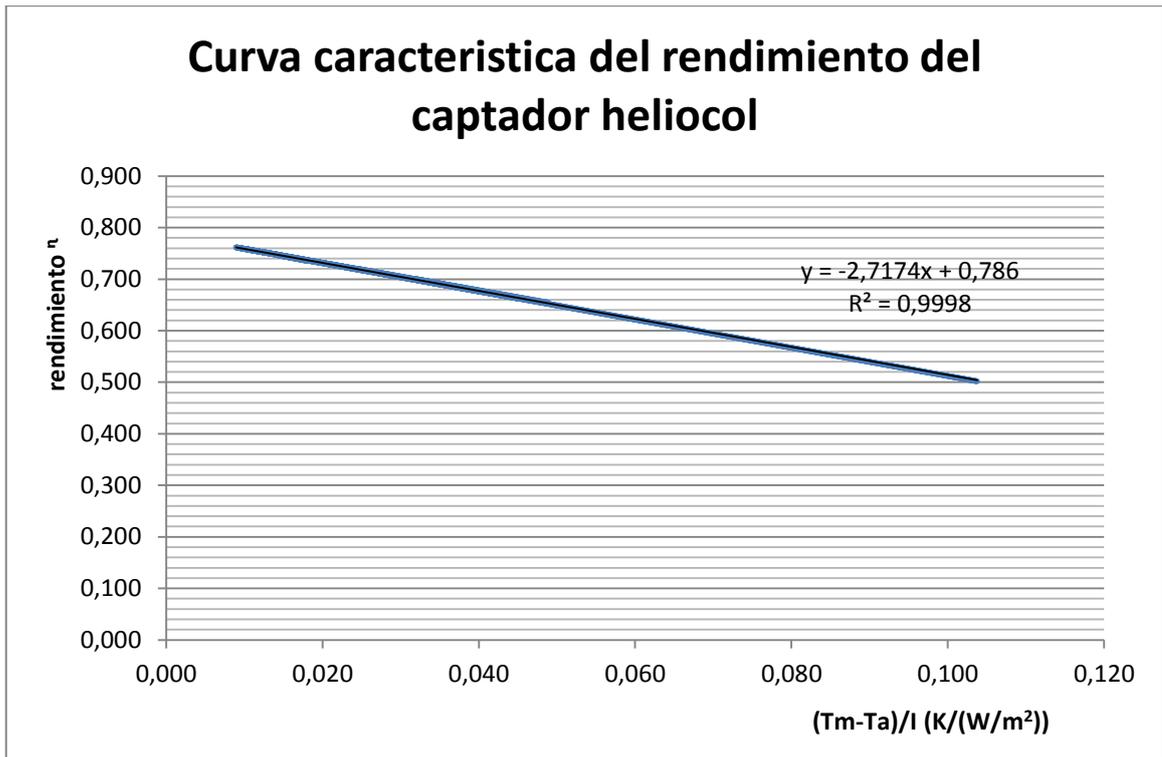


Figura 5.2 Grafica del rendimiento del captador heliocol del mes de diciembre día tipo 11

En la figura 5.2 demuestra claramente que el rendimiento del captador se reduce si la irradiancia disminuye, y si la diferencia de temperaturas entre el captador y el ambiente aumenta.

Para el captador heliocol el promedio del rendimiento es 0,74 para el mes de diciembre día tipo 11.

El modelo matemático para el colector heliocol con respecto al rendimiento es el siguiente:

$$y = -2,7174 * X + 0,786 \quad (5.3)$$

MES DE ENERO DIA TIPO 17

a) Curva de rendimiento colector nacional

Tabla 5.8 Datos del rendimiento y el cociente entre la diferencia de temperaturas y la irradiancia del mes de enero día tipo 17

Ord	η (%)	$(T_m - T_a)/I$ (K/(W/m ²))	ORD	η (%)	$(T_m - T_a)/I$ (K/(W/m ²))
1	0,64	0,054	35	0,72	0,024
2	0,63	0,057	36	0,71	0,026
3	0,61	0,062	37	0,71	0,026
4	0,65	0,049	38	0,72	0,025
5	0,63	0,055	39	0,72	0,025
6	0,65	0,05	40	0,71	0,026
7	0,63	0,056	41	0,71	0,025
8	0,63	0,055	42	0,72	0,024
9	0,63	0,057	43	0,59	0,067
10	0,61	0,065	44	0,7	0,031
11	0,64	0,053	45	0,72	0,024
12	0,66	0,047	46	0,72	0,022
13	0,67	0,042	47	0,71	0,025
14	0,68	0,038	48	0,72	0,024
15	0,68	0,039	49	0,7	0,029
16	0,67	0,042	50	0,56	0,079
17	0,69	0,035	51	0,5	0,103
18	0,68	0,04	52	0,49	0,105
19	0,73	0,019	53	0,53	0,092
20	0,74	0,018	54	0,74	0,017
21	0,74	0,018	55	0,74	0,017
22	0,72	0,022	56	0,7	0,031
23	0,72	0,023	57	0,71	0,027
24	0,72	0,024	58	0,48	0,105
25	0,71	0,025	59	0,69	0,032
26	0,72	0,024	60	0,69	0,034
27	0,71	0,025	61	0,69	0,034
28	0,71	0,025	62	0,69	0,034
29	0,71	0,026	63	0,68	0,035
30	0,71	0,026	64	0,67	0,039
31	0,47	0,111	65	0,67	0,041
32	0,72	0,024	66	0,67	0,041
33	0,4	0,137	67	0,67	0,039
34	0,72	0,023	68	0,67	0,04

Ord	η (%)	$(T_m - T_a)/I$ (K/(W/m ²))
69	0,68	0,036
70	0,66	0,043
71	0,17	0,212
72	0,24	0,187
73	0,65	0,048
74	0,64	0,05
75	0,61	0,059
76	0,64	0,05
77	0,6	0,062
78	0,63	0,052
79	0,63	0,052

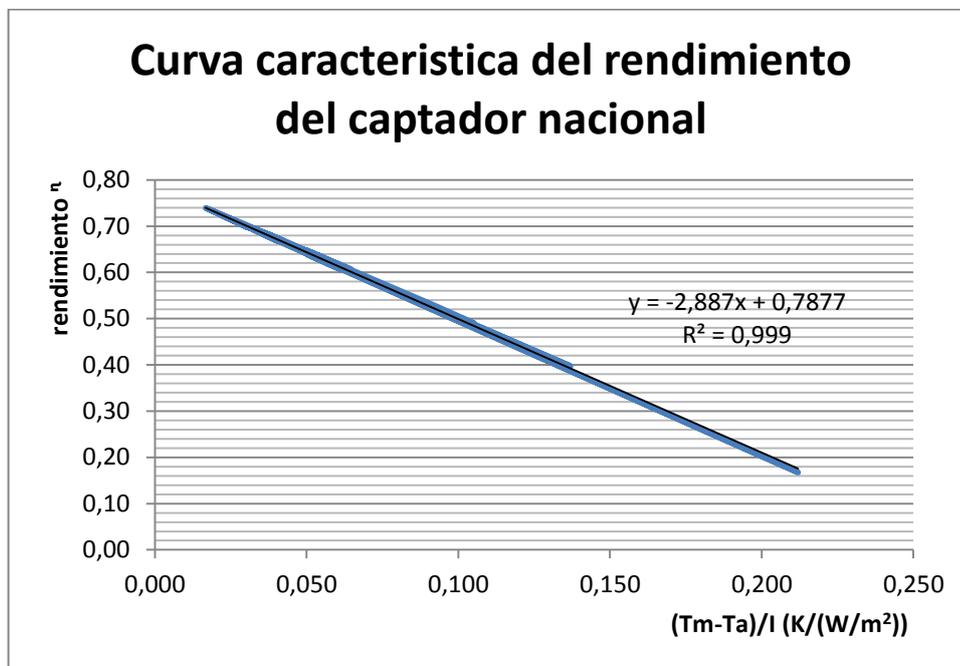


Figura 5.3 Grafica del rendimiento del captador nacional del mes de enero día tipo 17

En la figura 5.3 se demuestra claramente que el rendimiento del captador se reduce si la irradiancia disminuye, y si la diferencia de temperaturas entre el captador y el ambiente aumenta.

Para el captador nacional el promedio del rendimiento es 0,69 para el mes de enero día tipo 17.

El modelo matemático para el colector nacional con respecto al rendimiento es el siguiente:

$$y = -2,887 * X + 0,7877 \quad (5.4)$$

b) Curva de rendimiento colector heliocol

Tabla 5.9 Datos del rendimiento y el cociente entre la diferencia de temperaturas y la irradiancia del mes de enero día tipo 17

Ord	η (%)	$(T_m - T_a)/I$ (K/(W/m ²))	Ord	η (%)	$(T_m - T_a)/I$ (K/(W/m ²))
1	0,712	0,028	30	0,722	0,023
2	0,707	0,029	31	0,515	0,096
3	0,699	0,032	32	0,728	0,021
4	0,706	0,03	33	0,433	0,125
5	0,695	0,034	34	0,726	0,021
6	0,702	0,031	35	0,724	0,022
7	0,692	0,035	36	0,724	0,022
8	0,694	0,034	37	0,724	0,022
9	0,685	0,037	38	0,724	0,022
10	0,671	0,042	39	0,724	0,022
11	0,693	0,034	40	0,724	0,022
12	0,703	0,031	41	0,727	0,021
13	0,716	0,026	42	0,731	0,019
14	0,721	0,024	43	0,641	0,052
15	0,719	0,025	44	0,719	0,024
16	0,715	0,026	45	0,736	0,018
17	0,727	0,022	46	0,743	0,015
18	0,719	0,025	47	0,743	0,016
19	0,754	0,012	48	0,745	0,015
20	0,755	0,011	49	0,737	0,018
21	0,749	0,013	50	0,659	0,046
22	0,745	0,015	51	0,582	0,074
23	0,735	0,018	52	0,59	0,071
24	0,731	0,02	53	0,606	0,066
25	0,729	0,02	54	0,751	0,013
26	0,729	0,02	55	0,751	0,013
27	0,725	0,022	56	0,744	0,015
28	0,725	0,022	57	0,75	0,013
29	0,722	0,023	58	0,64	0,053

Ord	η (%)	$(T_m - T_a)/I$ (K/(W/m ²))
59	0,738	0,017
60	0,737	0,018
61	0,739	0,017
62	0,739	0,017
63	0,737	0,018
64	0,728	0,021
65	0,728	0,021
66	0,726	0,022
67	0,729	0,021
68	0,727	0,021
69	0,73	0,02
70	0,722	0,023
71	0,446	0,122
72	0,504	0,102
73	0,705	0,029
74	0,702	0,03
75	0,699	0,032
76	0,712	0,027
77	0,694	0,033
78	0,709	0,028
79	0,708	0,028
80	0,722	0,023

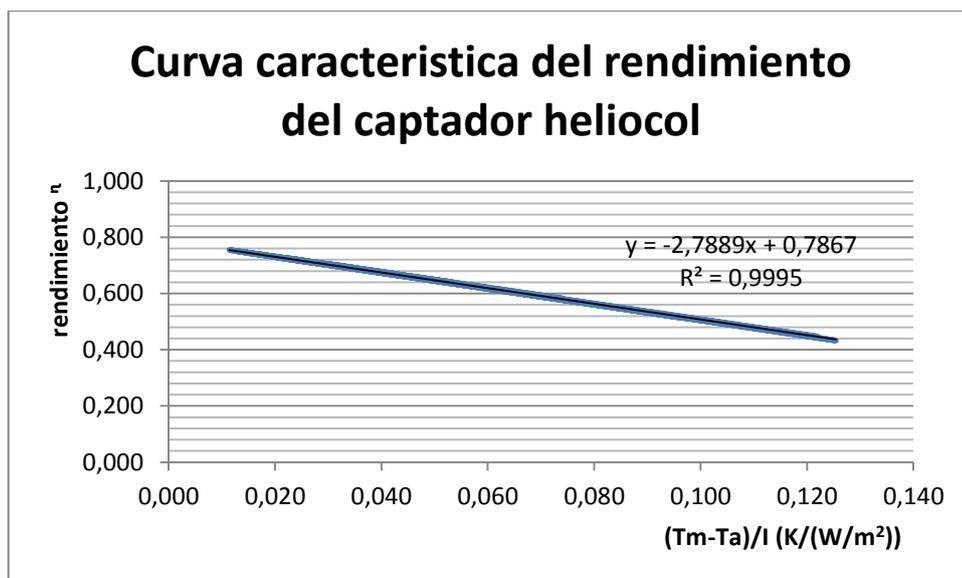


Figura 5.4 Grafica del rendimiento del captador heliocol del mes de enero día tipo 17

En la figura 5.4 se demuestra claramente que el rendimiento del captador se reduce si la irradiancia disminuye, y si la diferencia de temperaturas entre el captador y el ambiente aumenta.

Para el captador heliocol el promedio del rendimiento es 0,72 para el mes de enero día tipo 17.

El modelo matemático para el colector heliocol con respecto al rendimiento es el siguiente:

$$y = -2,7889 * X + 0,7867 \quad (5.5)$$

Análisis de los rendimientos para cada mes

Tabla 5.10 rendimientos para cada mes

		COLECTORES	
		NACIONAL	HELIOCOL
dic-11			
η	(%)	70	74
		COLECTORES	
		NACIONAL	HELIOCOL
ene-17			
η	(%)	69	72

Como ya sabemos el rendimiento del captador es la relación entre la potencia térmica generada por unidad de área y la irradiación solar incidente. Es un valor que carece de dimensiones y se suele expresar en forma porcentual.

Para el mes de diciembre día 11 se puede observar en la tabla 5.12 que el colector nacional tiene un rendimiento del 70 %, mientras que para el colector heliocol tiene un rendimiento del 74 %.

Con lo que se puede decir que el colector heliocol es mucho más eficiente que el colector nacional debido a que este se mantiene frío.

Mientras que para el mes de enero día 17 se puede observar que se mantiene como más eficiente el colector heliocol con un rendimiento del 72 % y el nacional 69 %.

5.5 Análisis de reflexión en la cubierta transparente.

Para un análisis completo que abarca todos los parámetros para el análisis de reflexión de la cubierta transparente, es necesario revisar el capítulo 2 en los apartados 2.3.7, 2.3.8 y 2.3.9.

5.6 Análisis de absorción de calor en la placa colectora para cielo isótropo.

Para el análisis completo de la absorción de calor en la placa colectora para cielo isótropo es necesario revisar el capítulo 2 en el apartado 2.3.10.

CAPITULO 6

ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

6.1 Rendimiento óptico de captadores (η_0).

η_0 representa el rendimiento del captador cuando la diferencia entre la temperatura media del fluido y la temperatura ambiente sea igual a cero, es decir, el captador se halla a temperatura ambiente, anulándose los dos últimos términos de la ecuación. El factor η_0 también se denomina rendimiento óptico del captador o también eficacia óptica, no debiéndose confundir con el factor óptico, que es el producto de $(\tau\alpha)$.

Para el cálculo de η_0 se utiliza la siguiente formula que es tomada de la norma europea EN 12975.

$$\eta_0 = \alpha * \tau * F'(\theta = 0) \quad (6.1)$$

Cálculo de η_0 para los colectores

DATOS

$$a1 := 2.6 \frac{W}{m^2K} \quad \text{Coeficiente lineal de pérdidas térmicas}$$

$$a2 := 0.01 \frac{W}{m^2K} \quad \text{Coeficiente cuadrático de pérdidas térmicas}$$

$$F' := 0.945 \quad \text{Factor de eficiencia del captador}$$

$$\tau := 0.895 \quad \text{Transmitancia de la cubierta}$$

$$\alpha := 0.93 \quad \text{Absortancia del absorbedor}$$

Cálculo del rendimiento optico del captador

$$\eta_0 := \alpha \cdot \tau \cdot F'$$

$$\eta_0 = 0.787$$

El valor calculado de η_0 es usado para el cálculo del rendimiento de los captadores.

6.2 Coeficiente de pérdidas térmicas de los captadores.

Las pérdidas térmicas del captador se describen por medio de los dos coeficientes de pérdidas térmicas $a1$ y $a2$. $a1$ define una variación lineal, mientras que $a2$ denota una variación cuadrática de las perdidas térmicas. Cuando mayores sean estos dos coeficientes, menor será el rendimiento, sobre todo a elevadas temperaturas.

Tabla 6.1 Coeficientes de perdidas térmicas bajo norma EN 12975

	Coeficiente Lineal De Perdidas Térmicas	Coeficiente Cuadrático De Perdidas Térmicas
	a1	a2
	(W/m ² K)	(W/m ² K)
Valor	2,6	0,01

Los valores indicados en la tabla 6.1, son valores que se utilizaran para el cálculo del rendimiento de los captadores, estos valores son obtenidos por varios ensayos en un laboratorio de acuerdo a la norma EN 12975. Factor de eficiencia de los captadores.

6.3 Factor de eficiencia de los captadores.

El factor de eficiencia de los captadores basado en la norma EN 17975 tiene un valor de 0,945 y sus unidades son en porcentaje, este valor es utilizado para el cálculo del rendimiento óptico del captador. En caso que no se tuviera el valor de la eficiencia se debería aplicar la siguiente ecuación:

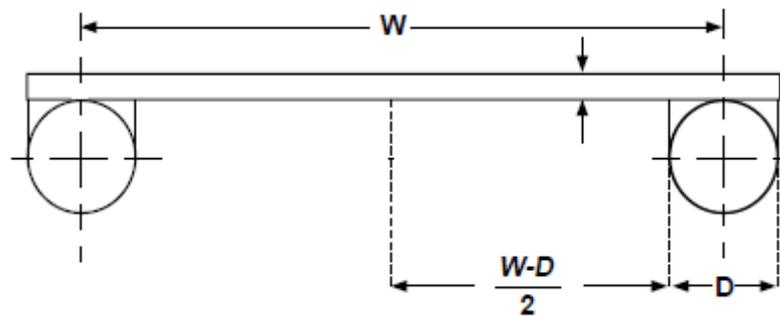


Figura 6.1 Grafico de la placa tubo

Factor De Eficiencia De Los Captadores

$$F = \frac{\tanh\left[m \cdot \frac{(W-D)}{2}\right]}{m \cdot \frac{(W-D)}{2}} \quad m = \sqrt{\frac{U_L}{k \cdot \delta}} \quad (6.2)$$

$$F' = \frac{\left(\frac{1}{U_L}\right)}{W \cdot \left[\frac{1}{h_f \cdot \pi \cdot D_i} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{U_L \cdot [D + (W-D) \cdot F]} \right]} \quad (6.3)$$

El factor de eficiencia bajo la norma EN 12975 es 0.945 mientras que el factor de eficiencia calculado para los colectores es el siguiente:

Cálculo del factor de eficiencia colector Nacional mes de diciembre día tipo 11.

$T_c := 310.2 \text{ K}$	Temperatura de la cubierta
$T_p := 321.2 \text{ K}$	Temperatura de la placa
$T_a := 299.2 \text{ K}$	Temperatura ambiente
$V := 1.7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	Velocidad del viento
$W := 0.082 \text{ m}$	Distancia entre los tubos
$D := 0.015875 \text{ m}$	Diámetro externo
$D_i := 0.013843 \text{ m}$	Diámetro interno
$\epsilon_c := 0.88$	Emitancia del vidrio
$\epsilon_p := 0.95$	Emitancia del absorbente
$\sigma := 5.6697 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$	Constante de Stefan-Boltzman
$i := 0.025 \text{ m}$	Distancia entre el absorbente y el vidrio
$k := 0.045 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$	Conductividad térmica del aislante
$k_p := 50 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$	Conductividad térmica del absorbente
$j := 0.05 \text{ m}$	Grosor del aislante
$\delta := 0.0005 \text{ m}$	Espesor de la lámina
$C_p := 4186 \frac{\text{Kj}}{\text{gK}}$	Calor específico
$C_b := 102 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$	Conductividad térmica de la soldadura
$G := 0.02 \frac{\text{kg}}{\text{seg}}$	Flujo del agua a través del tubo
$h_{fi} := 1500 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$	Coefficiente de transferencia de calor entre el fluido y el tubo

Coefficiente de transferencia de calor entre dos placas paralelas inclinadas

$$h := \frac{\sigma \cdot (T_p^2 + T_c^2) \cdot (T_p + T_c)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1}$$

$$h = 6.003 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

Resistencia de radiación de la cubierta h_{rc-s}

$$h_2 := \varepsilon_c \cdot \sigma \cdot (T_c^2 + T_a^2) \cdot (T_c + T_a)$$
$$h_2 = 5.648 \frac{W}{m^2K}$$

Pérdidas de calor por convección h_{p-c}

$$\Delta T := T_p - T_c$$

$$\Delta T = 11$$

$$T' := \frac{(T_p + T_c)}{2}$$

$$T' = 315.7$$

$$h_3 := 1.161 \cdot \left(\frac{K \cdot T'^{0.31}}{i^{0.070}} \right) \cdot e^{-0.00143305 \cdot T'}$$

$$h_3 = 2.011 \frac{W}{m^2K}$$

**Pérdidas de calor expuestas al viento expresión dada por Mc Adams
 h_{viento}**

$$h_4 := 5.7 + 3.8 \cdot V$$

$$h_4 = 12.16 \frac{W}{m^2K}$$

Pérdidas por arriba de la placa del colector al ambiente

$$U_t := \frac{1}{\left(\frac{1}{h_3 + h} + \frac{1}{h_4 + h_2} \right)}$$

$$U_t = 5.527 \frac{W}{m^2K}$$

$$T_{c1} := T_p - \frac{[U_t \cdot (T_p - T_a)]}{h_3 + h}$$

$$T_{c1} = 306.028 \text{ K}$$

Coefficientes de pérdidas por la base

$$U_b := \frac{k}{j}$$

$$U_b = 0.9 \frac{W}{m^2K}$$

Coefficientes de pérdidas por los lados

$$A_{\text{lados}} := 0.547$$

$$A_{\text{base}} := 2$$

$$U_e := \left(\frac{k}{j}\right) \cdot \left(\frac{A_{\text{lados}}}{A_{\text{base}}}\right)$$

$$U_e = 0.246 \frac{W}{m^2K}$$

Coefficientes de pérdidas global

$$U_L := U_t + U_b + U_e$$

$$U_L = 6.673 \frac{W}{m^2K}$$

Eficiencia de la placa con perfil rectangular

$$m := \sqrt{\frac{U_L}{k\rho\delta}}$$

$$m = 16.338$$

$$\left(\frac{m}{2}\right) \cdot (W - D) = 0.54$$

$$F := \frac{\tanh\left[\left(\frac{m}{2}\right) \cdot (W - D)\right]}{\left(\frac{m}{2}\right) \cdot (W - D)}$$

$$F = 0.913$$

Factor de eficiencia del colector

$$F' := \frac{\left(\frac{1}{U_L}\right)}{(W) \cdot \left[\left[\frac{1}{U_L \cdot [D + (W - D) \cdot F]} \right] + \left(\frac{1}{C_b}\right) + \left(\frac{1}{\pi \cdot D_i \cdot h_{fi}}\right) \right]}$$

$$F' = 0.918$$

El factor de eficiencia del colector nacional para el mes de diciembre día tipo 11 es 0.918.

Cálculo del factor de eficiencia colector heliocol mes de diciembre día tipo 11.

$T_c := 305.1$ K	Temperatura de la cubierta
$T_p := 311$ K	Temperatura de la placa
$T_a := 299.2$ K	Temperatura ambiente
$V := 1.7 \frac{m}{s}$	Velocidad del viento
$W := 0.007$ m	Distancia entre los tubos
$D := 0.0065$ m	Diámetro externo
$D_i := 0.0005$ m	Diámetro interno
$\epsilon_c := 0.75$	Emitancia del vidrio
$\epsilon_p := 0.95$	Emitancia del absorbente
$\sigma := 5.6697 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$	Constante de Stefan-Boltzman
$i := 0.025$ m	Distancia entre el absorbente y el vidrio
$k := 0.04 \frac{W}{mK}$	Conductividad térmica del aislante
$k_p := 0.16 \frac{W}{mK}$	Conductividad térmica del absorbente
$j := 0.05$ m	Grosor del aislante
$\delta := 0.0005$ m	Espesor de la lámina
$C_p := 4186 \frac{Kj}{gK}$	Calor específico
$C_b := 102 \frac{W}{mK}$	Conductividad térmica de la soldadura

$$G := 0.02 \frac{\text{kg}}{\text{seg}}$$

Flujo del agua a través del tubo

$$h_{fi} := 1500 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Coefficiente de transferencia de calor entre el fluido y el tubo

Coefficiente de transferencia de calor entre dos placas paralelas inclinadas

$$h := \frac{\sigma \cdot (T_p^2 + T_c^2) \cdot (T_p + T_c)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1}$$

$$h = 4.784 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Resistencia de radiacion de la cubierta h_{rc-s}

$$h_2 := \epsilon_c \cdot \sigma \cdot (T_c^2 + T_a^2) \cdot (T_c + T_a)$$

$$h_2 = 4.692 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Pérdidas de calor por conveccion h_{p-c}

$$\Delta T := T_p - T_c$$

$$\Delta T = 5.9$$

$$T' := \frac{(T_p + T_c)}{2}$$

$$T' = 308.05 \text{ K}$$

$$h_3 := 1.161 \cdot \left(\frac{\Delta T^{0.31}}{i^{0.070}} \right) \cdot e^{-0.00143305 \cdot T'}$$

$$h_3 = 1.676 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Pérdidas de calor expuestas al viento expresión dada por Mc Adams

$$h_4 := 5.7 + 3.8 \cdot V$$

$$h_4 = 12.16 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Pérdidas por arriba de la placa del colector al ambiente

$$U_t := \frac{1}{\left(\frac{1}{h_3 + h} + \frac{1}{h_4 + h_2} \right)}$$

$$U_t = 4.67 \frac{W}{m^2K}$$

$$T_{c1} := T_p - \frac{[U_t \cdot (T_p - T_a)]}{h_3 + h}$$

$$T_{c1} = 302.47 \text{ K}$$

Coefficientes de pérdidas por la base

$$U_b := \frac{k}{j}$$

$$U_b = 0.8 \frac{W}{m^2K}$$

Coefficientes de pérdidas por los lados

$$A_{\text{lados}} := 0.547$$

$$A_{\text{base}} := 2$$

$$U_e := \left(\frac{k}{j}\right) \cdot \left(\frac{A_{\text{lados}}}{A_{\text{base}}}\right)$$

$$U_e = 0.219 \frac{W}{m^2K}$$

Coefficientes de pérdidas global

$$U_L := U_t + U_b + U_e$$

$$U_L = 5.688 \frac{W}{m^2K}$$

Eficiencia de la placa con perfil rectangular

$$m := \sqrt{\frac{U_L}{k_p \cdot \delta}}$$

$$m = 266.657$$

$$\left(\frac{m}{2}\right) \cdot (W - D) = 0.067$$

$$F := \frac{\tanh\left[\left(\frac{m}{2}\right) \cdot (W - D)\right]}{\left(\frac{m}{2}\right) \cdot (W - D)}$$

$$F = 0.999$$

Factor de eficiencia del colector

$$F' := \frac{\left(\frac{1}{U_L}\right)}{(W) \cdot \left[\frac{1}{U_L \cdot [D + (W - D) \cdot F]} + \left(\frac{1}{C_b}\right) + \left(\frac{1}{\pi \cdot D_i \cdot h_{fi}}\right) \right]}$$

$$F' = 0.983$$

El factor de eficiencia del colector heliocol para el mes de diciembre día tipo 11 es 0.983

Cálculo del factor de eficiencia colector nacional mes de Enero día tipo 17.

$T_c := 309.5$ K	Temperatura de la cubierta
$T_p := 322$ K	Temperatura de la placa
$T_a := 297$ K	Temperatura ambiente
$V := 1.4 \frac{m}{s}$	Velocidad del viento
$W := 0.082$ m	Distancia entre los tubos
$D := 0.015875$ m	Diámetro externo
$D_i := 0.013843$ m	Diámetro interno
$\epsilon_c := 0.88$	Emitancia del vidrio
$\epsilon_p := 0.95$	Emitancia del absorbente
$\sigma := 5.6697 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$	Constante de Stefan-Boltzman
$i := 0.025$ m	Distancia entre el absorbente y el vidrio
$k := 0.045 \frac{W}{mK}$	Conductividad térmica del aislante
$k_p := 50 \frac{W}{mK}$	Conductividad térmica del absorbente
$j := 0.05$ m	Grosor del aislante

$\delta := 0.0005 \text{ m}$	Espesor de la lamina
$C_p := 4186 \frac{\text{Kj}}{\text{gK}}$	Calor especifico
$C_b := 102 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$	Conductividad térmica de la soldadura
$G := 0.02 \frac{\text{kg}}{\text{seg}}$	Flujo del aqua atravez del tubo
$h_{fi} := 1500 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$	Coefficiente de transferencia de calor entre el fluido y el tubo

Coefficiente de transferencia de calor entre dos placas paralelas inclinadas

$$h := \frac{\sigma \cdot (T_p^2 + T_c^2) \cdot (T_p + T_c)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1}$$

$$h = 6.007 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Resistencia de radiacion de la cubierta h_{rc-s}

$$h_2 := \epsilon_c \cdot \sigma \cdot (T_c^2 + T_a^2) \cdot (T_c + T_a)$$

$$h_2 = 5.568 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Perdidas de calor por conveccion h_{p-c}

$$\Delta T := T_p - T_c$$

$$\Delta T = 12.5$$

$$T' := \frac{(T_p + T_c)}{2}$$

$$T' = 315.75 \text{ K}$$

$$h_3 := 1.161 \cdot \left(\frac{\Delta T^{0.31}}{0.070} \right) \cdot e^{-0.00143305 \cdot T'}$$

$$h_3 = 2.092 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Perdidas de calor expuestas al viento expresion dada por Mc Adams

$$h_4 := 5.7 + 3.8 \cdot V$$

$$h_4 = 11.02 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Perdidas por arriba de la placa del colector al ambiente

$$U_t := \frac{1}{\left(\frac{1}{h_3 + h} + \frac{1}{h_4 + h_2} \right)}$$

$$U_t = 5.442 \frac{W}{m^2K}$$

$$T_{c1} := T_p - \frac{[U_t \cdot (T_p - T_a)]}{h_3 + h}$$

$$T_{c1} = 305.201 \text{ K}$$

Coefficientes de perdidas por la base

$$U_b := \frac{k}{j}$$

$$U_b = 0.9 \frac{W}{m^2K}$$

Coefficientes de perdias por los lados

$$A_{lados} := 0.547$$

$$A_{base} := 2$$

$$U_e := \left(\frac{k}{j} \right) \cdot \left(\frac{A_{lados}}{A_{base}} \right)$$

$$U_e = 0.246 \frac{W}{m^2K}$$

Coefficientes de perdidas global

$$U_L := U_t + U_b + U_e$$

$$U_L = 6.588 \frac{W}{m^2K}$$

Eficiencia de la placa con perfil rectangular

$$m := \sqrt{\frac{U_L}{k_p \cdot \delta}}$$

$$m = 16.233$$

$$\left(\frac{m}{2}\right) \cdot (W - D) = 0.537$$

$$F := \frac{\tanh\left[\left(\frac{m}{2}\right) \cdot (W - D)\right]}{\left(\frac{m}{2}\right) \cdot (W - D)}$$

$$F = 0.914$$

Factor de eficiencia del colector

$$F' := \frac{\left(\frac{1}{U_L}\right)}{(W) \cdot \left[\frac{1}{U_L \cdot [D + (W - D) \cdot F]} + \left(\frac{1}{C_b}\right) + \left(\frac{1}{\pi \cdot D_i \cdot h_{fi}}\right)\right]}$$

$$F' = 0.919$$

El factor de eficiencia del colector Nacional para el mes de Enero día tipo 17 es 0.919.

Cálculo del factor de eficiencia colector heliocol mes de Enero día tipo 17.

$T_c := 305$	K	Temperatura de la cubierta
$T_p := 313$	K	Temperatura de la placa
$T_a := 297$	K	Temperatura ambiente
$V := 1.4$	$\frac{m}{s}$	Velocidad del viento
$W := 0.007$	m	Distancia entre los tubos
$D := 0.0065$	m	Diámetro externo
$D_i := 0.0005$	m	Diámetro interno
$\epsilon_c := 0.75$		Emitancia del vidrio
$\epsilon_p := 0.95$		Emitancia del absorbente
$\sigma := 5.6697 \cdot 10^{-8}$	$\frac{W}{m^2 K^4}$	Constante de Stefan-Boltzman
$i := 0.025$	m	Distancia entre el absorbente y el vidrio

$k := 0.04 \frac{W}{mK}$	Conductividad térmica del aislante
$k_p := 0.16 \frac{W}{mK}$	Conductividad térmica del absorbente
$j := 0.05 \text{ m}$	Grosor del aislante
$\delta := 0.0005 \text{ m}$	Espesor de la lamina
$C_p := 4186 \frac{Kj}{gK}$	Calor específico
$C_b := 102 \frac{W}{mK}$	Conductividad térmica de la soldadura
$G := 0.02 \frac{kg}{seg}$	Flujo del agua atravez del tubo
$h_{fi} := 1500 \frac{W}{m^2K}$	Coefficiente de transferencia de calor entre el fluido y el tubo

Coefficiente de transferencia de calor entre dos placas inclinadas h_{rp-c}

$$h := \frac{\sigma \cdot (T_p^2 + T_c^2) \cdot (T_p + T_c)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1}$$

$$h = 4.829 \frac{W}{m^2K}$$

Resistencia de radiacion de la cubierta h_{rc-s}

$$h_2 := \epsilon_c \cdot \sigma \cdot (T_c^2 + T_a^2) \cdot (T_c + T_a)$$

$$h_2 = 4.639 \frac{W}{m^2K}$$

Pérdidas de calor por convección h_{p-c}

$$\Delta T := T_p - T_c$$

$$\Delta T = 8 \text{ K}$$

$$T' := \frac{(T_p + T_c)}{2}$$

$$T' = 309 \text{ K}$$

$$h_3 := 1.161 \cdot \left(\frac{\Delta T^{0.31}}{i^{0.070}} \right) \cdot e^{-0.00143305 \cdot T'}$$

$$h_3 = 1.839 \frac{W}{m^2K}$$

Pérdidas de calor expuestas al viento expresión dada por Mc Adams
 h_{viento}

$$h4 := 5.7 + 3.8 \cdot V$$
$$h4 = 11.02 \frac{W}{m^2K}$$

Pérdidas por arriba de la placa del colector al ambiente

$$U_t := \frac{1}{\left(\frac{1}{h3 + h} + \frac{1}{h4 + h2} \right)}$$
$$U_t = 4.676 \frac{W}{m^2K}$$
$$T_{c1} := T_p - \frac{[U_t \cdot (T_p - T_a)]}{h3 + h}$$
$$T_{c1} = 301.778 \text{ K}$$

Coefficientes de pérdidas por la base

$$U_b := \frac{k}{j}$$
$$U_b = 0.8 \frac{W}{m^2K}$$

Coefficientes de pérdidas por los lados

$$Alados := 0.547$$
$$Abase := 2$$
$$U_e := \left(\frac{k}{j} \right) \cdot \left(\frac{Alados}{Abase} \right)$$
$$U_e = 0.219 \frac{W}{m^2K}$$

Coeficientes de pérdida global

$$U_L := U_t + U_b + U_e$$

$$U_L = 5.695 \frac{W}{m^2K}$$

Eficiencia de la placa con perfil rectangular

$$m := \sqrt{\frac{U_L}{k_p \cdot \delta}}$$

$$m = 266.816$$

$$\left(\frac{m}{2}\right) \cdot (W - D) = 0.067$$

$$F := \frac{\tanh\left[\left(\frac{m}{2}\right) \cdot (W - D)\right]}{\left(\frac{m}{2}\right) \cdot (W - D)}$$

$$F = 0.999$$

Factor de eficiencia del colector

$$F' := \frac{\left(\frac{1}{U_L}\right)}{(W) \cdot \left[\frac{1}{U_L [D + (W - D) \cdot F]} + \left(\frac{1}{C_b}\right) + \left(\frac{1}{\pi \cdot D_i \cdot h_{fi}}\right)\right]}$$

$$F' = 0.983$$

El factor de eficiencia del colector heliocol para el mes de Enero día tipo 17 es 0.983.

A continuación se muestran los valores generales de la eficiencia en la siguiente tabla:

Tabla 6.2 Factores de eficiencia calculados y normalizados

Colector	Fecha	Factor de Eficiencia Calculado	Factor de Eficiencia Bajo Norma EN 12975
Nacional	11-dic	0,918	0,945
	17-ene	0,919	
Heliocol	11-dic	0,983	
	17-ene	0,983	

6.4 Factor de remoción de calor de los captadores.

Se define el factor de calor removido, F_R como la razón entre el calor removido por el fluido en los tubos y la energía útil si todo el colector estuviera a la temperatura de entrada del fluido.

Para el correcto entendimiento de la obtención de la fórmula del factor de remoción de calor se debe observar la figura 2.30, a continuación se muestra la fórmula del factor de remoción del calor:

Factor de remoción de calor del colector

$$F_R = \frac{\text{calor util captado por el fluido}}{\text{calor util captado con placa a } T_{fi}} = \frac{\dot{m}C_p(T_{fo}-T_{fi})}{A_c[S-U_L(T_{fi}-T_a)]} \quad (6.4)$$

$$F_R = \frac{\dot{m}C_p}{A_cU_L} \left[1 - \exp\left(-\frac{U_LA_cF'}{\dot{m}C_p}\right) \right]$$

Con la ayuda de los valores calculados en el tema anterior, se puede calcular el factor de remoción de los colectores Nacional y Heliocol.

Cálculo del factor de remoción colector Nacional mes de Diciembre día tipo 11.

$$FR := \left[\frac{(G \cdot Cp)}{U_L} \right] \cdot \left[1 - e^{-\left[\frac{(U_L F')}{G \cdot Cp} \right]} \right]$$

$$FR = 0.885$$

El factor de remoción del colector Nacional para el mes de Diciembre día tipo 11 es 0.885.

Cálculo del factor de remoción colector Heliocol mes de Diciembre día tipo 11.

$$FR := \left[\frac{(G \cdot Cp)}{U_L} \right] \cdot \left[1 - e^{-\left[\frac{(U_L F')}{G \cdot Cp} \right]} \right]$$

$$FR = 0.951$$

El factor de remoción del colector Heliocol para el mes de Diciembre día tipo 11 es 0.951.

Cálculo del factor de remoción colector Nacional mes de Enero día tipo 17.

$$FR := \left[\frac{(G \cdot Cp)}{U_L} \right] \cdot \left[1 - e^{-\left[\frac{(U_L F')}{G \cdot Cp} \right]} \right]$$

$$FR = 0.887$$

El factor de remoción del colector Nacional para el mes de Enero día tipo 17 es 0.887.

Cálculo del factor de remoción colector Heliocol mes de Enero día tipo 17.

$$FR := \left[\frac{(G \cdot Cp)}{U_L} \right] \cdot \left[1 - e^{-\left[\frac{(U_L F')}{G \cdot Cp} \right]} \right]$$

$$FR = 0.951$$

El factor de remoción del colector Heliocol para el mes de Enero día tipo 17 es 0.951.

Valores de factor de remoción bajo norma EN 12975

Cálculo del factor de remoción colector Nacional mes de Diciembre día tipo 11.

$$F' := 0.945$$

$$FR := \left[\frac{(G \cdot Cp)}{U_L} \right] \cdot \left[1 - e^{-\left[\frac{(U_L F')}{G \cdot Cp} \right]} \right]$$

$$FR = 0.91$$

El factor de remoción del colector Nacional bajo la norma EN 12975 para el mes de Diciembre día tipo 11 es 0.91.

Cálculo del factor de remoción colector Heliocol mes de Diciembre día tipo 11.

$$F' := 0.945$$

$$FR := \left[\frac{(G \cdot Cp)}{U_L} \right] \cdot \left[1 - e^{-\left[\frac{(U_L F')}{G \cdot Cp} \right]} \right]$$

$$FR = 0.915$$

El factor de remoción del colector Heliocol bajo la norma EN 12975 para el mes de Diciembre día tipo 11 es 0.915.

Cálculo del factor de remoción colector Nacional mes de Enero día tipo 17.

$$F' := 0.945$$

$$FR := \left[\frac{(G \cdot Cp)}{U_L} \right] \cdot \left[1 - e^{-\left[\frac{(U_L F')}{G \cdot Cp} \right]} \right]$$

$$FR = 0.911$$

El factor de remoción del colector Nacional bajo la norma EN 12975 para el mes de Enero día tipo 17 es 0.911.

Cálculo del factor de remoción colector Heliocol mes de Enero día tipo 17.

$$F' := 0.945$$

$$FR := \left[\frac{(G \cdot Cp)}{U_L} \right] \cdot \left[1 - e^{-\left[\frac{(U_L F')}{G \cdot Cp} \right]} \right]$$

$$FR = 0.915$$

El factor de remoción del colector Heliocol bajo la norma EN 12975 para el mes de Enero día tipo 17 es 0.915.

A continuación se muestran los valores generales de los factores de remoción en la siguiente tabla:

Tabla 6.3 Factores de remoción calculados y normalizados

Colector	Fecha	Factor de Remoción Calculado (FR)	Factor de Remoción Bajo Norma EN 12975
Nacional	11-dic	0.885	0.91
	17-ene	0.887	0.911
Heliocol	11-dic	0.951	0.915
	17-ene	0.951	0.915

6.5 Transmitancia y absortancia de los captadores.

Transmitancia¹⁹

La transmitancia se define como la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo en determinada cantidad de tiempo.

Existen varios tipos de transmitancia, dependiendo de qué tipo de energía consideremos.

¹⁹ <http://quimica.laguia2000.com>

La transmitancia óptica se refiere a la cantidad de luz que atraviesa un cuerpo, en una determinada longitud de onda. Cuando un haz de luz incide sobre un cuerpo traslúcido, una parte de esa luz es absorbida por el mismo, y otra fracción de ese haz de luz atravesará el cuerpo, según su transmitancia. El valor de la transmitancia óptica de un objeto se puede determinar según la siguiente expresión:

$$T = \frac{I}{I_0}$$

I es la cantidad de luz transmitida por la muestra e I₀ es la cantidad total de luz incidente.

Podemos hablar de transmitancia térmica como la cantidad de energía en forma de calor que atraviesa un cuerpo, en cierta unidad de tiempo. Si tenemos en cuenta un cuerpo con caras planas y paralelas, y entre sus caras hay una diferencia térmica, esta diferencia constituye la transmitancia térmica del cuerpo. La transmitancia térmica es el inverso de la resistencia térmica. Se puede definir según la siguiente fórmula:

$$U = \frac{W}{S.K}$$

En esta expresión tenemos que

U = transmitancia en W/m². Kelvin

S = superficie del cuerpo en m².

K = diferencia de temperaturas en grados Kelvin.

El concepto de este tipo de transmitancia es aplicado en los cálculos para construir aislamientos térmicos y para calcular pérdidas de energía en forma de calor.

Para nuestro estudio la transmitancia tiene un valor de 0.895, este valor es obtenido de la norma EN 12975.

Absortancia²⁰

La absortancia, por otro lado, representa en sí la fracción de radiación incidente que es absorbida por un material, con valores que van de 0.0 a 1.0 (aunque también se puede expresar en términos de porcentaje, de 0% a 100%). La absortancia, en ocasiones denominada absorción superficial, depende fundamentalmente del color y el acabado de los materiales.

La absortancia puede ser establecida en relación con radiaciones de diferentes longitudes de onda. Debido a ello es común encontrar tres formas distintas de absortancia: solar, visible y térmica:

La forma más común se refiere a la absortancia solar, la cual incluye el espectro visible, el infrarrojo y el ultravioleta. Este parámetro generalmente se usa para estimar la forma en que la radiación solar afecta el balance térmico de las superficies (exteriores e interiores) de los elementos constructivos. En la tabla incluida abajo se indican los valores de absortancia solar de algunos materiales constructivos.

Otro parámetro se refiere a la absortancia visible. Esta representa la fracción de la radiación visible incidente que es absorbida por un material. En ese sentido el rango de longitudes de onda considerado es mucho más estrecho que en el caso de la de radiación solar, ya que no se incluye el espectro infrarrojo ni el ultravioleta. Este parámetro también afecta el balance térmico superficial, aunque generalmente se emplea en los cálculos de iluminación.

Un tercer valor es el de la absortancia térmica, el cual se puede considerar un parámetro equivalente a la emitancia. La absortancia térmica representa la fracción de la radiación incidente de onda larga (longitudes de onda infrarrojas) que es absorbida por un material. Este parámetro afecta el balance térmico superficial, pero suele usarse para calcular los intercambios de radiación de onda larga entre varias superficies. Al igual que en los casos anteriores, los valores de la absortancia térmica van de

²⁰ <http://www.sol-arq.com/index.php>

0.0 a 1.0, donde 1.0 representa las condiciones de un cuerpo negro ideal, el cual absorbería (y emitiría) toda la radiación de onda larga incidente.

Para nuestro estudio la absorptancia tiene un valor de 0.93, este valor es obtenido de la norma EN 12975.

6.6 Capacidad energética de los captadores.

La ganancia de energía instantánea por unidad de tiempo y unidad de área es:

$$Q := FR \cdot A \cdot [I \cdot k \cdot \alpha \cdot \tau - U_L (\Delta T)]$$

En donde k es el factor de sombra y suciedad, τ la transmitancia de la cubierta, α la absorptancia del absorbente y ΔT es la diferencia de temperaturas de entrada y salida del fluido, U_L es el coeficiente de pérdidas global, FR es el factor de remoción y I es la irradiancia.

Cálculo de la ganancia de energía para el colector Nacional mes de diciembre día tipo 11

$$FR := 0.885$$

Factor de remoción

$$I := 697 \frac{W}{m^2 C}$$

Irradiancia

$$k := 0.9$$

Factor de sombra y suciedad

$$\tau := 0.895$$

Transmitancia de la cubierta

$$\alpha := 0.93$$

Absorptancia del absorbente

$$U_L := 6.673 \frac{W}{m^2 K}$$

Coficiente de pérdida global

$$\Delta T := 48.2 \text{ } ^\circ C$$

Diferencia de temperatura de entrada y salida del fluido

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

$$Q := FR \cdot A \cdot [I \cdot k \cdot \alpha \cdot \tau - U_L (\Delta T)]$$

$$Q = 354.875 \text{ } W$$

Cálculo de la ganancia de energía para el colector Heliocol mes de diciembre día tipo 11

$$FR := 0.951$$

Factor de remoción

$$I := 697 \frac{W}{m^2C}$$

Irradiancia

$$k := 0.9$$

Factor de sombra y suciedad

$$\tau := 0.895$$

Transmitancia de la cubierta

$$\alpha := 0.93$$

Absortancia del absorbente

$$U_L := 5.688 \frac{W}{m^2K}$$

Coefficiente de pérdida global

$$\Delta T := 38 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Diferencia de temperatura de entrada y salida del fluido

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

$$Q := FR \cdot A \cdot [I \cdot k \cdot \alpha \cdot \tau - U_L \cdot (\Delta T)]$$

$$Q = 581.991 \text{ W}$$

Cálculo de la ganancia de energía para el colector Nacional mes de Enero día tipo 17

$$FR := 0.887$$

Factor de remoción

$$I := 702.3 \frac{W}{m^2C}$$

Irradiancia

$$k := 0.9$$

Factor de sombra y suciedad

$$\tau := 0.895$$

Transmitancia de la cubierta

$$\alpha := 0.93$$

Absortancia del absorbente

$$U_L := 6.588 \frac{W}{m^2K}$$

Coefficiente de pérdida global

$$\Delta T := 49 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Diferencia de temperatura de entrada y salida del fluido

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

$$Q := FR \cdot A \cdot [I \cdot k \cdot \alpha \cdot \tau - U_L \cdot (\Delta T)]$$

$$Q = 360.639 \text{ W}$$

Cálculo de la ganancia de energía para el colector Heliocol mes de Enero día tipo 17

$FR := 0.951$	Factor de remoción
$I := 702.3 \frac{W}{m^2C}$	Irradiancia
$k := 0.9$	Factor de sombra y suciedad
$\tau := 0.895$	Transmitancia de la cubierta
$\alpha := 0.93$	Absortancia del absorbente
$U_L := 5.695 \frac{W}{m^2K}$	Coefficiente de pérdida global
$\Delta T := 40 \text{ } ^\circ C$	Diferencia de temperatura de entrada y salida del fluido

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

$$Q := FR \cdot A \cdot [I \cdot k \cdot \alpha \cdot \tau - U_L (\Delta T)]$$

$$Q = 567.373 \text{ W}$$

6.7 Análisis estadístico de datos.

Se han tomado un cierto número de datos en los meses de diciembre 2012 y enero 2013 del funcionamiento de los colectores nacional y heliocol, estos datos han sido tomado en circunstancias variables, por lo cual podemos observar la variación de los resultados en los anexos E y F.

6.7.1 Análisis de datos mes de diciembre 2012 día tipo 11

De acuerdo a lo establecido en el anexo E 6 día 11, se puede observar que la temperatura promedio del colector nacional es de 48,2 C y la del colector heliocol es 38 C, esto se debe a los altos vientos que se tiene, con un promedio de 1,7 m/s, además a la radiación inestable, ya que como se puede observar en el anexo E 6 día 11, pasada la 13 :45 pm esta comienza a descender de forma considerable debido a la alta presencia de nubosidad, lo cual no permite tener una radiación directa y el agua alcanza una temperatura de 56 C para el colector nacional y 50 C para el colector heliocol a los 285 min, de lo cual se puede deducir que un día donde exista radiación constante y directa en un lapso mayor de tiempo, los sistemas van a incrementar su temperatura.

Con el fin de que se pueda visualizar y entender de mejor manera el comportamiento de los diferentes parámetros de funcionamiento del sistema, se procede a realizar las gráficas del anexo E 6 día 11.

a) Grafica de la irradiancia en función de las horas

Tabla 6.4 Datos de Irradiancia tomados a diferentes horas del mes de diciembre del día tipo 11

HORA	IRRADIANCIA (W/m²)	HORA	IRRADIANCIA (W/m²)
9:00	637	11:45	333
9:05	702	11:50	380
9:10	654	11:55	309
9:15	666	12:00	1041
9:20	688	12:05	1295
9:25	733	12:10	1278
9:30	756	12:15	405
9:35	750	12:20	473
9:40	764	12:25	471
9:45	797	12:30	628
9:50	816	12:35	1137
9:55	830	12:40	757
10:00	861	12:45	1418
10:05	874	12:50	1040
10:10	917	12:55	719
10:15	133	13:00	573
10:20	938	13:05	1027
10:25	917	13:10	1252
10:30	939	13:15	1193
10:35	957	13:20	1017
10:40	968	13:25	1187
10:45	977	13:30	1105
10:50	987	13:35	1106
10:55	998	13:40	398
11:00	1014	13:45	1092
11:05	1018	13:50	357
11:10	1021	13:55	324
11:15	1038	14:00	288
11:20	1065	14:05	293
11:25	1133	14:10	327
11:30	1151	14:15	289
11:35	319	14:20	271
11:40	411	14:25	275

HORA	IRRADIANCIA (W/m ²)
14:30	284
14:35	283
14:40	296
14:45	273
14:50	369
14:55	348
15:00	298
15:05	277
15:10	271
15:15	224
15:20	180
15:25	198
15:30	238

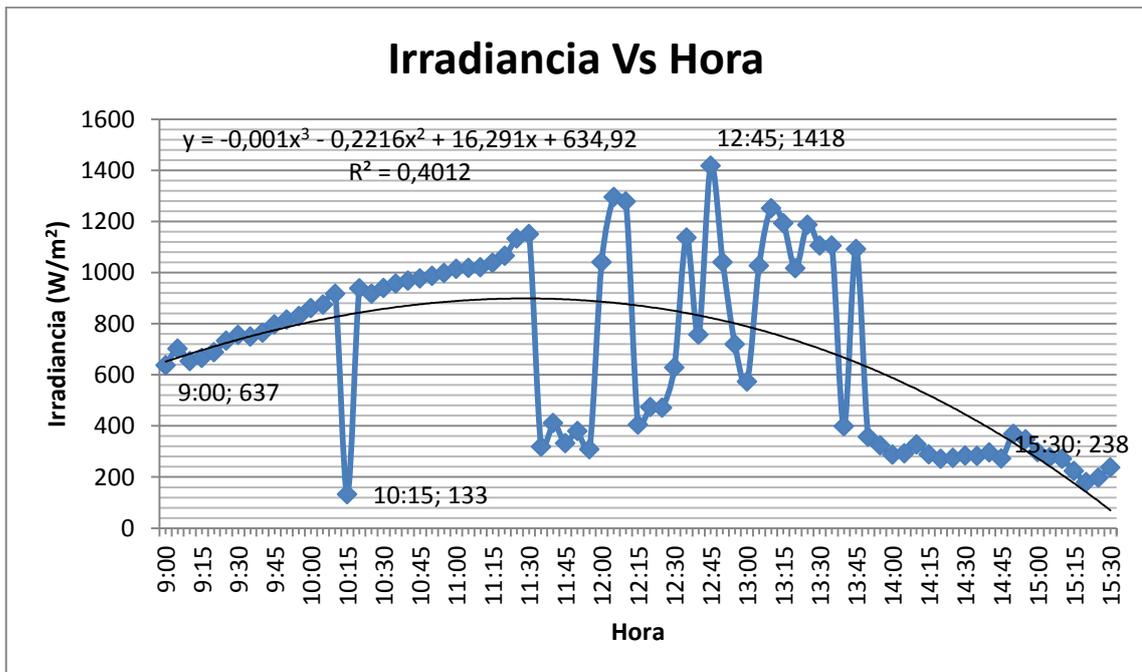


Figura 6.2 Grafico de la Irradiancia en función de las horas del mes de diciembre día tipo 11

De acuerdo a la figura 6.2 se observa que la irradiancia a las 9:00 am comienza en 637 W/m², luego de un tiempo observamos que la irradiancia más baja es a las 10:15 am con un valor de 133 W/m², mientras que la irradiancia más alta es a las 12:45 pm con un valor de 1418 W/m², al terminar el día con la toma de datos a las 15:30 pm terminamos con un valor de 238 W/m².

b) Grafica de la temperatura promedio dela agua en función de la irradiancia

Tabla 6.5 Datos de la temperatura promedio del agua del colector nacional tomado a diferente irradiación del mes de diciembre del día tipo 11.

Ord	Tm	IRRADIANCIA	Ord	Tm	IRRADIANCIA
	(°C)	(W/m ²)		(°C)	(W/m ²)
1	40	637	35	46,5	380
2	40	702	36	46,5	309
3	40	654	37	46	1041
4	40	666	38	49,5	1295
5	40	688	39	52,5	1278
6	41	733	40	51,5	405
7	41,5	756	41	50	473
8	42	750	42	49	471
9	42	764	43	50	628
10	42	797	44	54	1137
11	42,5	816	45	53,5	757
12	43	830	46	53,5	1418
13	43	861	47	54	1040
14	43	874	48	55	719
15	43,5	917	49	54,5	573
16	43	133	50	54,5	1027
17	43	938	51	56	1252
18	44	917	52	55,5	1193
19	44,5	939	53	56,5	1017
20	45	957	54	56,5	1187
21	45	968	55	57	1105
22	45,5	977	56	57,5	1106
23	46,5	987	57	58	398
24	47	998	58	57,5	1092
25	48	1014	59	57,5	357
26	48	1018	60	55	324
27	49	1021	61	53	288
28	49,5	1038	62	51	293
29	49,5	1065	63	50,5	327
30	50,5	1133	64	49	289
31	50	1151	65	49	271
32	50	319	66	48,5	275
33	48,5	411	67	48	284
34	47,5	333	68	47	283

Ord	Tm (°C)	IRRADIANCIA (W/m ²)
69	46,5	296
70	46,5	273
71	46,5	369
72	46	348
73	46,5	298
74	46,5	277
75	45,5	271
76	45,5	224
77	47	180
78	46	198
79	45,5	238

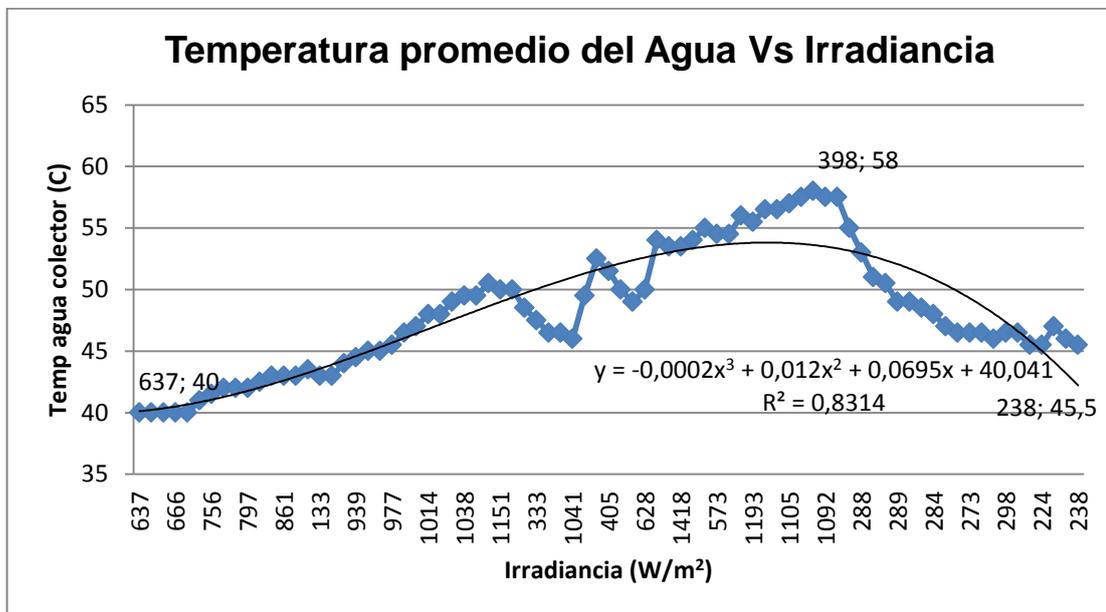


Figura 6.3 Grafico de la Temperatura promedio del agua del colector nacional en función de la irradiancia del mes de diciembre del día tipo 11

Como se observa en la figura 6.3, mientras la irradiancia es mayor la temperatura del agua también aumenta. También observamos que al iniciar la recolección de los datos en el colector nacional iniciamos con una temperatura de 40 C a una irradiancia de 637 W/m², una temperatura máxima de 58 C a una irradiancia de 398 W/m² y finalizamos con una temperatura de 45,5 C a una irradiancia de 238 W/m².

c) Grafica de la temperatura promedio del agua en función de la irradiancia

Tabla 6.6 Datos de la temperatura promedio del agua del colector heliocol tomado a diferente irradiación del mes de diciembre del día tipo 11.

Ord	Tm	IRRADIANCIA	Ord	Tm	IRRADIANCIA
	(°C)	(W/m²)		(°C)	(W/m²)
1	32	637	35	40	380
2	32	702	36	40	309
3	32	654	37	38	1041
4	32	666	38	39	1295
5	32	688	39	39	1278
6	32	733	40	38	405
7	32	756	41	38	473
8	33	750	42	38	471
9	33	764	43	40	628
10	34	797	44	41	1137
11	34	816	45	40	757
12	35	830	46	40	1418
13	36	861	47	40	1040
14	36	874	48	40	719
15	37	917	49	40	573
16	36	133	50	40	1027
17	37	938	51	42	1252
18	37	917	52	42	1193
19	37	939	53	42	1017
20	37	957	54	41	1187
21	37	968	55	42	1105
22	37	977	56	42	1106
23	38	987	57	42	398
24	38	998	58	42	1092
25	39	1014	59	42	357
26	40	1018	60	42	324
27	40	1021	61	42	288
28	41	1038	62	42	293
29	44	1065	63	41	327
30	46	1133	64	40	289
31	42	1151	65	40	271
32	41	319	66	39	275
33	40	411	67	38	284
34	40	333	68	38	283

Ord	Tm (°C)	IRRADIANCIA (W/m ²)
69	37	296
70	36	273
71	36	369
72	36	348
73	36	298
74	36	277
75	34	271
76	34	224
77	34	180
78	34	198
79	34	238

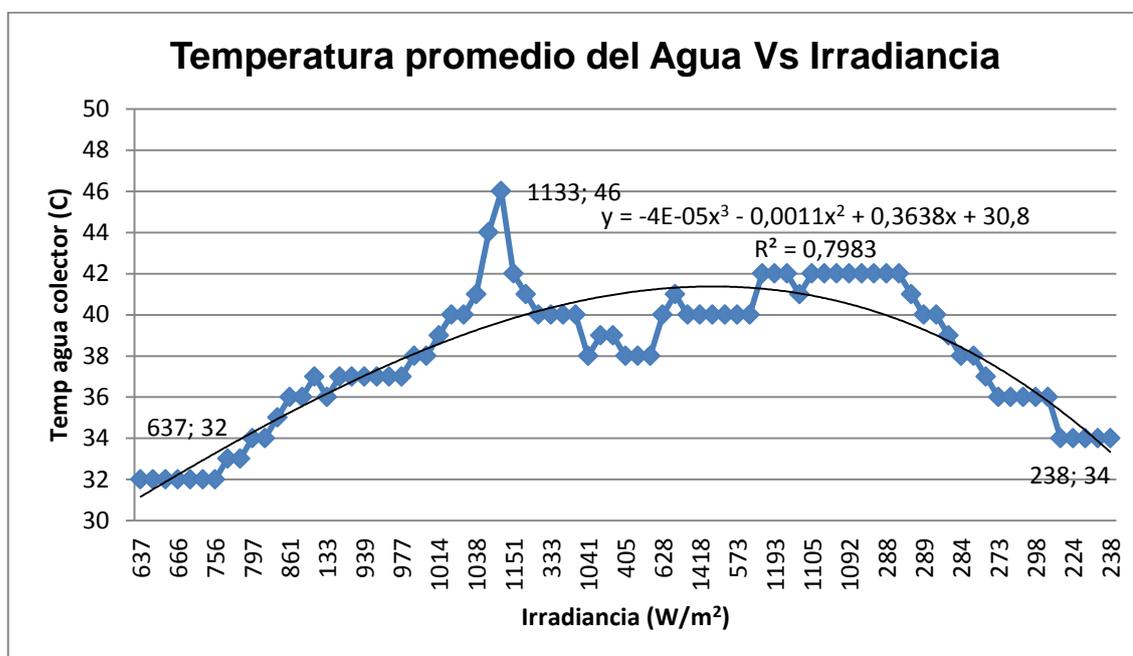


Figura 6.4 Grafico de la Temperatura promedio del agua del colector Heliocol en función de la irradiancia del mes de diciembre del día tipo 11

Como se observa en la figura 6.4, mientras la irradiancia es mayor la temperatura del agua también aumenta. También observamos que al iniciar la recolección de los datos en el colector heliocol iniciamos con una temperatura de 32 C a una irradiancia de 637 W/m², una temperatura máxima de 46 C a una irradiancia de 1133 W/m² y finalizamos con una temperatura de 34 C a una irradiancia de 238 W/m².

d) Grafica de la temperatura ambiente en función de la irradiancia

Tabla 6.7 Datos de la temperatura ambiente tomado a diferente irradiancia del mes de diciembre del día tipo 11.

Ord	Ta	IRRADIANCIA	Ord	Ta	IRRADIANCIA
	(°C)	(W/m ²)		(°C)	(W/m ²)
1	22,8	637	35	27	380
2	22,5	702	36	26,4	309
3	23	654	37	26,4	1041
4	23,9	666	38	27,4	1295
5	21,5	688	39	27,4	1278
6	21,6	733	40	26,7	405
7	22,3	756	41	27,6	473
8	22	750	42	27,8	471
9	22	764	43	28,5	628
10	22	797	44	28,7	1137
11	22	816	45	29,5	757
12	22,5	830	46	24,8	1418
13	22,7	861	47	29,4	1040
14	22,4	874	48	29,9	719
15	22,4	917	49	29,9	573
16	22,2	133	50	30,2	1027
17	22,3	938	51	30,1	1252
18	22,4	917	52	30,2	1193
19	22,9	939	53	30,2	1017
20	22,9	957	54	30,4	1187
21	22,8	968	55	30,1	1105
22	23,2	977	56	30,4	1106
23	23,3	987	57	30,5	398
24	23,3	998	58	30,7	1092
25	23,3	1014	59	31	357
26	23,6	1018	60	30,5	324
27	24	1021	61	30,8	288
28	24,7	1038	62	30,5	293
29	24,7	1065	63	30,3	327
30	25,6	1133	64	29,9	289
31	25,9	1151	65	29,7	271
32	26,7	319	66	29,2	275
33	26,6	411	67	29	284
34	26,6	333	68	27,7	283

Ord	Ta (°C)	IRRADIANCIA (W/m ²)
69	27,1	296
70	26,7	273
71	27	369
72	26,8	348
73	26,5	298
74	26,2	277
75	25,3	271
76	25	224
77	25,2	180
78	24,5	198
79	25,3	238

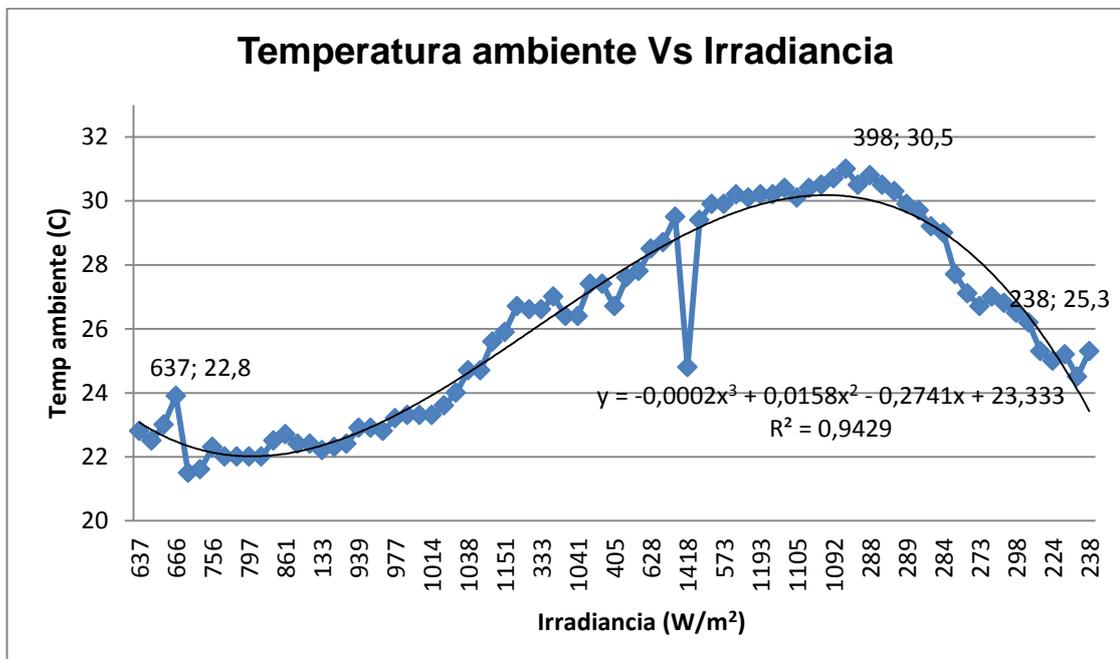


Figura 6.5 Grafico de la Temperatura ambiente en función de la irradiancia del mes de diciembre del día tipo 11

Como podemos observar en la figura 6.5, se puede ver claramente como la temperatura ambiente es directamente proporcional a la irradiancia, con lo que podemos decir que a mayor irradiancia, mayor será la temperatura ambiente y viceversa, también se observa que la irradiancia cambia bruscamente mientras que la temperatura lo hace moderadamente.

e) Grafica de la humedad relativa en función de la temperatura ambiente

Tabla 6.8 Datos de la humedad relativa tomado a diferente temperatura ambiente del mes de diciembre del día tipo 11.

Ord	HR (%)	Ta (°C)	Ord	HR (%)	Ta (°C)
1	48	23	34	32	27
2	48	23	35	31	27
3	48	23	36	31	26
4	49	24	37	31	26
5	50	22	38	30	27
6	51	22	39	30	27
7	51	22	40	31	27
8	51	22	41	31	28
9	53	22	42	30	28
10	53	22	43	28	29
11	53	22	44	29	29
12	54	23	45	27	30
13	51	23	46	28	25
14	51	22	47	27	29
15	51	22	48	30	30
16	49	22	49	26	30
17	47	22	50	25	30
18	48	22	51	27	30
19	50	23	52	26	30
20	47	23	53	26	30
21	47	23	54	23	30
22	44	23	55	23	30
23	45	23	56	23	30
24	42	23	57	25	31
25	42	23	58	23	31
26	39	24	59	23	31
27	40	24	60	23	31
28	42	25	61	23	31
29	36	25	62	22	31
30	38	26	63	24	30
31	34	26	64	24	30
32	32	27	65	24	30
33	32	27	66	24	29

Ord	HR (%)	Ta (°C)
67	26	29
68	28	28
69	31	27
70	32	27
71	33	27
72	33	27
73	32	27
74	36	26
75	38	25
76	41	25
77	41	25
78	43	25
79	44	25

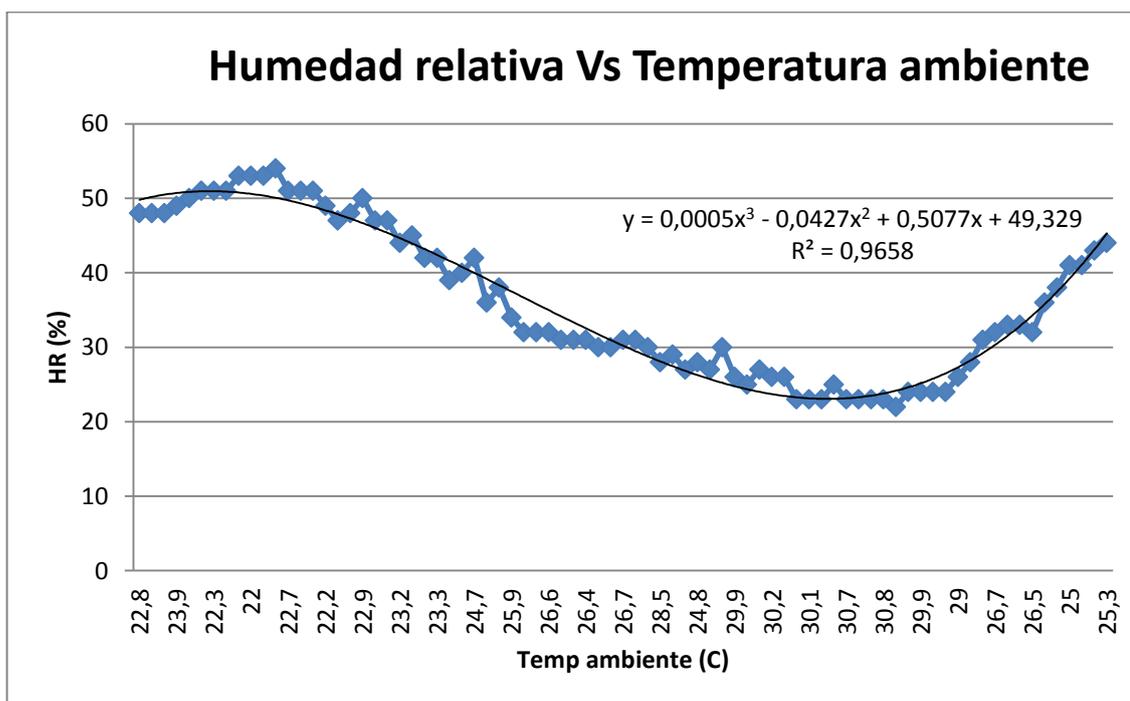


Figura 6.6 Grafico de la Humedad relativa en función de la Temperatura ambiente del mes de diciembre del día tipo 11

Como se puede observar en la figura 6.6, mientras aumenta la temperatura ambiente la humedad relativa disminuye y mientras la temperatura ambiente disminuye la humedad relativa aumenta.

6.7.2 Análisis de datos mes de enero 2012 día tipo 17

De acuerdo a lo establecido en el anexo F 11 día 17 se puede observar que la temperatura promedio del colector nacional es de 49 C y la del colector heliocol es 40 C, esto se debe a los altos vientos que se tiene, con un promedio de 1,4 m/s, además a la radiación inestable, ya que como se puede observar en el anexo F 11 día 17, pasada la 14 :05 pm esta comienza a descender de forma considerable debido a la alta presencia de nubosidad, lo cual no permite tener una radiación directa y el agua alcanza una temperatura de 51 C para el colector nacional y 55 C para el colector heliocol a los 305 min, de lo cual se puede deducir que un día donde exista radiación constante y directa en un lapso mayor de tiempo, los sistemas van a incrementar su temperatura.

Con el fin de que se pueda visualizar y entender de mejor manera el comportamiento de los diferentes parámetros de funcionamiento del sistema, se procede a realizar las gráficas del anexo F 11 día 17.

f) Grafica de la irradiancia en función de las horas

Tabla 6.9 Datos de Irradiancia tomados a diferentes horas del mes de enero día tipo 17

IRRADIANCIA (W/m ²)	HORA	IRRADIANCIA (W/m ²)	HORA
359	9:00	943	10:30
348	9:05	970	10:35
322	9:10	988	10:40
352	9:15	1015	10:45
311	9:20	1047	10:50
339	9:25	981	10:55
306	9:30	954	11:00
311	9:35	999	11:05
296	9:40	990	11:10
271	9:45	1002	11:15
317	9:50	986	11:20
364	9:55	986	11:25
387	10:00	233	11:30
439	10:05	1087	11:35
432	10:10	173	11:40
403	10:15	1015	11:45
481	10:20	1010	11:50
430	10:25	1033	11:55

IRRADIANCIA (W/m ²)	HORA	IRRADIANCIA (W/m ²)	HORA
1037	12:00	645	15:25
1045	12:05	638	15:30
1037	12:10		
1012	12:15		
1055	12:20		
1075	12:25		
363	12:30		
741	12:35		
981	12:40		
1145	12:45		
1074	12:50		
1142	12:55		
895	13:00		
334	13:05		
205	13:10		
206	13:15		
211	13:20		
1108	13:25		
1119	13:30		
1007	13:35		
1017	13:40		
259	13:45		
891	13:50		
872	13:55		
882	14:00		
899	14:05		
873	14:10		
822	14:15		
776	14:20		
780	14:25		
814	14:30		
787	14:35		
828	14:40		
731	14:45		
150	14:50		
171	14:55		
624	15:00		
598	15:05		
555	15:10		
659	15:15		
538	15:20		

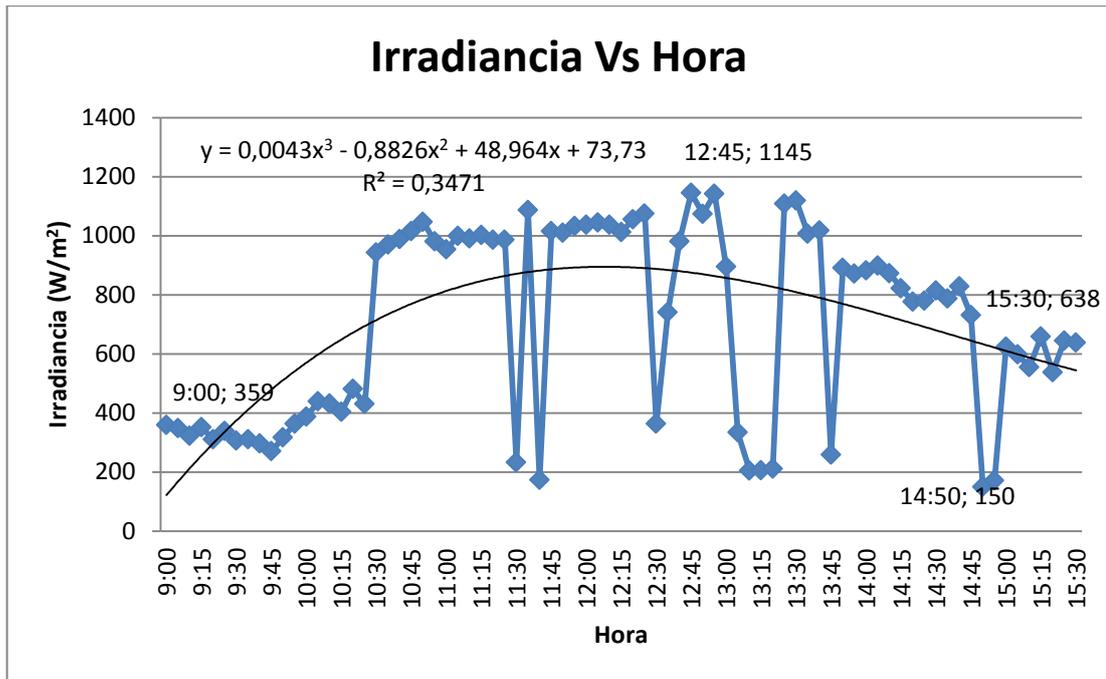


Figura 6.7 Grafico de la Irradiancia en función de las horas del mes de enero día tipo 17

De acuerdo a la figura 6.2 se observa que la irradiancia a las 9:00 am comienza en 359 W/m², luego de un tiempo observamos que la irradiancia más baja es a las 14:50 pm con un valor de 150 W/m², mientras que la irradiancia mas alta es a las 12:45 pm con un valor de 1145 W/m², al terminar el día con la toma de datos a las 15:30 pm terminamos con un valor de 638 W/m².

g) Grafica de la temperatura promedio del agua en función de la irradiancia

Tabla 6.10 Datos de la temperatura promedio del agua del colector nacional tomado a diferente irradiación del mes de enero del día tipo 17.

Ord	Tm (°C)	IRRADIANCIA (W/m ²)	Ord	Tm (°C)	IRRADIANCIA (W/m ²)
1	42,5	359	10	39	271
2	42,5	348	11	39	317
3	42,5	322	12	39	364
4	40	352	13	39	387
5	39,5	311	14	40	439
6	39,5	339	15	40	432
7	39,5	306	16	41	403
8	39,5	311	17	41	481
9	39	296	18	41	430

Ord	Tm (°C)	IRRADIANCIA (W/m ²)	Ord	Tm (°C)	IRRADIANCIA (W/m ²)
19	40,5	943	57	53	1017
20	40,5	970	58	52,5	259
21	40,5	988	59	53,5	891
22	45,5	1015	60	54	872
23	46,5	1047	61	55	882
24	46,5	981	62	56	899
25	46,5	954	63	56	873
26	46,5	999	64	57	822
27	47,5	990	65	56,5	776
28	47,5	1002	66	57	780
29	47,5	986	67	57	814
30	47,5	986	68	57,5	787
31	47,5	233	69	56,5	828
32	47,5	1087	70	57,5	731
33	45	173	71	57,5	150
34	44,5	1015	72	57,5	171
35	46,5	1010	73	55	624
36	49	1033	74	55	598
37	49	1037	75	57,5	555
38	49	1045	76	57,5	659
39	49	1037	77	57,5	538
40	50,5	1012	78	57,5	645
41	50,5	1055	79	57,5	638
42	51	1075			
43	49,5	363			
44	48,5	741			
45	49,5	981			
46	50,5	1145			
47	53	1074			
48	54	1142			
49	54,5	895			
50	54	334			
51	48	205			
52	48	206			
53	45,5	211			
54	45	1108			
55	44,5	1119			
56	56,5	1007			

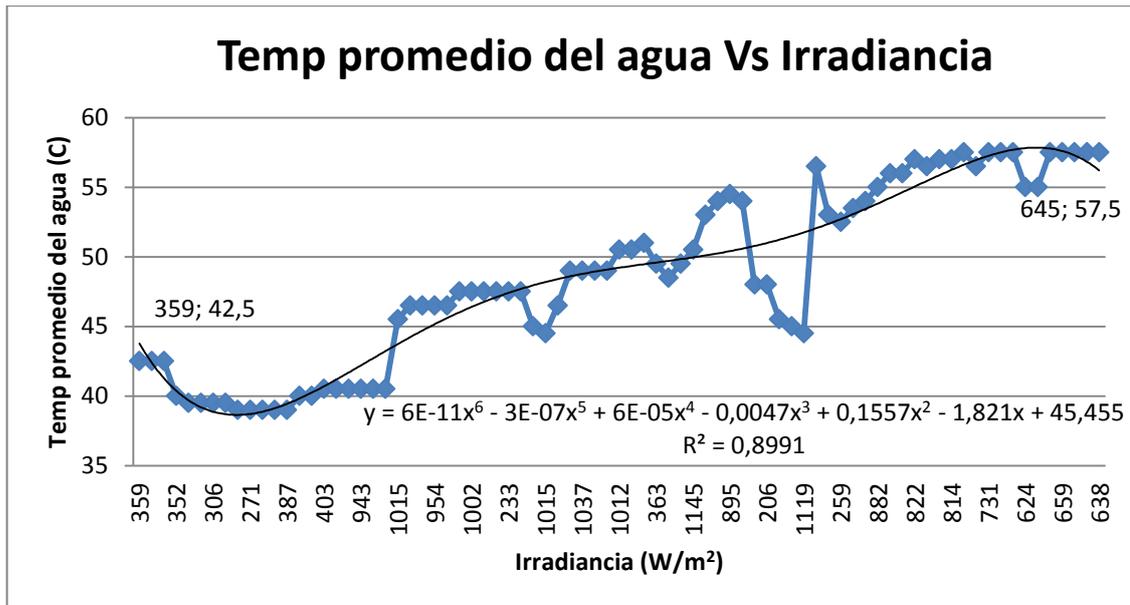


Figura 6.8 Grafico de la Temperatura promedio del agua del colector nacional en función de la irradiancia del mes de enero del día tipo 17

Como se observa en la figura 6.8, mientras la irradiancia es mayor la temperatura del agua también aumenta. También observamos que al iniciar la recolección de los datos en el colector nacional iniciamos con una temperatura de 42,5 C a una irradiancia de 359 W/m², una temperatura máxima de 57,5 C a una irradiancia de 645 W/m² y esta se mantiene hasta el final.

h) Grafica de la temperatura promedio del agua en función de la irradiancia

Tabla 6.11 Datos de la temperatura promedio de la agua del colector heliocol tomado a diferente irradiación del mes de enero del día tipo 17.

Ord	Tm	IRRADIANCIA	Ord	Tm	IRRADIANCIA
	(°C)	(W/m ²)		(°C)	(W/m ²)
1	33	359	11	33	317
2	33	348	12	33	364
3	33	322	13	33	387
4	33	352	14	34	439
5	33	311	15	34	432
6	33	339	16	34	403
7	33	306	17	34	481
8	33	311	18	34	430
9	33	296	19	34	943
10	33	271	20	34	970

Ord	Tm	IRRADIANCIA	Ord	Tm	IRRADIANCIA
	(°C)	(W/m ²)		(°C)	(W/m ²)
21	36	988	56	41	1007
22	38	1015	57	39	1017
23	42	1047	58	39	259
24	42	981	59	40	891
25	42	954	60	40	872
26	43	999	61	40	882
27	44	990	62	41	899
28	44	1002	63	41	873
29	44	986	64	42	822
30	44	986	65	41	776
31	44	233	66	42	780
32	44	1087	67	42	814
33	43	173	68	43	787
34	43	1015	69	43	828
35	44	1010	70	43	731
36	45	1033	71	44	150
37	45	1037	72	43	171
38	46	1045	73	43	624
39	46	1037	74	43	598
40	46	1012	75	42	555
41	46	1055	76	42	659
42	46	1075	77	42	538
43	44	363	78	42	645
44	43	741	79	42	638
45	43	981			
46	43	1145			
47	43	1074			
48	44	1142			
49	44	895			
50	43	334			
51	42	205			
52	41	206			
53	40	211			
54	40	1108			
55	40	1119			

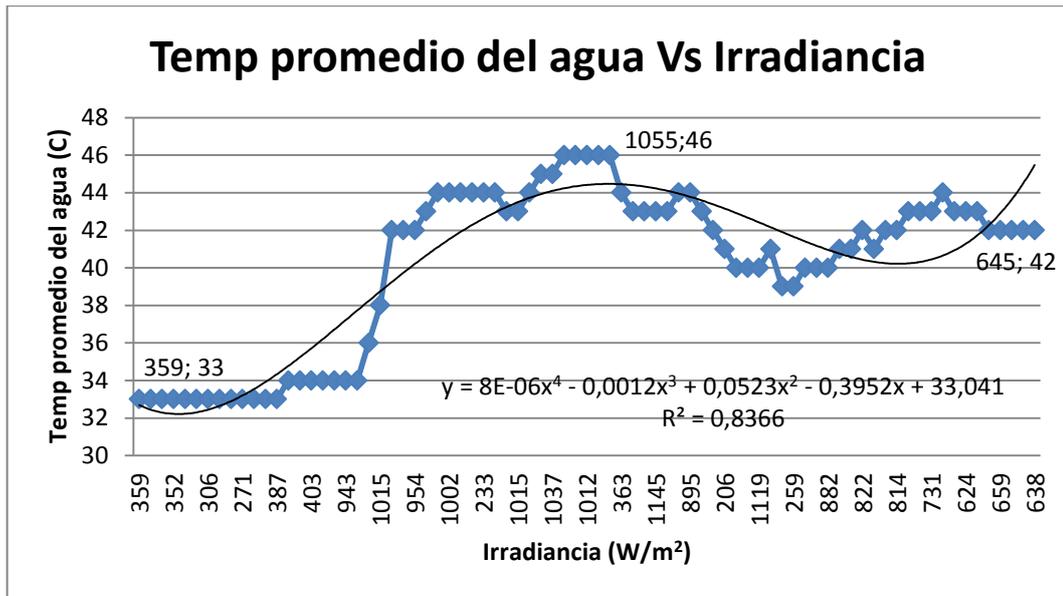


Figura 6.9 Grafico de la Temperatura promedio del agua del colector Heliocol en función de la irradiancia del mes de enero día tipo 17

Como se observa en la figura 6.9, mientras la irradiancia es mayor la temperatura del agua también aumenta. También observamos que al iniciar la recolección de los datos en el colector heliocol iniciamos con una temperatura de 33 C a una irradiancia de 359 W/m², una temperatura máxima de 46 C a una irradiancia de 1055 W/m² y finalizamos con una temperatura de 42 C a una irradiancia de 645 W/m².

i) Grafica de la temperatura ambiente en función de la irradiancia

Tabla 6.12 Datos de la temperatura ambiente tomado a diferente irradiancia del mes de enero día tipo 17.

Ord	Ta (°C)	IRRADIANCIA (W/m ²)	Ord	Ta (°C)	IRRADIANCIA (W/m ²)
1	23,1	359	11	22,1	317
2	22,8	348	12	21,8	364
3	22,6	322	13	22,9	387
4	22,6	352	14	23,5	439
5	22,5	311	15	23,3	432
6	22,5	339	16	23,4	403
7	22,4	306	17	23,5	481
8	22,4	311	18	23,3	430
9	22	296	19	22,9	943
10	21,5	271	20	22,9	970

Ord	Ta	IRRADIANCIA	Ord	Ta	IRRADIANCIA
	(°C)	(W/m ²)		(°C)	(W/m ²)
21	22,8	988	58	25,2	259
22	22,8	1015	59	24,6	891
23	22,8	1047	60	24,5	872
24	22,7	981	61	24,9	882
25	22,6	954	62	25,5	899
26	22,6	999	63	25,5	873
27	22,7	990	64	24,8	822
28	22,4	1002	65	24,8	776
29	21,6	986	66	25	780
30	21,6	986	67	25,1	814
31	21,6	233	68	26,2	787
32	21,7	1087	69	26,3	828
33	21,3	173	70	26	731
34	21,3	1015	71	25,7	150
35	21,8	1010	72	25,6	171
36	22,5	1033	73	24,9	624
37	22,1	1037	74	25	598
38	23,1	1045	75	24,5	555
39	23,3	1037	76	24,4	659
40	23,9	1012	77	24,2	538
41	24,1	1055	78	24,2	645
42	25,1	1075	79	24,1	638
43	25,1	363			
44	25,2	741			
45	25,5	981			
46	25,4	1145			
47	26,3	1074			
48	27	1142			
49	28,2	895			
50	27,6	334			
51	26,8	205			
52	26,3	206			
53	26,1	211			
54	25,9	1108			
55	25,8	1119			
56	25,6	1007			
57	25,6	1017			

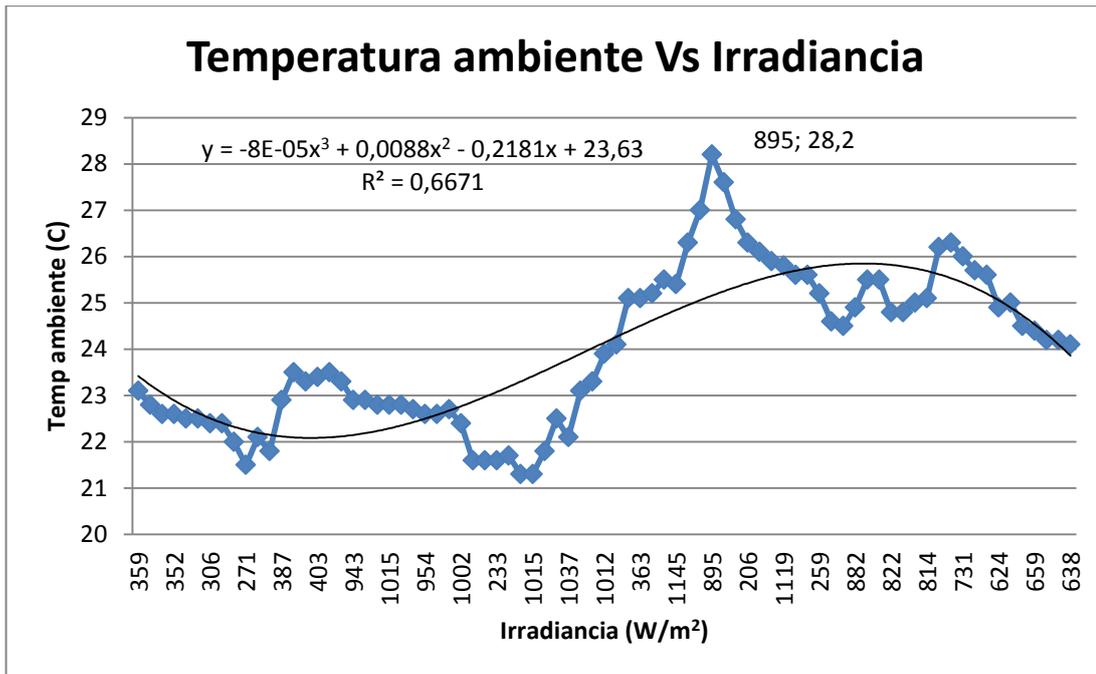


Figura 6.10 Grafico de la Temperatura ambiente en función de la irradiancia del mes de enero día tipo 17

Como podemos observar en la figura 6.10, se puede ver claramente como la temperatura ambiente es directamente proporcional a la irradiancia, con lo que podemos decir que a mayor irradiancia, mayor será la temperatura ambiente y viceversa, también se observa que la irradiancia cambia bruscamente mientras que la temperatura lo hace moderadamente.

j) Grafica de la humedad relativa en función de la temperatura ambiente

Tabla 6.13 Datos de la humedad relativa tomado a diferente temperatura ambiente del mes de enero día tipo 17.

Ord	Ta (°C)	HR (%)	Ord	Ta (°C)	HR (%)
1	23,1	50	10	21,5	55
2	22,8	51	11	22,1	56
3	22,6	53	12	21,8	55
4	22,6	54	13	22,9	62
5	22,5	55	14	23,5	54
6	22,5	53	15	23,3	53
7	22,4	54	16	23,4	55
8	22,4	55	17	23,5	55
9	22	53	18	23,3	53

Ord	Ta	HR	Ord	Ta	HR
	(°C)	(%)		(°C)	(%)
19	22,9	56	56	25,6	49
20	22,9	56	57	25,6	45
21	22,8	55	58	25,2	44
22	22,8	55	59	24,6	46
23	22,8	57	60	24,5	46
24	22,7	57	61	24,9	46
25	22,6	57	62	25,5	44
26	22,6	57	63	25,5	43
27	22,7	58	64	24,8	46
28	22,4	54	65	24,8	43
29	21,6	55	66	25	43
30	21,6	53	67	25,1	42
31	21,6	55	68	26,2	44
32	21,7	56	69	26,3	44
33	21,3	56	70	26	44
34	21,3	55	71	25,7	46
35	21,8	58	72	25,6	46
36	22,5	54	73	24,9	47
37	22,1	54	74	25	47
38	23,1	51	75	24,5	47
39	23,3	50	76	24,4	47
40	23,9	55	77	24,2	46
41	24,1	51	78	24,2	46
42	25,1	47	79	24,1	47
43	25,1	47			
44	25,2	49			
45	25,5	48			
46	25,4	48			
47	26,3	46			
48	27	40			
49	28,2	40			
50	27,6	39			
51	26,8	41			
52	26,3	42			
53	26,1	40			
54	25,9	43			
55	25,8	44			

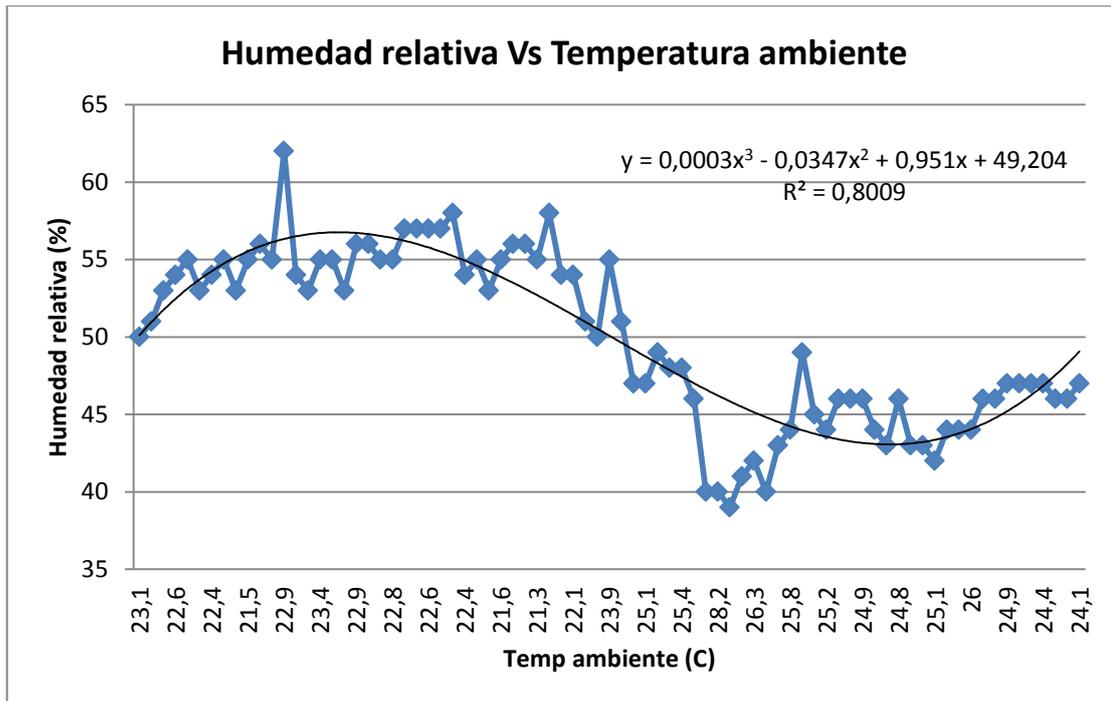


Figura 6.11 Grafico de la Humedad relativa en función de la Temperatura ambiente del mes de enero día tipo 17

Como se puede observar en la figura 6.11, mientras aumenta la temperatura ambiente la humedad relativa disminuye y mientras la temperatura ambiente disminuye la humedad relativa aumenta.

Para entender porque los valores del mes de enero son mejores que los del mes de diciembre procedemos a realizar el cálculo del mes peor.

Calculo del mes peor

LUGAR SANGOLQUI

LATITUD S 0° 18' 37"

COEFICIENTE DE REFLEXION DEL SUELO $\rho := 0,2$

DATOS

COLECTOR NACIONAL

DICIEMBRE

$\beta := 15$

FA := 0.986

Gdm0 := 3.675 $\frac{\text{kwh}}{\text{m}^2 \text{ dia}}$

FB := 0.0178

Inclinación colector

Coefficiente A

Irradiación

Coefficiente B

ENERO

$$\beta := 15$$

$$FA := 0.986$$

$$Gdm1 := 4.7 \frac{\text{kwh}}{\text{m}^2 \text{dia}}$$

$$FB1 := 0.0155$$

Inclinación colector

Coeficiente A

Irradiación

Coeficiente B

COLECTOR HELIOCOL

DICIEMBRE

$$\beta_h := -15$$

$$FA := 0.986$$

$$Gdm0h := 3.675 \frac{\text{kwh}}{\text{m}^2 \text{dia}}$$

$$FBh := -0.021$$

Inclinación colector

Coeficiente A

Irradiación

Coeficiente B

ENERO

$$\beta_h := -15$$

$$FA := 0.986$$

$$Gdm1h := 4.7 \frac{\text{kwh}}{\text{m}^2 \text{dia}}$$

$$FB1h := -0.0187$$

Inclinación colector

Coeficiente A

Irradiación

Coeficiente B

DESARROLLO

Calculo mes diciembre colector nacional

$$X := Gdm0 - Gdm0$$

$$X = 13.506$$

$$Gdm\beta := FA \cdot Gdm0 + FB \cdot X$$

$$Gdm\beta = 3.864 \frac{\text{kwh}}{\text{m}^2 \text{dia}}$$

Calculo mes enero colector nacional

$$X1 := Gdm1 - Gdm1$$

$$X1 = 22.09$$

$$Gdm\beta := FA \cdot Gdm1 + FB1 \cdot X1$$

$$Gdm\beta = 4.977 \frac{\text{kwh}}{\text{m}^2 \text{dia}}$$

Calculo mes diciembre colector heliocol

$$X_h := G_{dm0h} \cdot G_{dm0h}$$

$$X_h = 13.506$$

$$G_{dm\beta} := FA \cdot G_{dm0h} + FB_h \cdot X_h$$

$$G_{dm\beta} = 3.34 \frac{\text{kwh}}{\text{m}^2 \text{ dia}}$$

Calculo mes enero colector heliocol

$$X_{1h} := G_{dm1h} \cdot G_{dm1h}$$

$$X_{1h} = 22.09$$

$$G_{dm\beta} := FA \cdot G_{dm1h} + FB_{1h} \cdot X_{1h}$$

$$G_{dm\beta} = 4.221 \frac{\text{kwh}}{\text{m}^2 \text{ dia}}$$

En este caso el mes peor para los dos colectores es el mes de diciembre, con 3,864 kwh/m²dia en el colector nacional y 3,34 kwh/m²dia en el colector heliocol.

6.8 Comparación de características generales y específicas de los captadores.

Para la comparación de los captadores, a continuación se muestra una tabla con sus características.

Tabla 6.14 Características generales y específicas de los captadores

Ord	CARACTERISTICAS	COLECTOR	
		NACIONAL	HELIOCOL
1	Área de captación óptica	2 m ²	2 m ²
2	Volumen del acumulador	120 lt	120 lt
3	Temp promedio del agua en el acumulador	43	20
4	Material de la cubierta	Vidrio	Plástico reforzado (policarbonato)
5	Material del absorbedor	Cobre	Polipropileno

Ord	CARACTERISTICAS	COLECTOR	
		NACIONAL	HELIOCOL
6	Soporte	Acero estructural	Acero estructural
7	Inclinación del captador	15	15
8	Marco	Hierro	Plástico reforzado y aluminio
9	Tuberías de conexión	Tubos de cobre de 1/2	117 tubos de 6.5 mm de polipropileno
10	Aislamientos	Lana de vidrio	Espuma de poliuretano y polyester cubierto por aluminio
11	Placa trasera	Hierro	Polipropileno
12	Fluido a calentar	Agua	Agua

Como podemos observar en la tabla 6.14, los materiales de construcción del colector nacional son fáciles de encontrar y gracias a esto es un colector de fácil construcción y sus costos son bajos, mientras que para el colector heliocol sus materiales de construcción son difíciles de encontrar, por lo cual su construcción se complicaría y sus costos son altos.

6.9 Presentación de matriz de resultados.

En la siguiente tabla se muestra los datos más representativos de los colectores con lo cual nos damos cuenta de las diferentes variaciones existentes en algunos datos, estos datos mostrados son los datos finales calculados después de un largo proceso de toma de datos.

Tabla 6.15 Matriz de resultados

			COLECTOR NACIONAL		COLECTOR HELIOLCOL	
			DICIEMBRE	ENERO	DICIEMBRE	ENERO
Irradiación	E	(Wh/m ² dia)	3675	4690,5	3675	4690,5
Irradiancia	I	(W/m ²)	581,3	653,3	581,3	653,3
Albedo	A	(W/m ²)	93,3	75,3	93,3	75,3
Temp ambiente	Ta	(°C)	23,9	63,2	23,9	63,2
Humedad relativa	HR	(%)	42	41	42	41
Temp media	Tm	(°C)	46	48	36	41
Temp de uso	Tuso	(°C)	46	48	35	42
Presión de operación	Po	(Psi)	74	86	52	53
Rendimiento del captador	η		0,68	0,84	0,73	0,87
Rendimiento óptico del captador	ηo		0,786	0,786	0,786	0,786
Coefficiente lineal de pérdidas térmicas	a1	(W/m ² K)	2,6	2,6	2,6	2,6
Coefficiente cuadrático de pérdidas térmicas	a2	(W/m ² K ²)	0,01	0,01	0,01	0,01
Factor de eficiencia del captador	F´		0,945	0,945	0,945	0,945
Factor de eficiencia del captador calculado	F´		0,918	0,919	0,983	0,983
Factor de remoción calculado	FR		0,885	0,887	0,951	0,951
Factor de remoción bajo norma EN 12975	FR		0,91	0,911	0,915	0,915
Transmitancia cubierta	τ		0,895	0,895	0,895	0,895
Absortancia absorbedor	α		0,93	0,93	0,93	0,93
Ganancia de energía	Q	W	354,875	360,639	581,991	567,373

CAPITULO 7

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

7.1 Análisis económico.

El análisis económico determina los costos totales en que incidirá en el presente proyecto categorizando los costos directos e indirectos, y por lo tanto este análisis nos da una guía de los ingresos y egresos que tiene el proyecto.

7.1.1 Costos directos

Son los cargos por concepto de material, de mano de obra y de gastos, correspondientes directamente a la fabricación o producción de un artículo determinado o de una serie de artículos o de un proceso de manufactura.

a) MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN

Tabla 7.1 Mantenimiento y reparación

CANT	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
	REPARACIÓN DEL COLECTOR		
2	MTS AISLAMIENTO LANA DE VIDRIO	30	60
1	VIDRIO TEMPLADO DE 4mm	74,42	74,42
1	PINTURA	20	20
	REPARACIÓN TANQUE		
1	SUELDA	25	25
2	MTS AISLAMIENTO LANA DE VIDRIO	30	60
1	PINTURA	20	20
	INSTALACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN		
4	MEDIDORES DE TEMPERATURA 0-100 C. WIKA 2 1/2''	74,94	299,76
1	MEDIDOR DE PRESIÓN 0-200 PSI	33,8	33,8
1	JUEGO DE ACCESORIOS PARA MONTAJE 1/2''	75	75
1	INSTALACIÓN DE 4 MEDIDORES DE TEMPERATURA	523,56	523,56
1	MANO DE OBRA DE INSTALACIÓN/REPARACIÓN	950	950
	PINTURA DE SOPORTES		
	MONTAJE Y DESMONTAJE		
	TRANSPORTE		
		SUBTOTAL	2141,5
		IVA	256,98
		TOTAL	2398,5

7.1.2 Costos indirectos

Es aquel coste que afecta al proceso productivo en general de uno o más productos, por lo que no se puede asignar directamente a un solo producto sin usar algún criterio de asignación.

a) MISCELANEOS

Tabla 7.2 Costos indirectos

MISCELÁNEOS	
Descripción	Costo Total
Materiales de Oficina	50
Internet	50
Transporte	100
Impresiones	50
Copias	30
Suministros varios	50
TOTAL	330

b) Suministros y servicios

Tabla 7.3 servicios y suministros

NOMBRE	VALOR
AGUA	40
LUZ	40
TOTAL SERVICIOS Y SUMINISTRO	80

7.1.3 Costos totales

Tabla 7.4 Costos totales

	TOTAL
1.COSTOS DIRECTOS	
MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN	2398,5
TOTAL COSTOS DIRECTOS	2398,5
2. COSTOS INDIRECTOS	
MISCELANEOS	330
SUMINISTROS Y SERVICIOS	80
TOTAL COSTOS INDIRECTOS	410
COSTOS D+I	2808,5
IMPREVISTOS 5%	140,43
COSTO TOTAL	2948,93

Por definición, los costos totales son aquellos costos incurridos en la operación de un proyecto durante un periodo dado, se cuantifican sumando los costos directos (variables) y los costos indirectos (fijos).

$$\text{Costos totales} = \text{costos directos} + \text{costos indirectos}$$

7.2 Financiamiento²¹.

Es el conjunto de recursos monetarios financieros para llevar a cabo una actividad económica, con la característica de que generalmente se trata de sumas tomadas a préstamo que complementan los recursos propios. Recursos financieros que el gobierno obtiene para cubrir un déficit presupuestario. El financiamiento se contrata dentro o fuera del país a través de créditos, empréstitos y otras obligaciones derivadas de la suscripción o emisión de títulos de crédito o cualquier otro documento pagadero a plazo.

Tabla 7.5 Financiamiento

RUBROS	PRESUPUESTOS	RECURSOS	
		OTROS	PROPIOS
Misceláneos	330	0	330
Suministros y servicios	80	0	80
Mantenimiento y reparación	2398,50	0	2398,50
Imprevistos	140,43	0	140,43
TOTAL		2948,93	

²¹ <http://www.definicion.org/financiamiento>

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones.

- El análisis del recurso solar en la zona de investigación se cumplió debido a que se obtienen los siguientes datos promedios para cada mes, para el mes promedio de diciembre del 2012, se obtienen datos de velocidad del viento de 1,2 m/s, Irradiación de 3675 Wh/m²dia, irradiancia de 581,3 W/m², albedo de 93,3 W/m², temperatura ambiente de 23,9 °C, humedad relativa de 42 %. Mientras que para el mes de enero del 2013 se obtienen datos de velocidad del viento de 1,5 m/s, irradiación de 4690,5 Wh/m²dia, irradiancia de 653,3 W/m², albedo de 75,3 W/m², temperatura ambiente de 63,2 °C, humedad relativa de 41 %.
- Se obtuvo las curvas de rendimiento de los colectores solares en su respectivo mes, con lo cual se puede concluir que el colector con mejor

rendimiento es el colector heliocol el cual nos da un valor para el mes de diciembre de 73 % y para el mes de enero el valor es de 86,7 %, mientras que para el colector nacional para el mes de diciembre es de 67,9 % y para el mes de enero es de 84,3 %.

- La caracterización energética entre el colector nacional y el heliocol, se cumplió con eficiencia debido a que se obtienen datos de temperatura en el uso del agua, con valores para el colector nacional y el heliocol en el mes de diciembre del 2012 de 46 °C y 35 °C respectivamente, mientras que para el mes de enero del 2013 se obtuvo valores de 48 °C y 42 °C respectivamente.
- El análisis de la comparación tecnológica entre el colector nacional y el colector heliocol, se llegó a la conclusión que la tecnología del colector heliocol es mucho más actual que la del colector nacional, pero para la construcción artesanal de colectores solares los materiales del colector nacional son mucho más fáciles de encontrar y su fabricación es más fácil y con estos materiales tenemos valores energía semejantes o mejores que el colector heliocol.
- Se determinó que el mes peor para nuestro análisis del recurso solar en la ESPE es el mes de diciembre.
- La elaboración de la matriz de resultados se encuentra en la tabla 6.15 en la cual se muestran todos los parámetros calculados y dados por la norma EN 12975, y es aquí donde nos damos cuenta que los valores más altos son obtenidos en el mes de enero del 2013 debido a que el mes peor es diciembre.

8.2 Recomendaciones.

- Estos sistemas se encuentran a la intemperie por ello es necesario tener un control de limpieza adecuado, debido a que si la cubierta de los colectores se encuentra sucia no va a funcionar en su total capacidad.
- Para que no existan pérdidas de energía por transferencia de calor entre el colector y los flujos de vientos existentes en la zona, es recomendable buscar un método de recubrimiento o aislante térmico en el colector para evitar estas pérdidas de energía, como puede ser el uso de hierba seca para cubrir el contorno de los colectores.
- Para tener datos con mayor precisión sobre el recurso solar en la zona de investigación se recomienda hacer un análisis con más tiempo de recolección de datos, en nuestro caso se analizó durante 2 meses los valores de radiación y otros que para nuestro propósito de estudio fueron adecuados pero para profundizar se recomienda mayor tiempo.
- Se recomienda que el mes que se debe usar para nuestra investigación es el mes de diciembre, debido a que este es el mes peor es decir que no existe muy buena irradiación debido a que puede existir mayor nubosidad, y debido a esto obtendremos valores críticos que nos servirán para el mejoramiento de las construcciones de los colectores.

BIBLIOGRAFIA

- Beckman, J. A. (1991). Solar Energy Thermal Processes. New York.
- Incropera, F. P. (1999). Fundamentos de transferencia de calor 4a. ed. Mexico:Prentice Hall.
- Jutglar, L. (2004). Energia solar. Barcelona.
- Lopez, J. M. (2003). Modelado termico del captador solar plano. Andalucia.
- Mcbain, A. C. (s.f.). Propiedades termicas y mecanicas de los materiales.
- R. Corvalan, M. H. (1992). Ingenieria del Secado Solar. Quinto centenario.
- Rodriguez, M. O. (2000). Energias Renovables. Madrid: Paraninfo.
- Wilson, J. I. (1982). La Energia Solar. Madrid: Alhambra.

DIRECCIONES DE INTERNET

- <http://www.definicion.org/financiamiento>.
- http://es.wikipedia.org/wiki/Coste_indirecto.
- <http://www.definicion.org/costos-directos>.
- <http://www.gruposolar.com.ar/es/productos-y-servicios/ecoflare/>.
- <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/PC/Propiedades.htm>.
- <http://sol-arq.com/index.php/acristalamiento/vidrios>.
- <http://editorial.cda.ulpgc.es/>
- <http://www.jq.com.ar/>
- <http://es.scribd.com/doc/29628827/Manual-Tecnico-Cobre>.

- <http://www.goodfellow.com/S/Polipropileno.html>.
- http://www.unsa.edu.ar/passamai/k_cub.pdf.