



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO
MEDIANTE PANELES SOLARES TÉRMICOS PLANOS.**

AUTOR: EDISON PATRICIO JUMA PINANGO

DIRECTOR: DIEGO ORTIZ, MSc

IBARRA – ECUADOR

2018



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional determina la necesidad de disponer los textos completos de forma digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100315342-4		
APELLIDOS Y NOMBRES:	JUMA PINANGO EDISON PATRICIO.		
DIRECCIÓN:	YAHUARCOCHA- TRAS LA ALDEA S.O.S		
EMAIL:	epjuma@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062 577017	TELÉFONO MÓVIL:	0980015534

DATOS DE LA OBRA				
TÍTULO:	SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO MEDIANTE PANELES SOLARES TÉRMICOS PLANOS.			
AUTOR:	JUMA PINANGO EDISON PATRICIO.			
FECHA:	2018-Marzo-03			
AAMMDD				
PROGRAMA:	PREGRADO	X	POSTGRADO	
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA			
DIRECTOR:	MSc. DIEGO ORTÍZ.			

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Edison Patricio Juma Pinango, con cédula de identidad Nro. 100315342-4, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.



.....

FIRMA

Edison Patricio Juma Pinango.

Cédula: 100315342-4

IV



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que se asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, Marzo del 2018

EL AUTOR:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Edison Patricio Juma Pinango", is enclosed in a light blue rectangular box.

FIRMA

Edison Patricio Juma Pinango.

Cédula: 100315342-4



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS.**

DECLARACIÓN

Yo, Edison Patricio Juma Pinango. Declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mí autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte - Ibarra, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional vigente.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Edison Juma Pinango', is enclosed in a circular stamp.

Edison Patricio Juma Pinango.

Cédula: 100315342-4



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS

CERTIFICACIÓN

En calidad de Director del Trabajo de Grado “SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO MEDIANTE PANELES SOLARES TÉRMICOS PLANOS”, fue desarrollado por el señor Edison Patricio Juma Pinango, con cedula de identidad 100315342-4, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi supervisión.

Atentamente:

MSc. Diego Ortiz.

Director



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**

DEDICATORIA

El presente proyecto es dedicado principalmente a Dios, a mis padres el Sr. Miguel Juma y la Sra. Mariana Pinango, a mi esposa Mariela Juma por siempre brindarme apoyo incondicional, consejos, motivación, ejemplos y lecciones de vida, además de siempre guiarme por un camino de perseverancia con la práctica de valores en todo momento de mi vida.

Edison.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS.**

AGRADECIMIENTO.

Brindo mis más sinceros agradecimientos a todos quienes conforman la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, personal administrativo y docente por siempre ser ejemplo de personas y profesionales en todo momento.

A la Universidad Técnica del Norte que ha marcado noblemente el desarrollo profesional en diferentes ámbitos.

Un agradecimiento especial para el MSc. Diego Ortiz, gran profesional encargado de la dirección de la carrera de Mecatrónica, por siempre brindar ayuda incondicional en el desarrollo del proyecto.

Edison.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS.**

RESUMEN

En el presente trabajo se analizan los diferentes tipos de colectores solares que se utilizan para el calentamiento de agua de uso sanitario. Luego de un análisis de la normativa de diferentes países, se genera un procedimiento que permite obtener la curva de eficiencia de un colector solar plano.

Luego de analizar los diferentes modelos constructivos se procede a la construcción de dos tipos de colectores solares diferentes. A lo que se aplicó el procedimiento generado previamente, donde finalmente se obtuvo la curva de eficiencia de cada colector. Curvas de eficiencia que permiten evaluar el comportamiento del equipo en diferentes condiciones de utilización o frente a otros colectores.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS.

ABSTRACT

In the present work the different types of solar collectors are analyzed planes used for the water warming of sanitary use. After an analysis of the normative of different countries, is generated a procedure which allows to obtain the curve of efficiency of a solar collector flat.

Later analyzing the different constructive models one proceeds to the construction of two types of different collectors solar. To what the procedure was applied generated previously, where finally there was obtained the curve of efficiency of every collector. Curves of efficiency that allow to evaluate the behavior of the team in different use conditions or opposite to other collectors.

CONTENIDO

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	I
IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	I
CONSTANCIAS	IV
Declaración	V
Certificación.....	VI
Dedicatoria	VII
Agradecimiento.	VIII
Resumen.....	IX
Abstract.....	X
Contenido.....	XI
Índice de figuras.....	XVI
Índice de tablas	XIX
Simbología.	XXI
1 CAPÍTULO I.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Objetivos.	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.	2
1.3 Justificación.....	2

1.4	Alcance.	4
2	CAPÍTULO II.....	5
2.1	Introducción.....	5
2.2	Antecedentes.	5
2.3	El sol	7
2.3.1	Radiación solar.....	7
2.3.2	Tipos de radiación solar.....	8
2.3.3	El movimiento del sol.....	9
2.3.4	Constante solar.....	10
2.4	Ubicación geográfica del Ecuador.....	10
2.4.1	Ubicación geográfica del lugar de estudio.	11
2.4.2	El clima en la ciudad de Ibarra.....	11
2.5	Colector térmico plano de baja temperatura.	12
2.5.1	Descripción del funcionamiento de un captador.	12
2.5.2	Clasificación de los colectores solares.	13
2.5.3	Análisis de los colectores de baja temperatura.....	14
2.5.4	Subsistemas que componen un panel solar térmico plano.....	15
2.5.5	Componentes del sistema de captación.	15
2.5.6	Tanque Acumulador.	20
2.5.7	Circulación del fluido.....	20
2.5.8	Tipos de conexionado entre planos.	21

2.5.9	Orientación e inclinación de los colectores.....	21
2.5.10	Sombras.....	22
2.6	Transferencia de calor.....	23
2.6.1	Análisis energético de un captador solar plano.	23
2.6.2	Cuerpo negro.....	24
2.6.3	Balance energético en un colector.....	25
2.6.4	Coeficiente Global de pérdida de calor <i>UL</i>	26
2.6.5	Factor de remoción de calor. <i>Fr</i>	29
2.6.6	Eficiencia de un colector.....	32
2.7	Instrumentos de medición.	35
2.7.1	Medidor de radiación.	35
2.7.2	Medidor de la velocidad del viento.....	35
2.7.3	Sensor de temperatura.	36
2.7.4	Glosario de términos.....	37
3	CAPÍTULO III.....	38
3.1	Marco metodológico.....	38
3.1.1	Investigación y recolección de información.	38
3.2	Análisis de normativa para el cálculo de la eficiencia.....	38
3.2.1	Normativa Colombiana.	39
3.2.2	Normativa Peruana.....	41
3.2.3	Normativa Internacional.....	43

3.2.4	Normativa Ecuatoriana.	47
3.3	Cuadro resumen de las diferente normativas acerca del cálculo de la eficiencia.	51
3.3.1	Construcción y montaje del colector solar térmico.....	55
3.3.2	Propuesta de normativa para el cálculo de la eficiencia.	55
3.3.3	Resultados finales de la propuesta de normativa.	55
3.4	Métodos de investigación.....	56
4	CAPÍTULO IV	57
4.1	Propuesta de normativa para determinar la eficiencia en un colector solar plano.	57
4.2	Procedimiento para el cálculo de la eficiencia.....	57
4.2.1	Cálculo de la energía captada por fluido.	57
4.2.2	Volumen del agua de consumo.	58
4.2.3	Irradiación Solar sobre la superficie de captación.	58
4.2.4	Área de captación.....	62
4.3	Curva de la eficiencia de un colector solar plano.	63
4.3.1	Eficiencia instantánea.....	63
4.3.2	Gráfica de curva de la eficiencia.....	64
4.4	Resumen del procedimiento para el cálculo de la eficiencia de un colector solar plano.....	68
4.5	Selección de materiales y construcción de los colectores.....	69

4.5.1	Características técnicas para la selección de materiales.	69
4.5.2	Modelo CAD del colector solar.	70
4.5.3	Aislamiento:	71
4.5.4	Carcasa:	72
4.5.5	Absorbedor:	73
4.5.6	Cubierta transparente:	75
4.5.7	Fluido de trabajo.	76
4.6	Especificaciones técnicas de los colectores.....	76
4.6.1	Colector solar.....	76
4.6.2	Tanque acumulador.....	77
4.7	Construcción y montaje de los paneles.....	77
5	CAPÍTULO V	84
5.1	Cálculo de la eficiencia aplicando la propuesta de normativa.	84
5.1.1	Colector con parrilla de cobre	84
5.2	Colector con parrilla de tubos de PVC.	88
5.3	Aplicación de la ecuación obtenida en el colector con parrilla de cobre. 91	
5.3.1	Cálculo de la temperatura de salida.	91
5.3.2	Análisis del colector con irradiación de un año.	94
5.3.3	Cálculo del área de captación.....	96
5.4	Análisis de resultados.	97

5.4.1	Análisis de costos	101
5.5	Resultados	103
5.5.1	Relación entre factores.....	103
6	CAPÍTULO VI	105
6.1	Conclusiones y recomendaciones.....	105
6.2	Conclusiones.....	105
6.3	Recomendaciones.....	107
	Bibliografía.....	108
	ANEXOS	111
	Planos	129

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 2.1:	Distribución de la radiación solar.....	7
Figura 2.2:	Tipos de radiación.....	8
Figura 2.3:	Variación del ángulo de declinación a lo largo del año.....	9
Figura 2.4:	Ángulos para calcular la posición del sol.....	9
Figura 2.5:	Constante Solar.....	10
Figura 2.6:	Ubicación geográfica de la ciudad de Ibarra.	11
Figura 2.7:	Esquema de funcionamiento de un sistema de ACS.	13
Figura 2.8:	Componentes de un colector Solar Placa Plana.	16

Figura 2.9: Configuración de absorbedor.	18
Figura 2.10: Tipos de recubrimientos.	19
Figura 2.11: Partes tanque acumulador.	20
Figura 2.12: Conexión en serie.	21
Figura 2.13: Conexión en paralelo.	21
Figura 2.14: Orientación de los captadores respecto a la latitud.	22
Figura 2.15: Sombra proyectada sobre el panel.	23
Figura 2.16: Comportamiento energético de un captador solar.	24
Figura 2.17: Red térmica de una placa solar.	26
Figura 2.18: Contacto entre el absorbedor y los tubos.	29
Figura 2.19: Curvas de eficiencia de diferentes captadores solares.	33
Figura 2.20: Curvas de eficiencia del colector solar SOL 25 S.	33
Figura 2.21: Valores típicos de eficiencia de colectores solares.	35
Figura 2.22: Medidor de radiación.	35
Figura 2.23: Medidor de la velocidad del viento.	36
Figura 2.24: Ángulo de incidencia.	37
Figura 3.1: Ejemplos de curvas de eficiencia térmica.	43
Figura 3.2: Curvas de eficiencia instantánea.	44
Figura 3.3: Curva de eficiencia de un colector solar plano.	49
Figura 4.1: Curva de la irradiancia.	61
Figura 4.2: Irradiancia promedio mensual a lo largo del año.	62

Figura 4.3: Curva de eficiencia.....	66
FIGURA 4.4: Curvas de eficiencia de diferentes captadores solares.....	68
Figura 4.5: Panel solar térmico plano.....	70
Figura 4.6: Parrilla del colector.....	73
Figura 4.7: Absorbedor en forma de aletas.....	75
Figura 5.1 : Curva de eficiencia instantánea del colector A.....	85
Figura 5.2: Curva de eficiencia teórica.....	88
Figura 5.3 : Curva de eficiencia instantánea del colector.....	90
Figura 5.4: Curva característica de la eficiencia del colector.....	91
Figura 5.5: Comportamiento del colector a lo largo del año.....	96
Figura 5.6: Espesor del aislante vs espesor del absorbedor.....	98
Figura 5.7: Absorbencia de la placa vs transmitancia de la cubierta.....	99
Figura 5.8: Variación del material del absorbedor en diferentes grosores.....	99
Figura 5.9: Análisis del diámetro de la tubería vs distanciad de separación. .	100
Figura 5.10: Resultado de costo vs eficiencia de los colectores.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Tipos de radiación solar.-----	8
Tabla 2.2: Cuadro comparativo de dos tipos de paneles solares. -----	14
Tabla 2.3: Características principales de las parrillas. -----	17
Tabla 2.4 : Características de los aislamientos. -----	19
Tabla 2.5: ángulo de inclinación de un captador solar. -----	22
Tabla 2.6: Tipo de sensores de temperatura. -----	36
Tabla 3.1: Normativa colombiana.-----	39
Tabla 3.2: Normativa peruana. -----	41
Tabla 3.3: Normativa internacionales.-----	43
Tabla 3.4: Normativa ecuatoriana. -----	47
Tabla 3.5: Valores típicos de parámetros de un colector.-----	50
Tabla 3.6: Cuadro comparativo de las diferentes normas.-----	54
Tabla 4.1: Cálculo de la irradiación solar diaria. -----	60
Tabla 4.2: Valores de Irradiancia mensual para la ciudad de Ibarra. -----	62
Tabla 4.3: Información técnica inicial. -----	65
Tabla 4.4: Valores experimentales medidos. -----	66
Tabla 4.5 Componentes de un panel solar plano.-----	71
Tabla 4.6: Comparación de aislamientos. -----	71
Tabla 4.7: Ventajas del acero galvanizado y perfiles de aluminio. -----	72

Tabla 4.8: Cuadro comparativo de vidrios.-----	75
Tabla 4.9. Comparación de materiales de los modelos.-----	76
Tabla 4.10: Especificaciones técnicas del acumulador. -----	77
Tabla 4.11: Montaje de los colectores. -----	83
Tabla 5.1: Datos característicos del colector. -----	84
Tabla 5.2: Valores experimentales tomados del colector. -----	85
Tabla 5.3: Valores característicos del colector. -----	87
Tabla 5.4: Valor teórico de la eficiencia del colector solar. -----	87
Tabla 5.5: Curvas de eficiencia.-----	88
Tabla 5.6: Datos característicos del colector. -----	89
Tabla 5.7: Valores experimentales del colector. -----	89
Tabla 5.8: Parámetros característicos del colector.-----	90
Tabla 5.9: Datos iniciales colector. -----	92
Tabla 5.10: Parámetros a lo largo del día. -----	92
Tabla 5.11: Eficiencia para diferentes condiciones. -----	93
Tabla 5.12: Temperaturas medidas a lo largo del día.-----	94
Tabla 5.13: Temperatura de salida con valores promedios.-----	95
Tabla 5.14: Condiciones fijas de análisis. -----	97
Tabla 5.15: Costo de los materiales.-----	101
Tabla 5.16: Materiales del colector A. -----	101
Tabla 5.17: Materiales del colector B. -----	102

Tabla 5.18: Materiales del colector construido. ----- 102

SIMBOLOGÍA.

Símbolo.	Descripción.	Unidades.
t_1 y t_2	Tiempo de inicio y final de un periodo de ensayo.	Segundos.
A_c	Área de captación.	m^2 .
A_a	Área frontal transparente del colector.	m^2
C_p	Calor específico del agua.	$\frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C}$
C_p	Calor específico del agua ($1.16 \cdot 10^{-3}$)	$\frac{KWh}{Kg}$
F_r	Factor de remoción de calor.	-
G_t	Radiación global incidente.	W/m^2 .
\bar{H}	Valor de radiación solar diaria.	$KWh/m^2 / dia$
H_T	Radiación global promedio captada.	$\frac{KWh}{m^2 día}$
Q_c	Calor captado por el colector.	KWh.
Q_T	Pérdida en el tanque.	KWh.
Q_p	Pérdidas de calor.	KWh.
Q_u	Calor requerido para calentar el agua.	KWh.
R_1	Pérdidas a través del aislante.	$\frac{W}{m^2 \cdot K^2}$
R_2	Pérdidas por la base del colector.	$\frac{W}{m^2 \cdot K^2}$

R_3	Pérdidas por la cubierta.	$\frac{W}{m^2 \circ K^2}$
R_4	Pérdidas al ambiente.	$\frac{W}{m^2 \circ K^2}$
U_b	Pérdidas por el aislante.	$\frac{W}{m^2 \circ K^2}$
U_e	Pérdidas por los lados.	$\frac{W}{m^2 \circ K^2}$
U_l	Coeficiente global de pérdida de calor.	$\frac{W}{m^2 \circ C}$
U_t	Pérdidas por la parte superior.	$\frac{W}{m^2 \circ K}$
U_t	Pérdidas por la cubierta.	$\frac{W}{m^2 \circ K^2}$
a_1	Coeficiente de pérdida de calor.	$\frac{W}{m^2 \circ K}$
a_2	Dependencia de la temperatura del coeficiente de pérdida de calor.	$\frac{W}{m^2 \circ K^2}$
k_1	Diferencia de temperatura sobre la irradiación.	$W/m^2 \circ C.$
k_2	Diferencia de temperatura sobre la irradiación.	$W/m^2 \circ C.$
m_c	Consumo de agua caliente.	Kg
t_a	Temperatura ambiente.	$^{\circ}C$
t_i	Temperatura inicial del fluido.	$^{\circ}C$
t_m	Temperatura media del fluido.	$^{\circ}C$
t_s	Temperatura final del fluido.	$^{\circ}C$
β_{opt}	Inclinación óptima de los captadores.	-
η_0	Eficiencia instantánea.	-
η_a	Eficiencia asumida	-
$\eta_{días}$	Número secuencial del día del año.	-

ΔT	Diferencia de temperatura entre la entrada y la salida de fluido.	$^{\circ}\text{C}$
D	Diámetro del tubo.	cm^2 .
$Fr(Ul)$	Coefficiente global de pérdidas térmicas del colector.	-
$Fr(\tau\alpha)$	Eficiencia óptica del colector.	-
I	Irradiancia solar.	W/m^2 .
W	Distancia entre los tubos.	cm^2 .
ks	Constante de incidencia para el cálculo de radiación horizontal.	-
α	Absorbencia del material.	-
β	Inclinación real de los captadores.	-
γ	Grosor del material.	m
δ	Declinación	Grados.
ε	Emitancia.	-
η	Eficiencia del colector.	-
ρ	Densidad del líquido.	Kg/l .
σ	Constante de Boltzmann	$\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{K}^4$.
τ	Transmitancia del material.	-
ω	Cambio de hora en verano	horas.

ÍNDICE DE ECUACIONES.

Ecuación 2.1.....	23
Ecuación 2.2.....	25
Ecuación 2.3.....	25
Ecuación 2.4.....	25
Ecuación 2.5.....	25
Ecuación 2.6.....	26
Ecuación 2.7.....	27
Ecuación 2.8.....	27
Ecuación 2.9.....	27
Ecuación 2.10.....	27
Ecuación 2.11.....	28
Ecuación 2.12.....	28
Ecuación 2.13.....	28
Ecuación 2.14.....	29
Ecuación 2.15.....	29
Ecuación 2.16.....	30
Ecuación 2.17.....	30
Ecuación 2.18.....	30
Ecuación 2.19.....	31

Ecuación 2.20.....	31
Ecuación 2.21.....	31
Ecuación 2.22.....	32
Ecuación 2.23.....	32
Ecuación 2.24.....	32
Ecuación 2.25.....	34
Ecuación 2.26.....	34
Ecuación 2.27.....	34
Ecuación 3.1.....	40
Ecuación 3.2.....	40
Ecuación 3.3.....	41
Ecuación 3.4.....	42
Ecuación 3.5.....	42
Ecuación 3.6.....	44
Ecuación 3.7.....	46
Ecuación 3.8.....	46
Ecuación 3.9.....	48
Ecuación 3.10.....	48
Ecuación 4.1.....	57
Ecuación 4.2.....	57
Ecuación 4.3.....	58

Ecuación 4.4.....	59
Ecuación 4.5.....	60
Ecuación 4.6.....	61
Ecuación 4.7.....	63
Ecuación 4.8.....	63
Ecuación 4.9.....	64
Ecuación 4.10.....	67
Ecuación 4.11.....	67
Ecuación 4.12.....	67
Ecuación 4.13.....	68
Ecuación 5.1.....	85
Ecuación 5.2.....	86
Ecuación 5.3.....	86
Ecuación 5.4.....	90
Ecuación 5.5.....	93

1 CAPÍTULO I

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La utilización de agua caliente de uso sanitario ACS en sectores residenciales de la ciudad de Ibarra se lo hace a diario, aunque en diferentes cantidades comparado con el consumo de edificios, centros comerciales, escuelas, hospitales etc...por ende la demanda de energía eléctrica, gas licuado de petróleo y diésel; se lo utiliza en mayor o menor cantidad. Una alternativa para disminuir la demanda de electricidad y derivados de petróleo es la instalación de paneles solares térmicos.

En la actualidad no existe un estudio relacionado con procedimientos de construcción, instalación; que nos permita garantizar la eficiencia y rendimiento del sistema al momento de su implementación. Por lo que no se logra buenos resultados para los fines propuestos como es el calentamiento de agua de uso doméstico.

El trabajo a ejecutar permitirá que el usuario este en la capacidad de realizar la construcción, instalación; así como también tener parámetros que permitan determinar la eficiencia y rendimiento de los paneles solares térmicos planos desde el punto de la eficiencia y recomendaciones técnicas de sus variantes para obtener un modelo de aplicación hacia la mejor eficacia de los sistemas al momento de calentar, lo que permitirá difundir y utilizar este tipo de energías.

1.2 OBJETIVOS.

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer un procedimiento para determinar el cálculo de la eficiencia en los paneles solares térmicos planos, para su uso en las instalaciones de agua de uso sanitario

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Realizar un análisis constructivo de los diferentes tipos de paneles solares térmicos planos.
- Definir los parámetros para el cálculo de la eficiencia.
- Selección de los materiales para la construcción de dos tipos de paneles solares térmicos planos.
- Establecer un procedimiento para el cálculo de la eficiencia en los paneles solares térmicos planos.
- Análisis de los resultados alcanzados en el procedimiento establecido para el cálculo de la eficiencia de los paneles solares térmicos.

1.3 JUSTIFICACIÓN.

Ecuador es un país en constante desarrollo lo cual conlleva a un mayor crecimiento económico y de consumo energético. Nuestro país está privilegiado por sus condiciones meteorológicas y ubicación geográfica, esta energía puede aprovecharse directamente para la implementación de paneles solares térmicos.

Principalmente esto favorece a nuestro país por encontrarse en latitud 0°, lo cual influye para que no existan variaciones representativas de luz solar y tener un

promedio de 12 horas diarias de sol anuales y sobre cada metro cuadrado de su suelo inciden al año unos 1.500 kilovatios-hora de energía, cifra superior a la de muchas regiones de Europa Central y Sudeste asiático, donde el uso de energía solar no es una novedad.

El presente estudio beneficiará a la población en general de la ciudad de Ibarra y el resto de la provincia ya que los datos se pueden utilizar en otras zonas, pudiendo así implementarse estos sistemas si lo amerita el caso, a la vez contribuye con la necesidad de combatir el cambio climático, evitando la emisión de contaminantes producidos a partir del uso de derivados de petróleo.

Por tal motivo el estudio de los paneles solares térmicos, más allá de ser una alternativa ecológica, cumplen con el objetivo 7 y 11 del Buen Vivir, en los cuales se garantiza el derecho humano a vivir en un ambiente sano, pilar fundamental en la sociedad del Buen Vivir. Y además Orientada por el conocimiento, la innovación social y tecnológica, base de la nueva matriz productiva. Esta transición implica que la actual dependencia de la extracción de recursos naturales no renovables sea temporal y decreciente, en la medida de los requerimientos para financiar la emergencia de una nueva configuración socioeconómica, sostenible y sustentable, desde entornos innovadores.

La unión de todos estos aspectos nos da como consecuencia que este proyecto tiene muchas ventajas al ser una nueva tecnología y al saber que la energía solar es una alternativa ecológica que sea desarrollado y experimentado en los últimos años obteniendo buenas expectativas para el futuro.

1.4 ALCANCE.

Este proyecto se enfoca al estudio de los paneles solares térmicos en cuanto a métodos de instalación, tecnologías de fabricación, orientación al Sol, materiales y condiciones ambientales existentes en nuestro medio, que proporciona las condiciones necesarias para la implementación de un modelo de panel solar térmico eficiente.

Por medio de la normativa determinar la eficiencia térmica y así tener una idea generalizada de predecir la capacidad calórica que pueden transmitir por metro cuadrado de este tipo de sistema al momento de calentar, demostrando a la sociedad el uso de energías alternativas con la implementación de este tipo de tecnologías.

En la actualidad el uso agua caliente de uso sanitario ha crecido increíblemente en el sector residencial y esto se ha convertido en el segundo uso energético de importancia atrás de la calefacción y refrigeración. Por lo que el uso de paneles solares a más de reducir el consumo de energía eléctrica, este disminuye las emisiones.

Al concluir este proyecto se realizara un diseño con las condiciones necesarias para la implementación de los paneles solares térmicos utilizados para el calentamiento de agua de uso sanitario.

2 CAPÍTULO II

2.1 INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se realiza un análisis de las normativas de diferentes países las cuales se utilizan para el cálculo de eficiencia de un colector solar placa plana; con el propósito de generar un procedimiento el cual permita obtener el cálculo de la eficiencia en los colectores solares planos.

2.2 ANTECEDENTES.

A nivel mundial está el creciente interés por el uso de las energías renovables y en especial las de energías de origen solar, especialmente para el uso en sistemas destinados a calentamiento de agua de uso sanitario. (Larreta Moran, 2015). Los paneles solares actualmente presentan grandes ventajas debido a su mínimo impacto ambiental así como también desventajas de eficiencia y rendimiento debido a un mal montaje, orientación, estudios de radiación además de su alto costo de inversión al momento de implementarlos en la sociedad como lo plantea (Luzuriaga José, 2005) de la Universidad San Francisco de Quito; provocando que exista poca aceptación a pesar de sus grandes beneficios.

En el trabajo realizado por Avances en Energía Renovable y medio Ambiente planteado por (Garnica, Lucchini, Stoll, & Barral, 2010) nos proyecta la realización de ensayos; los mismo que permitirían saber las cualidades del equipo, eficiencia y que tan confiable son en el mercado. De igual modo (Duomarco, 2012) en su trabajo “Predicción del comportamiento de sistemas solares de calentamiento de agua a largo plazo” nos da a conocer que mediante un análisis de las normativas nacionales e internacionales se permitirá deducir parámetros aptos para nuestra

localidad, permitiendo realizar ensayos a los sistemas; donde se podrá determinar cuál será su comportamiento a lo largo del año y así evaluar su rendimiento a largo plazo

En nuestro país el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) adoptó la normativa internacional ISO(Organización Internacional de Normalización) NTE INEN ISO 9459-2 establecida desde el año 1995 donde se establece procedimientos de ensayo para el cálculo del rendimiento anuales con distintas condiciones climáticas y de operación de los sistemas solares de agua caliente sanitaria en colectores solares de placa plana ("Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 9459-2," 2014). De igual forma en el trabajo elaborado por (Larreta Moran, 2015) de la Escuela Politécnica Del Litoral se realizó un análisis de paneles solares con tubos de vacío bajo la norma ecuatoriana NEC 10 (Normativa Ecuatoriana de Construcción) donde se obtuvo un resultados del 65% de eficiencia en las mejores condiciones; los mismos que podrían ser mejorados al aplicar mejores materiales para la construcción.

A nivel de Ecuador e Imbabura no se encontraron trabajos investigativos o publicaciones donde se propongan procedimientos de cálculo de la eficiencia de paneles solares térmicos planos. Por lo que el presente trabajo con base en estos antecedentes pretende realizar un estudio de las normas vigentes, métodos de construcción, instalación y eficiencia; así como también de sus variables como radiación, ubicación, ángulos de inclinación, número de horas de sol, sistemas auxiliares de control automático, etc... los mismos que permitan cumplir objetivos como mejorar la eficiencia y rendimiento para este tipo de sistemas. A más del

cumplimiento de políticas que incentiven el uso de este tipo de energías para uso residencial. Presentando cada uno sus ventajas así como sus desventajas.

2.3 EL SOL

El Sol es la estrella más cercana a la Tierra y el mayor elemento de nuestro Sistema Solar. Siendo fuente de vida y origen de las demás formas de energía que el hombre ha utilizado desde la antigüedad para satisfacer sus necesidades. Ubicado a una distancia de 150 millones de kilómetros respecto de la Tierra y con una vida estimada de varios miles de millones de años.(Quintanilla, 2011).

2.3.1 RADIACIÓN SOLAR.

El sol se encuentra a una temperatura media de 5500 °C, en su interior se da lugar una serie de reacciones que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. (Rafael, Javier, & Veritas, 2005).

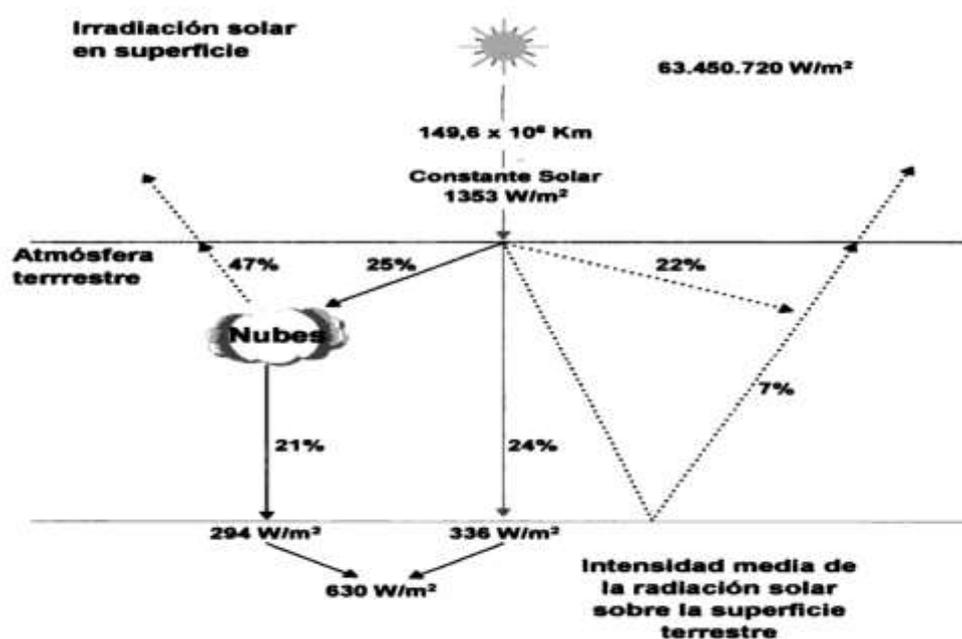


Figura 2.1: Distribución de la radiación solar.

Fuente: (Cuervo, Méndez, & Bureau, 2010, p. 38)

Esta energía liberada se transmite al exterior mediante la denominada *radiación solar*. De toda la radiación solar interceptada por la atmósfera, solo un 1/3 de la energía total cae sobre la Tierra y el resto cae al mar; la Figura 2.1 muestra cómo se distribuye esta energía. (Rafael, Javier, & Veritas, 2005).

2.3.2 TIPOS DE RADIACIÓN SOLAR.

La radiación solar absorbida por la atmósfera se clasifica en función de la incidencia de los rayos hacia la Tierra; esta clasificación se muestra en la Tabla 2.1 y gráficamente en la Figura 2.2.

DIRECTA	Radiación recibida desde el Sol sin que se desvíe en su paso por la atmósfera.
DIFUSA	Es la que sufre cambios en su dirección principalmente debidos a la reflexión y difusión en la atmósfera.
ALBEDO	Es la radiación que es reflejada por la superficie terrestre, dependiendo del coeficiente de reflexión.
GLOBAL	Es la suma de todas las anteriores.

Tabla 2.1: Tipos de radiación solar.

Fuente: (Cuervo et al., 2010, p. 39)

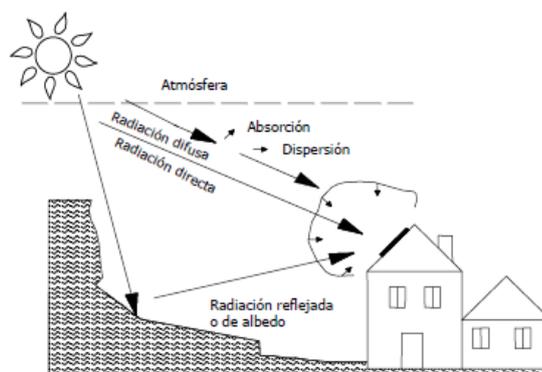


Figura 2.2: Tipos de radiación.

Fuente: (Tobajas Vázquez, 2012).

2.3.3 EL MOVIMIENTO DEL SOL.

La Tierra es el tercer planeta del sistema solar más próximo al sol, con una órbita casi elíptica la misma que se tarda un año en recorrerla. El eje de la Tierra no es perpendicular al plano de su órbita sino está inclinado en un ángulo de $23,5^\circ$. Esta inclinación determina las cuatro estaciones del año; representada en la

Figura 2.3 se observa los dos solsticios (invierno y verano) y los dos equinoccios (primavera y otoño). (Cuervo et al., 2010; Sarmiento, 2007).

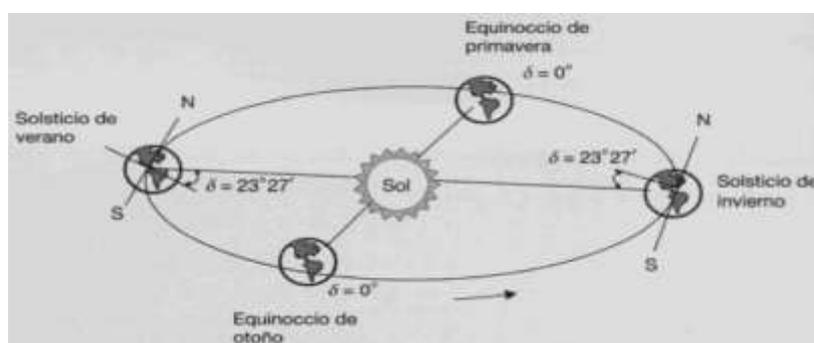


Figura 2.3: Variación del ángulo de declinación a lo largo del año.

Fuente:(Jutglar, 2004, p. 12).

A lo largo del año el sol en el cielo dibuja diferentes trayectorias dependiendo de la estación del año; la Figura 1.4. se representa un sistema de coordenadas el cual se emplea para conocer la posición del sol en un determinado momento:

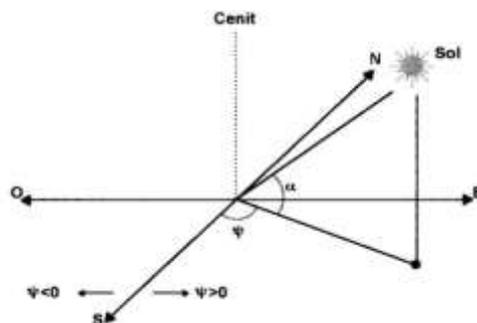


Figura 2.4: Ángulos para calcular la posición del sol.

Fuente:(Cuervo et al., 2010).

La letra (α) representa la altura solar, ángulo formado entre la posición del sol con la horizontal del lugar. La letra (ψ) representa al acimut solar, ángulo horizontal que se forma por la posición del sol y la dirección del sur. El cenit se lo conoce como el punto más alto en el cielo con relación al observador, este se encuentra justo sobre la cabeza del mismo. (Tobajas Vázquez, 2012).

2.3.4 CONSTANTE SOLAR.

En la Figura 2.5 se muestra la cantidad de energía recibida del sol en forma de radiación solar incidente en una superficie, resultante de la combinación de: distancia Tierra- Sol, el diámetro solar y la temperatura del Sol, donde la constante solar medida en la parte externa de la atmosfera terrestre tiene un valor aproximado de 1366 W/m^2 .(Duffie & Beckman, 2013).

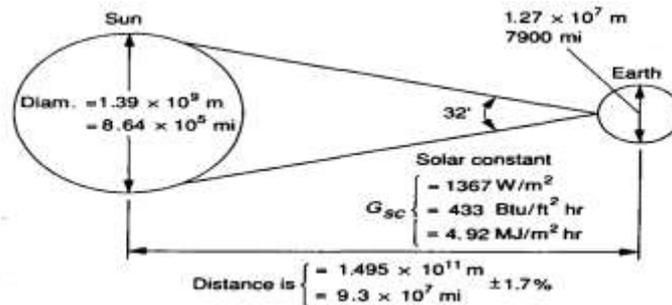


Figura 2.5: Constante Solar.

Fuente:(Duffie & Beckman, 2013).

2.4 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ECUADOR.

Una vez que se ha definido conceptos y parámetros principales que se deben considerar para utilizar como fuente de energía el sol, se determina que el Ecuador está ubicado en la zona ecuatorial (1°N hasta 5°S), justo sobre la línea ecuatorial donde los rayos solares llegan con más intensidad que a otros lugares del planeta,

dando como resultando temperaturas promedio mensuales uniformes.(Ing. Velarde Cruz, 2013).

2.4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL LUGAR DE ESTUDIO.

La provincia de Imbabura se encuentra en la parte norte del Ecuador, siendo su capital la ciudad de Ibarra; lugar donde se realizará el estudio de la eficiencia de los colectores solares planos. La ubicación geográfica para la ciudad es de: $0^{\circ} 21' 46''$ N, $78^{\circ} 7' 48''$ W; tal como se determina en la Figura 2.6.

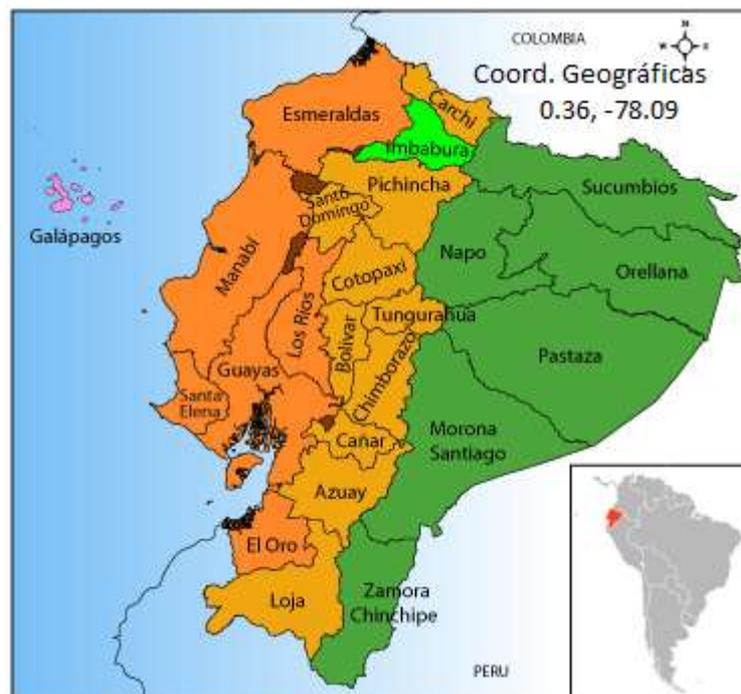


Figura 2.6: Ubicación geográfica de la ciudad de Ibarra.

FUENTE: (Google.(s.f.), 2018.)

2.4.2 EL CLIMA EN LA CIUDAD DE IBARRA.

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) aporta con mediciones tanto de temperatura ambiente como de la velocidad del viento. En el Anexo 1 se

detalla las medidas correspondientes hasta el año 2014, determinando los siguientes valores promedios:

- *temperatura ambiente máxima* = 27 °C (Abril)
- *temperatura ambiente mínima* = 6.6 °C (Agosto)
- *temperatura promedio* = 16.9 °C
- *Velocidad viento máxima* = $1.6 \frac{m}{s}$ (Julio a Septiembre)
- *Velocidad viento mínima* = $0.9 \frac{m}{s}$ (Mayo)
- *velocidad del viento promedio* = $1.3 \frac{m}{s}$

2.5 COLECTOR TÉRMICO PLANO DE BAJA TEMPERATURA.

Es un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos los cuales permiten captar la energía solar que luego se transfiere hacia un fluido, con el fin de obtener agua de uso sanitario (ACS), la cual sea útil de acuerdo a las necesidades de la humanidad.

2.5.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN CAPTADOR.

El funcionamiento de los sistemas solares térmicos se basa en el efecto invernadero proceso que consiste en captar la radiación solar y el calor obtenido se lo transfiere a un fluido caloportador. Por lo general estos sistemas son utilizados en la obtención de ACS, debido a que su consumo no se ve influenciado por la estación del año y que la temperatura requerida para el agua no sobrepasa los 60°C.(MIDUVI, 2012).

En la Figura 2.7 se observa un esquema de una instalación de un sistema básico para ACS y el proceso para el calentamiento es el siguiente:

- El agua fría de la red abastece al sistema.
- El colector solar capta y transforma la energía radiante del sol en calor; el cual se transfiere al fluido.
- El fluido se mueve de forma natural entre el tanque y el colector por diferencia de temperatura (termosifón).
- Cuando hay consumo de agua caliente, esta es remplazada inmediatamente por agua fría de la red que alimenta al tanque

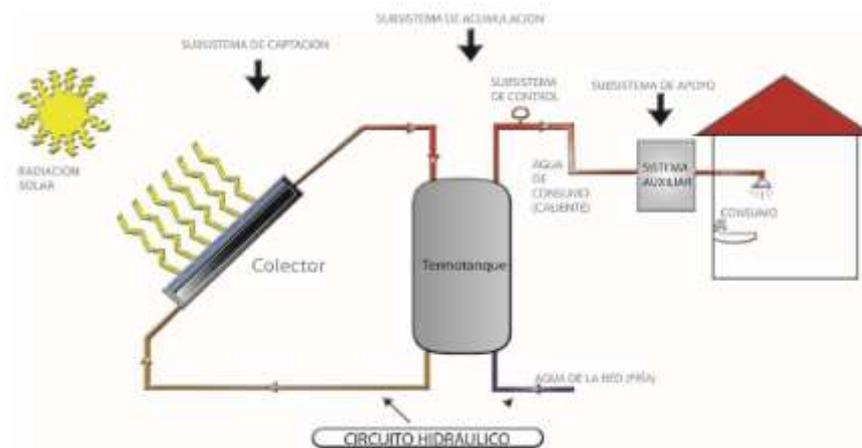


Figura 2.7: Esquema de funcionamiento de un sistema de ACS.

FUENTE: (MIDUVI, 2012)

2.5.2 CLASIFICACIÓN DE LOS COLECTORES SOLARES.

Colectores de placa plana con cubierta: son elementos constituidos por una superficie absorbente, estable a la corrosión y con alta conductividad térmica, además de una caja hermética, un aislante, una cubierta de alta transparencia y conjunto a tubos conductores. (Tobajas Vázquez, 2012).

Colectores de placa plana sin cubierta: son colectores que contienen un absorbedor pero carecen de cubierta. Su rendimiento es bajo ya que una gran parte de la energía solar absorbida se pierde. El absorbedor está generalmente

constituidos de plástico negro tratado para resistir la luz ultravioleta y por tubos metálicos o plásticos recubiertos de pigmento negro por donde circula el agua.(Quintanilla Piña, 2011)

Colectores solares de tubos de vacío: son colectores generalmente compuestos de 18 a 24 tubos de vidrio en su superficie y que en su interior contiene un área metálica colectora. Están compuestos de una doble cubierta envolvente, la cual esta herméticamente cerrada, aislada del interior y exterior a la cual se le ha realizado un vacío para reducir al máximo las pérdidas.(Peralta, 2008).

2.5.3 ANÁLISIS DE LOS COLECTORES DE BAJA TEMPERATURA.

En la Tabla 2.2 se realiza un análisis entre dos captadores de baja temperatura utilizados en nuestro país para generar ACS. Se descarta el colector placa plana sin cubierta debido a que desea obtener ACS mayor a 30°C.

CAPTADORES PLACA PLANA.	CAPTADORES TUBOS DE VACÍO.
<ul style="list-style-type: none"> • Apropriados para zonas donde no existen fríos extremos o nieve. • Alto rendimiento de agua mayor a los 100 litros. • Aptos donde la demanda es alta como piscinas, domicilios, hospitales. • Funcionan incluso con poco caudal de agua. • No hay posibilidad de daños al haber choque térmico. • Es posible fabricarlos en nuestra localidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Son capaces de obtener altas temperaturas en poco tiempo. • Aprovechan la luz difusa. • Funcionan incluso si están mal orientados y días fríos • Bajo rendimiento de cantidad de agua menor a los 100 litros. • Sufren daños al haber un choque térmico. • Solo son exportados y armados por un técnico instalador.

Tabla 2.2: Cuadro comparativo de dos tipos de paneles solares.

Nuestro país cuenta con una ubicación geográfica donde no existen condiciones meteorológicas como los fríos extremos o la nieve; al contrario nuestra localidad cuenta con las radiaciones más altas del mundo.

2.5.4 SUBSISTEMAS QUE COMPONEN UN PANEL SOLAR TÉRMICO PLANO.

Un sistema de calentamiento de agua de uso sanitario se compone principalmente de los siguientes subsistemas:

- **Sistema de captación:** se encuentra constituido por el colector solar el cual se encarga de transformar la radiación solar en energía térmica, la misma que será capaz de calentar el fluido de trabajo. (MIDUVI, 2012).
- **Sistema de acumulación:** está constituido por el acumulador (tanque), es el encargado de almacenar el agua caliente para ser utilizada de acuerdo a la demanda. (MIDUVI, 2012).
- **Sistema de tuberías y accesorios:** el circuito hidráulico (tuberías, bombas, válvulas etc...) entre el sistema y el tanque donde se debe permitir la recirculación pero no debe permitir el reflujo del agua caliente en horas de no existir sol. (MIDUVI, 2012).

2.5.5 COMPONENTES DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN.

En la Figura 2.8 se muestra los componentes de un sistema de captación, donde cada componente cumple con la siguiente función:

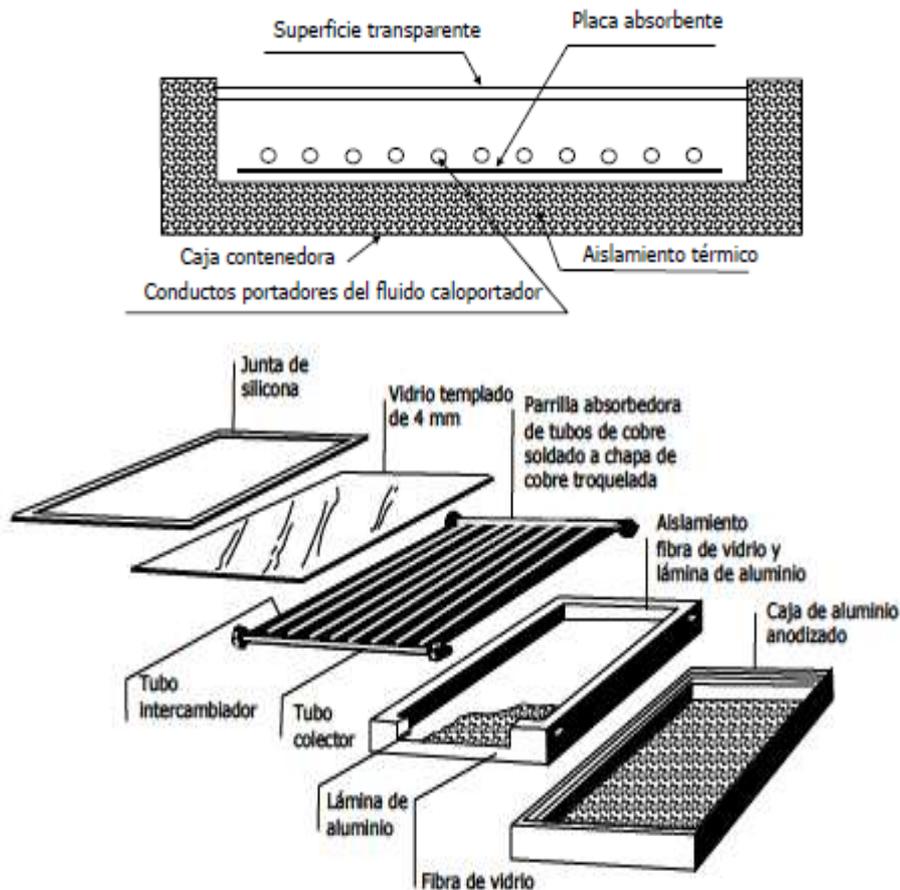


Figura 2.8: Componentes de un colector Solar Placa Plana.

Fuente:(Tobajas Vázquez, 2012, p. 48)

- **Carcasa:** es la que protege y soporta todos los elementos del captador por lo que es muy importante darle una buena rigidez, facilidad de anclaje, resistencia a cambios de temperatura, corrosión para así conseguir una larga duración.
- **Cubierta transparente:** su función es producir el efecto invernadero y reducir al máximo las pérdidas térmicas por convección al ambiente. Por lo que el material que la constituye debe presentar características como:

Alta absorbercia y baja reflectancia: de modo que la mayor parte de la radiación incidente se transfiera al fluido de trabajo. (Fernández Salgado, 2010).

Durabilidad: debe tener una larga vida de producto, resistencia al ambiente y a las variaciones de temperatura con buena capacidad de aislamiento de modo que minimice la emisión de energía hacia el exterior. (Fernández Salgado, 2010).

Protección: debe proteger a los elementos del interior del captador. (Fernández Salgado, 2010).

- **Absorbedor:** es el componente más importante debido a que la placa metálica recibe la radiación solar para transformarla en calor y transmitirla a los tubos que contienen el fluido de trabajo. Está compuesto de tres subcomponentes: El primero consta de las tuberías encargadas de transportar el fluido de trabajo el cual absorbe el calor proporcionado por el absorbedor. En la Tabla 2.3 se detalla las siguientes configuraciones:

Serpentín.	Parrilla.
<ul style="list-style-type: none"> • Distribución homogénea del calor. • Purga fácil de aire. • Caudal uniforme. • Pérdidas de carga en el interior. • Limitado el número de colectores que puedan conectarse en paralelo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja pérdida de carga. • Caudal inferior en tubos centrales. • Distribución no homogénea. • Mayor cantidad de colectores en paralelo. • Apropriadas para termosifón.

Tabla 2.3: Características principales de las parrillas.

El segundo subcomponente consta de una placa absorbadora que es la encargada de la absorción de la radiación solar para transformarla en calor y transmitirla a los tubos; la unión de la placa absorbadora a los tubos puede principalmente ser:

- El caso a se representa la unión de una única placa absorbedora que ha sido maquinada con la intención de aumentar el área de contacto con los tubos que conforman la parrilla; detallado gráficamente en la Figura 2.9.
- En el caso b se detalla la unión que se produce por soldadura de forma tangencial entre una única placa y la parrilla de tubos, representado gráficamente en la Figura 2.9.
- En el caso c y caso d, cada tubo de la parrilla dispone de una aleta que puede abrazar, o no, al tubo; estos casos se muestran gráficamente en la Figura 2.9

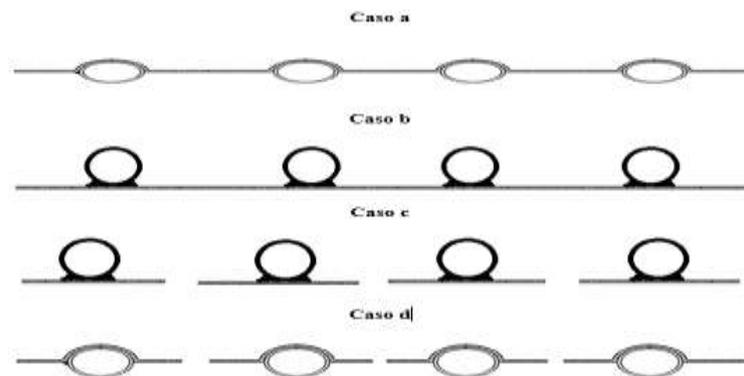


Figura 2.9: Configuración de absorbedor.

Fuente:(Fernández Salgado, 2010, p. 80)

Y el tercer subcomponente consta de una pintura que cubre a la placa absorbedora con el propósito de aumentar la absorción de radiación solar y disminuir la emisión de radiación infrarroja, optimizando así la transformación de la radiación solar en energía térmica. En la Figura 2.10 se muestra como aumenta la absorción y disminuye la emisión de radiación solar, dependiendo del tipo de recubrimiento que se aplique a la placa; debido a que cada recubrimiento varía en su composición química.(Quintanilla Piña, 2011).

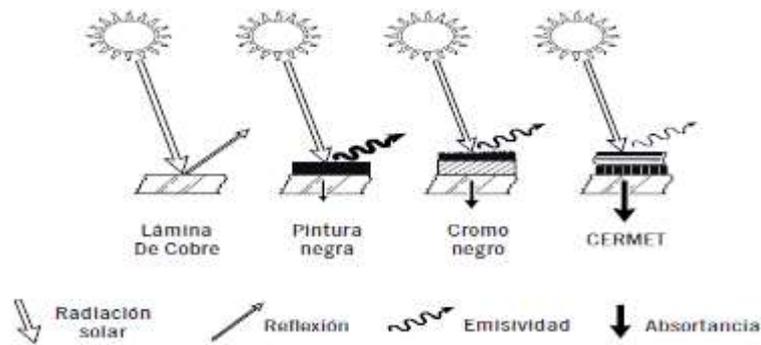


Figura 2.10: Tipos de recubrimientos.

Fuente: (Quintanilla Piña, 2011)

- **Aislamiento:** es el material que protege al absorbedor de pérdidas térmicas, por lo que debe ser capaz de resistir altas temperaturas y la exposición al agua por posibles condensaciones o rupturas; además de evitar producir algún tipo de vapor al calentarse ya que opacarían la cubierta del colector. La Tabla 2.4 describe las propiedades de diferentes tipos de aislamientos.

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 50°C ($W/m.K$)	TEMP. MAX DE UTILIZACIÓN(°C)	OBSERVACIONES
Lana de vidrio	0.050	150	Sensibilidad a la humedad
Lana de roca	0.050	150	Sensibilidad a la humedad
Poli estireno	0.42	85	moldeado
Poliuretano	0.029	110	Espuma

Tabla 2.4 : Características de los aislamientos.

Fuente: (Tobajas Vázquez, 2012).

2.5.6 TANQUE ACUMULADOR.

Es el encargado de recibir y almacenar el agua caliente que se ha generado en el colector. Generalmente es un tanque metálico, aislado térmicamente del ambiente exterior evitando que se produzcan pérdidas térmicas. Los elementos de un tanque se describen en la Figura 2.11 donde principalmente una línea es el suministro de agua fría de la red y otra la salida de agua caliente para el consumo.

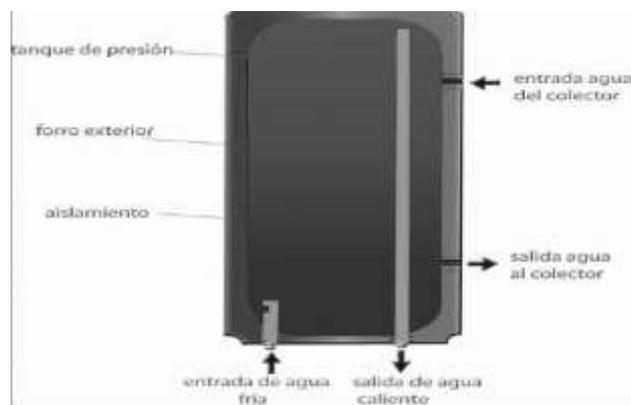


Figura 2.11: Partes tanque acumulador.

Fuente: (MIDUVI, 2012).

2.5.7 CIRCULACIÓN DEL FLUIDO.

En estos sistemas existen dos tipos de circulación.

- **Circulación natural directa (termosifón).** La diferencia de temperatura entre el agua fría (mayor densidad) empuja al agua caliente (menor densidad) donde esta es obligándola a ascender por una tubería hacia la parte superior del tanque. (MIDUVI, 2012).
- **Circulación forzada.** Son aquellos sistemas en los cuales la transferencia de calor se lo realiza por medio del movimiento del fluido producido por una bomba.(MIDUVI, 2012).

2.5.8 TIPOS DE CONEXIONADO ENTRE PLANOS.

- a) **Conexión en serie:** la Figura 2.12 muestra como el fluido pasa por el primer captador para luego ingresar en el siguiente, el cual recibe el fluido a mayor temperatura que el anterior. Este tipo de configuración es eficaz para sistemas con bajo volumen de consumo de ACS a una temperatura elevada.(Cuervo et al., 2010).

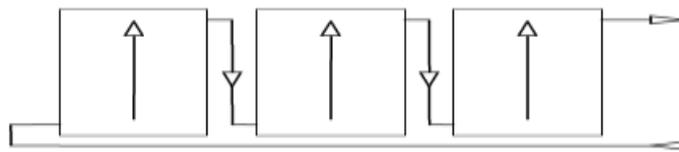


Figura 2.12: Conexión en serie.

Fuente:(Tobajas Vázquez, 2012)

- b) **Conexión en paralelo:** la Figura 2.13 muestra como el agua fría ingresa a cada colector simultáneamente donde el fluido absorbe el calor y por diferencia de temperaturas este asciende a la parte superior de cada colector. Esta configuración es idónea para sistemas de alto volumen de consumo de ACS a baja temperatura. (Cuervo et al., 2010).

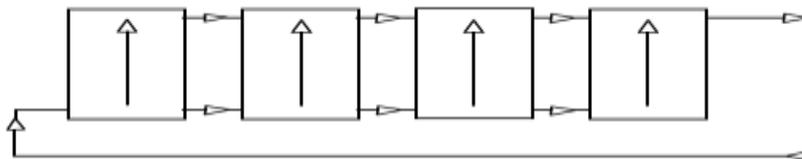


Figura 2.13: Conexión en paralelo.

Fuente:(Tobajas Vázquez, 2012)

2.5.9 ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN DE LOS COLECTORES.

Los colectores solares se situarán de manera que a lo largo del año aprovechen al máximo la radiación solar disponible. Se ubicara preferentemente hacia el sur

geográfico para el hemisferio norte y viceversa de ser lo contrario; con desviaciones de hasta 20° hacia el sudeste o sudoeste tal como se detalla en la Figura 2.14 (Tobajas Vázquez, 2012).

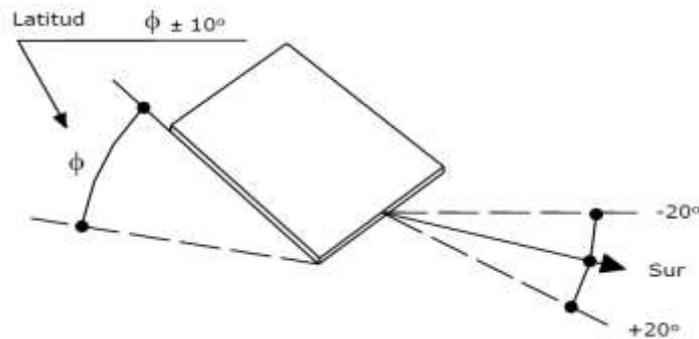


Figura 2.14: Orientación de los captadores respecto a la latitud.

Fuente: (Tobajas Vázquez, 2012).

Dependiendo del propósito final del colector se aplicara una inclinación según Tabla 2.5.

Utilización.	Ángulo de inclinación.
Todo el año (ACS).	Latitud del lugar.
Invierno.	Latitud del lugar +10.
Verano (piscina, hoteles).	Latitud del lugar -10.

Tabla 2.5: ángulo de inclinación de un captador solar.

Fuente: (Tobajas Vázquez, 2012).

2.5.10 SOMBRAS.

En el día más desfavorable del periodo de utilización, el equipo no deberá tener más del 5% de la superficie útil cubierta por sombras. En caso de tener el 20% de la superficie del colector en sombras nuestro colector será deficiente. Estas sombras pueden darse por obstáculos próximos tal como se muestra en la Figura

2.15 o sombras entre captadores; para el cálculo de estas sombras se aplicara la Ecuación 2.1.(Tobajas Vázquez, 2012)

$$\text{sombra proyectada} = \frac{\text{altura del objeto}}{\text{tangente del ángulo}}$$

Ecuación 2.1

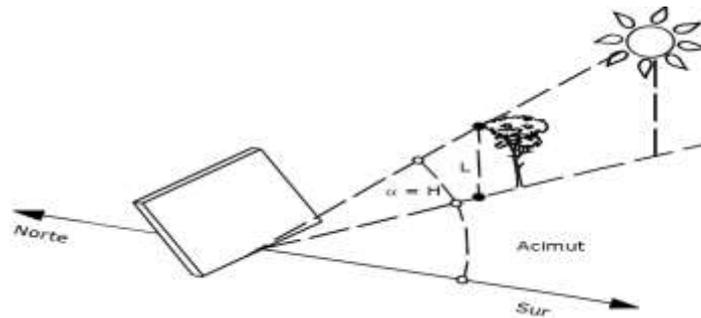


Figura 2.15: Sombra proyectada sobre el panel.

Fuente: (Tobajas Vázquez, 2012)

2.6 TRANSFERENCIA DE CALOR.

La captación de la energía necesaria para elevar la temperatura del fluido se basa en la transferencia de calor en los distintos elementos del colector solar. Debido a que el calor es una forma de energía que se transfiere de un cuerpo caliente a otro frío, ya sea por conducción, convección o transmisión; hasta alcanzar un equilibrio térmico.(Gallardo Ocampo, 2014).

2.6.1 ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN CAPTADOR SOLAR PLANO.

El análisis energético de un colector solar es difícil de realizarlo de manera exacta debido a que el sol no emite siempre la misma cantidad de radiación.

En la Figura 2.16 se observa que cuando la radiación solar incide sobre el cristal, se estima que solo un 10% es reflejado y el resto entra al captador, esta energía incidente calienta al absorbedor y el calor se transmite al fluido. Donde los valores

aproximados por pérdidas de radiación serán del (8%), convección (12%) y finalmente por conducción (4%) . (Cuervo et al., 2010)

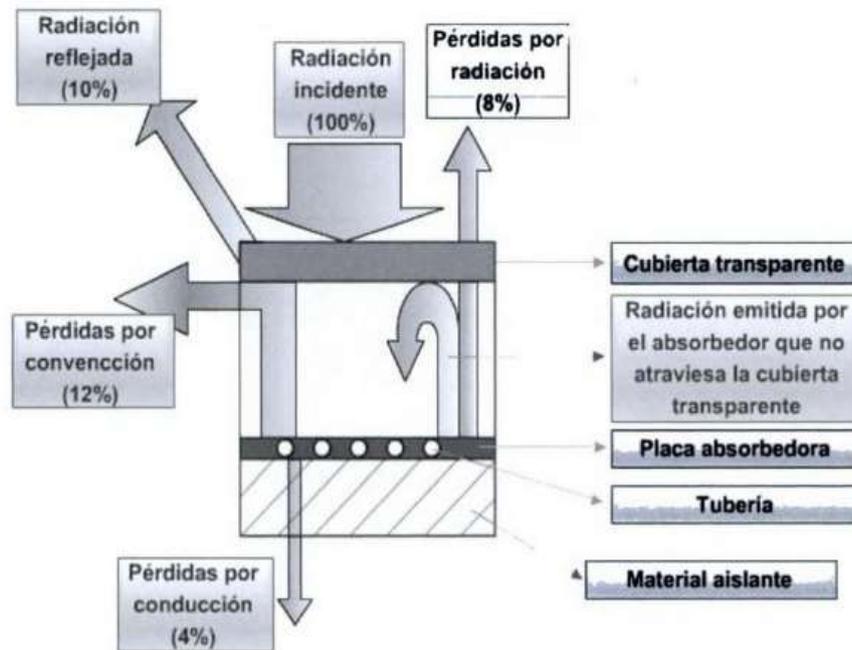


Figura 2.16: Comportamiento energético de un captador solar.

Fuente: (Cuervo et al., 2010, p. 63)

2.6.2 CUERPO NEGRO.

Es la aproximación ideal de lo que debe ser un absorbedor perfecto ante radiación. Según la ley de Planck todo cuerpo emite radiación en función de su temperatura, que al integrarse se puede determinar la energía total emitida por un cuerpo negro dando lugar a la Ecuación 2.2 y Ecuación 2.3 conocida como la ecuación de Stefan-Boltzmann (Gallardo Ocampo, 2014). En un cuerpo negro ocurren fenómenos como:

- **Emitancia:** se define como la relación entre la energía radiada por una superficie opaca y la energía radiada por un cuerpo negro a la misma temperatura. (Gallardo Ocampo, 2014).

- **Absorbencia:** se expresa como la fracción de radiación incidente que es absorbida por una superficie. (Gallardo Ocampo, 2014).
- **Reflectancia:** es la radiación reflejada de una manera especular o difusa.(Gallardo Ocampo, 2014).

$$\text{energía emitida} = \varepsilon * \sigma * \tau^4$$

Ecuación 2.2

Fuente: (Gallardo Ocampo, 2014).

$$\text{Constante de Stefan – Boltzmann} = 5.6697 * 10^{-8} \left(\frac{W}{m^2 K^4} \right)$$

Ecuación 2.3

Fuente: (Duffie & Beckman, 2013, p. 141)

2.6.3 BALANCE ENERGÉTICO EN UN COLECTOR.

Conociendo el funcionamiento del colector solar y de las pérdidas que se producen; se deduce la Ecuación 2.4 donde:

$$\text{Calor solar captado} = \text{calor del fluido caloportador} + \text{calor perdido.}$$

$$Q_T = Q_u + Q_p$$

Ecuación 2.4

Fuente: (Tobajas Vázquez, 2012)

La energía captada se ve influenciada por factores propios del panel como la transmitancia y la absorbancia dando origen a la Ecuación 2.5, donde la energía solar captada es resultado del producto.

$$Q_T = A_C . I . \tau . \alpha$$

Ecuación 2.5

Fuente: (Tobajas Vázquez, 2012).

La energía de pérdida Q_p engloba pérdidas por radiación, convección y conducción; por lo que en la Ecuación 2.6 se aplica un coeficiente global de pérdidas U_l .

$$Q_p = A_c \cdot U_l \cdot (t_i - t_a)$$

Ecuación 2.6

Fuente: (Tobajas Vázquez, 2012).

2.6.4 COEFICIENTE GLOBAL DE PÉRDIDA DE CALOR U_L .

Como muestra la Figura 2.17 el coeficiente de pérdidas de calor resulta de la suma de las diferentes pérdidas de energía distribuidas por arriba, abajo y por los lados del colector solar.

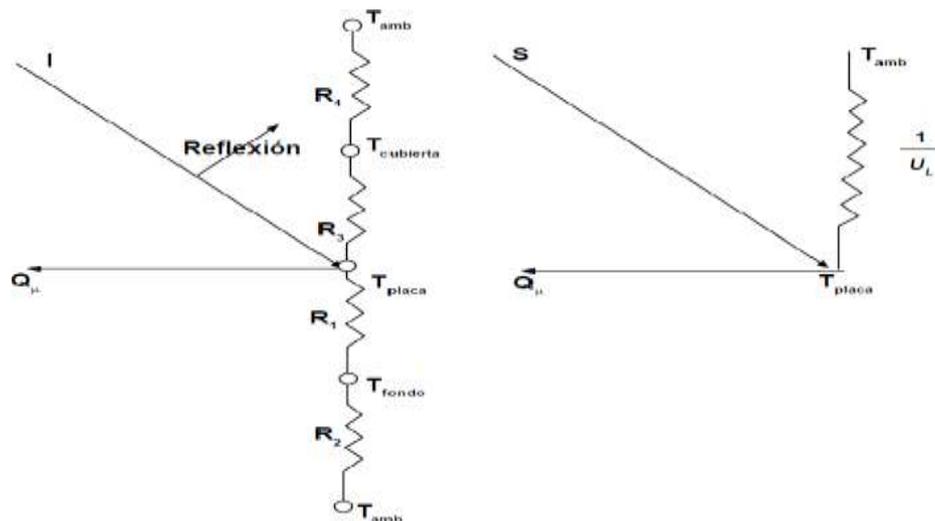


Figura 2.17: Red térmica de una placa solar.

Fuente: (Duffie & Beckman, 2013).

Donde la R_1 representa a las pérdidas de energía a través del aislante (U_b), detallada en la Ecuación 2.7, expresada en $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$ y R_2 representa las pérdidas de energía por convección hacia el ambiente por la parte posterior del colector, valor que se considera $R_2 \approx 0$.

$$U_b = \frac{\text{conductividad térmica del aislante.}}{\text{grosor del aislante.}}$$

Ecuación 2.7

Fuente:(Duffie & Beckman, 2013).

La Ecuación 2.8 representa el cálculo de las pérdidas de energía por los lados (U_e), expresada en $\frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K}$.

$$U_e = \frac{\text{conductividad térmica del aislante.}}{\text{grosor del aislante.}} * \frac{\text{Área de los lados.}}{\text{Área de la base.}}$$

Ecuación 2.8

Fuente:(Duffie & Beckman, 2013).

Para determinar las pérdidas de energía por la parte superior (U_t) del colector al ambiente se considera la Ecuación 2.9, donde se detalla las pérdidas producidas por el absorbente (R_3) y las pérdidas producidas por la cubierta (R_4).

$$U_t = \frac{1}{R_3 + R_4}$$

Ecuación 2.9

Fuente: (Duffie & Beckman, 2013).

Ecuación representada de la siguiente manera:

$$U_t = \left(\frac{1}{h_{p-c} + h_r} + \frac{1}{h_{rc-s} + h_w} \right)^{-1}$$

Ecuación 2.10

Fuente:(Duffie & Beckman, 2013).

Donde h_{p-c} representa al coeficiente de pérdida de calor entre el absorbente y la cubierta.

$$h_{p-c} = 1.161 \frac{(t_p - t_c)^{0.31}}{l^{0.070}} e^{-0.00143305\bar{T}}$$

Ecuación 2.11

Fuente:(Duffie & Beckman, 2013).

Donde:

$$t_c = \text{temperatura de la cubierta} = \left(\frac{t_p + t_a}{2}\right). ^\circ K.$$

$$t_p = \text{temperatura del absorbente. } ^\circ K.$$

$$l = \text{distancia entre el absorbedor y la cubierta. metros.}$$

$$\bar{T} = \frac{(t_p + t_c)}{2}$$

El término h_r representa a las pérdidas por radiación del absorbedor hacia la cubierta, expresada en $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$. Los valores emisividad de los materiales se obtendrán del Anexo 2.

$$h_r = \frac{\sigma(t_p + t_c)(t_p^2 + t_c^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1}$$

Ecuación 2.12

Fuente:(Duffie & Beckman, 2013).

Donde: $\varepsilon_p = \text{emisividad del absorbente.}$ $\varepsilon_c = \text{emisividad de la cubierta.}$

La variable h_{rc-s} representa las perdidas entre la cubierta y el ambiente.

$$h_{rc-s} = \varepsilon_c \sigma (t_a + t_c)(t_a^2 + t_c^2)$$

Ecuación 2.13.

Fuente:(Duffie & Beckman, 2013).

La variable h_w representa las pérdidas de energía por causa del viento.

$$h_w = 5.7 + 3.8V$$

Ecuación 2.14

Fuente:(Duffie & Beckman, 2013).

Donde:

$$V = \text{velocidad del viento. } \frac{m}{s}.$$

Dando como resultado la Ecuación 2.15 misma que representa al coeficiente general de pérdidas, resultante de la suma de todas las pérdidas de energía del colector.

$$U_l = U_b + U_t + U_e$$

Ecuación 2.15

Fuente:(Duffie & Beckman, 2013).

2.6.5 FACTOR DE REMOCIÓN DE CALOR. (F_r).

Conocido como factor de eficacia; simboliza el intercambio de calor entre la placa y el fluido caloportador tal como se muestra en la Figura 2.18. Este factor es prácticamente independiente de la intensidad de radiación incidente, de la temperatura media de la placa y del ambiente, pero es función del caudal del fluido y de las características de la placa como el espesor, material, separación, tubos etc... (Tobajas Vázquez, 2012)

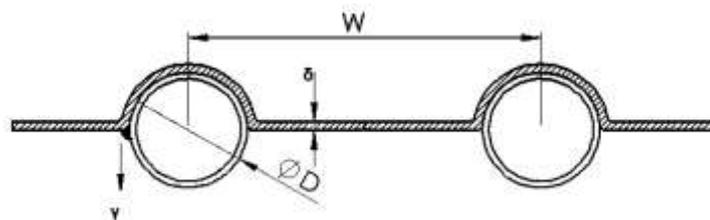


Figura 2.18: Contacto entre el absorbedor y los tubos.

Fuente: (Tobajas Vázquez, 2012).

.Donde el calor que fluye a lo largo del absorbedor por cada tubo se determina mediante la Ecuación 2.16.

$$F = \frac{\text{Tan}h \frac{m}{2} (W - D)}{\frac{m}{2} (W - D)}$$

Ecuación 2.16

Fuente:(Duffie & Beckman, 2013).

Donde W representa a la distancia entre dos tubos del absorbedor y D es el diámetro exterior de la tubería del absorbedor. Obteniendo el valor de (m) mediante:

$$m = \sqrt{\frac{U_l}{k_a \delta_a}}$$

Ecuación 2.17

Fuente:(Duffie & Beckman, 2013).

Donde:

$k_a = \text{conductividad termica del absorbedor.}$

$\delta_a = \text{espesor del absorbedor.}$

Para obtener el factor relacionado con el calor útil que debe ser transferido al fluido de trabajo se aplica la Ecuación 2.18.

$$F' = \frac{1/U_l}{W \left[\frac{1}{U_l(D + (W - D)F)} + \frac{1}{Cb} + \frac{1}{\pi D_i h_{fi}} \right]}$$

Ecuación 2.18

Fuente:(Duffie & Beckman, 2013).

Donde:

$D_i =$ *diámetro interior del tubo.*

$h_{fi} =$ *coeficiente de transferencia de calor entre el tubo y el fluido.*

$C_b =$ *unión por soldadura* $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

Para finalmente obtener el factor de remoción de calor mediante:

$$F_R = \frac{F_l C_p}{U_l} \left(1 - e^{-\left(\frac{U_l \cdot F'}{F_l \cdot C_p} \right)} \right)$$

Ecuación 2.19

Fuente:(Duffie & Beckman, 2013).

Donde:

$F_l =$ *flujo de masa de agua por cada tubo.*

Con estos parámetros se puede calcular la cantidad de energía útil del captador Q_U , representada en la Ecuación 2.20 conocida como la ecuación de Bliss; donde se detalla la relación entre el factor de remoción de calor, área de captación, radiación incidente, transmitancia del vidrio, absorbencia de la placa, coeficiente global de pérdidas, temperatura media del fluido y temperatura ambiente.

$$Q_U = F_r * A_c \left((I * \tau * \alpha) - \left((U_l * (t_m - t_a)) \right) \right)$$

Ecuación 2.20

Fuente: (Tobajas Vázquez, 2012)

Donde la temperatura media de la placa varía a lo largo de toda la superficie; una forma de obtenerla es mediante la Ecuación 2.21.

$$t_m = \frac{t_i + t_s}{2}$$

Ecuación 2.21

Fuente: (Tobajas Vázquez, 2012).

2.6.6 EFICIENCIA DE UN COLECTOR.

La eficiencia de un colector solar está definida como la relación entre la energía útil captada y la energía recibida en un instante de tiempo; expresada por:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c * I}$$

Ecuación 2.22

Fuente: (Tobajas Vázquez, 2012)

Generalmente la eficiencia se ensaya bajo un procedimiento que consiste en un banco de pruebas bajo condiciones estables de sus variables. Estos procedimientos de ensayo son establecidos en normas; donde las variables son anotadas en curvas de eficiencia en función de las diferencias de temperatura y radiación total que incide en el colector. (Tobajas Vázquez, 2012).

Al remplazar la Ecuación 2.22 por los valores de la Ecuación 2.20 se obtiene la ecuación general para el cálculo de la eficiencia:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c * I} = \left((F_r * \tau * \alpha) - \left(F_r * U_l * \frac{(t_m - t_a)}{I} \right) \right)$$

Ecuación 2.23.

Fuente: Fuente: (Tobajas Vázquez, 2012)

Esta ecuación se la puede representar en formato de una ecuación de la recta:

$$n = b - mx$$

Ecuación 2.24

Fuente: (Tobajas Vázquez, 2012)

Representando:

b = ordenada en el origen ($F_r(\tau * \alpha)$).

m = pendiente ($F_r * U_l$).

x = representa el eje de las abscisas ($\frac{t_m - t_a}{I}$).

En la Figura 2.19 se muestran varias curvas de eficiencia de distintos tipos de captadores; todo este dependerá de las condiciones y materiales utilizados en cada ensayo.

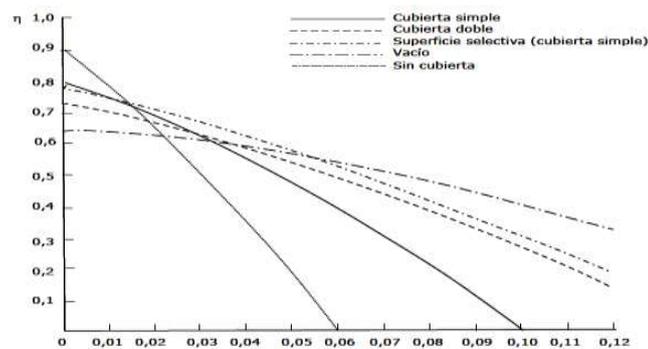


Figura 2.19: Curvas de eficiencia de diferentes captadores solares.

Fuente: (Tobajas Vázquez, 2012, p. 38)

Dependiendo de los resultados obtenidos en los ensayos realizados al colector se determinarán los siguientes resultados, detallados en la Figura 2.20.

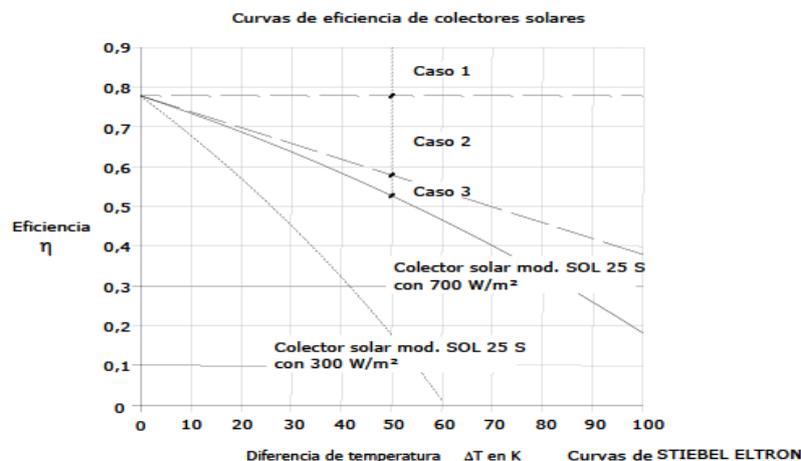


Figura 2.20: Curvas de eficiencia del colector solar SOL 25 S.

Fuente: (Tobajas Vázquez, 2012)

Un colector tiene eficiencia máxima (η_0) cuando toda la energía recibida la transforma en calor y por lo tanto no hay pérdidas. Esta situación es ideal como sucede en el **caso 1** de la Figura 2.20 y se la conoce como eficiencia máxima, que se representa con la Ecuación 2.25. (Tobajas Vázquez, 2012).

$$\eta = \eta_0$$

Ecuación 2.25

Fuente: (Tobajas Vázquez, 2012).

Para el **caso 2** y **caso 3**, representados en Figura 2.20 el coeficiente de pérdida térmica lineal (k_1); se toma en cuenta las pérdidas térmicas generadas en la superficie del colector, debido a diferencia de temperaturas y a componentes propios del colector; dando como resultado la Ecuación 2.26 :

$$\eta = \eta_0 - \frac{k_1 * (t_m - t_a)}{I}$$

Ecuación 2.26

Fuente: (Tobajas Vázquez, 2012)

Que de forma alternativa algunos autores la representan con la Ecuación 2.27:

$$\eta = F_r (\tau\alpha) - F_r U_l \frac{(t_m - t_a)}{I}$$

Ecuación 2.27

Fuente: (MIDUVI, 2012)

Donde:

$\eta_0 = F_r (\tau\alpha)$ = representa la eficiencia óptica del colector.

$k_1 = F_r U_l$ = coeficiente global de perdidas térmicas del colector.

En la Figura 2.21 se exponen algunos valores típicos de pérdidas en colectores.

Colector.	Rango T(°C)	$F_r(\tau\alpha)$	$F_r U_l \left(\frac{W}{m^2}\right)$
Sin cubierta.	10-40	0.9	15-25
Cubierta simple.	10-60	0.8	7
Cubierta doble.	10-80	0.65	5
Superficie selectiva.	10-80	0.8	5
Tubos de vacío.	10-130	0.7	2

Figura 2.21: Valores típicos de eficiencia de colectores solares.

Fuente: (MIDUVI, 2012)

2.7 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.

2.7.1 MEDIDOR DE RADIACIÓN.

Para poder realizar el procedimiento experimental, se utilizaron para medir la radiación un piranómetro ver Figura 2.22 ; mismo que mide la radiación solar global (directa y difusa), permitiendo saber cuál es la radiación recibida en un determinado instante.



Figura 2.22: Medidor de radiación.

2.7.2 MEDIDOR DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO.

Para las mediciones de viento se utilizó un anemómetro ver Figura 2.23; mismo que permite medir la velocidad del viento en un determinado instante.



Figura 2.23: Medidor de la velocidad del viento.

2.7.3 SENSOR DE TEMPERATURA.

En la Tabla 2.6 se analiza diferentes tipos de sensores; los cuales medirán las diferentes temperaturas que se manejan en nuestro colector solar. Existen varios sensores que se podría utilizar debido a que los rangos de temperatura que se maneja; donde el lm35 es el sensor que mejor se adapta por sus rangos de medición y además de su bajo costo de implementación.

Sensor de temperatura	Rangos de medición (°C)	Sensibilidad	Empaquetado	Relación respuesta temperatura	Costo
Termocupla Tipo J	0 - 750	50mv/°C	Acero inoxidable	Lineal	Alto
Pt 100	-1050	0,3Ω/°C	Acero inoxidable	Lineal	Moderado
NTC	-570	6%/°C	Acero inoxidable	Exponencial	Moderado
Lm35	-205	10 mv/°C	Plástico	Lineal	Bajo

Tabla 2.6: Tipo de sensores de temperatura.

Fuente: (Vallejo, 2013).

2.7.4 GLOSARIO DE TÉRMINOS

Irradiación Solar: Es la potencia por unidad de área con la que incide la radiación solar sobre una superficie, es máxima en el Ecuador y disminuye hacia los Polos.

Su unidad de medida es el vatio sobre metro cuadrado $\left(\frac{W}{m^2}\right)$.

Mediodía solar: es el momento cuando el sol coincide con el cenit del lugar; es decir cuando este alcanza su máxima altura en el cielo.

Latitud: es la posición angular Norte o Sur de un punto en la Tierra respecto al Ecuador, es positiva al Norte y negativa al Sur. (Cuervo et al., 2010).

Ángulo incidencia (φ): es el ángulo que forma la radiación directa sobre la superficie captadora que es perpendicular al captador, como se representa en la Figura 2.24 (Tobajas Vázquez, 2012).

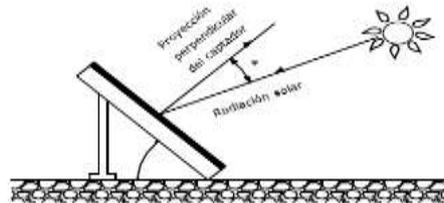


Figura 2.24: Ángulo de incidencia.

Fuente: (Tobajas Vázquez, 2012).

Declinación solar: representa al ángulo que forma la Tierra - Sol y el plano del Ecuador al medio día solar. En la Figura 2.3 se observa la variación de la declinación a lo largo del año entre $+23^{\circ}27'$ (solsticio de junio) y $-23^{\circ}27'$ (solsticio de enero), donde para cada día del año tiene un valor único. (Jutglar, 2004).

3 CAPÍTULO III

3.1 MARCO METODOLÓGICO.

3.1.1 INVESTIGACIÓN Y RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

En el presente trabajo se realiza diferentes consultas bibliográficas donde se recolecta y analiza información acerca de la normativa empleada para el cálculo de la eficiencia en artículos científicos, revistas, sitios web, libros entre otros materiales bibliográficos; con el propósito de conocer los parámetros que influyen en el cálculo de la eficiencia de un colector solar plano se desarrolla un estudio de la normativa de diferentes países; llegando así a determinar parámetros importantes como: el dimensionamiento, tipos de montaje, selección de materiales, orientación e inclinación de un panel solar placa plana para agua caliente de uso sanitario.

3.2 ANÁLISIS DE NORMATIVA PARA EL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA.

A nivel mundial existe normativas para las instalaciones solares térmicas que regulan su construcción, instalación y eficiencia; se clasifican en normas: ISO (Organismo Internacional de Normalización), UNE-EN (Normas Europeas adoptadas y ratificadas como normas españolas), UNE ISO (transcripción a norma europea de una norma Internacional ISO). (Blanch, 2012).(Blanch, 2013).

A nivel europeo el Reglamento de Instalaciones Técnicas en los Edificios (RITE) y el Código Técnico de la Edificación (CTE), existen diferentes requisitos sobre eficiencia energética, requisitos básicos de funcionalidad y construcción; en búsqueda de la eficiencia energética y el uso de las energías renovables con fines térmicos y eléctricos.(Blanch, 2013).

Actualmente nuestro país no cuenta con una normativa propia sobre la determinación de la eficiencia de los paneles solares térmicos planos. Por lo que mientras se constituye un Organismo ecuatoriano acreditado, se han adoptado normas internacionales; aclarando que estas normas no están adaptadas a las condiciones de nuestro territorio de modo que no se garantiza la funcionalidad. (NTE INEN, 2014) (MIDUVI, 2012).

Por este motivo se ha realizado un análisis de las diferentes normativas con el fin de generar una propuesta de normativa que permita determinar la eficiencia en los colectores solares planos en nuestro país.

3.2.1 NORMATIVA COLOMBIANA.

En la Tabla 3.1 se describe las diferentes normas de Colombia.

Nº Norma.	Colombia. NTC (normativa técnica colombiana)
NTC 4368 (1997)	Eficiencia energética. Sistemas de calentamiento de agua con energía solar y componentes.
NTC 5291 (2004)	Sistemas de calentamiento solar domestico de agua.
NTC 2461 (2006)	Colectores solares placa plana para calentamiento de agua de uso doméstico.

Tabla 3.1: Normativa colombiana.

Estas normas proveen procedimientos y requisitos estadísticos para evaluar el rendimiento térmico de los paneles solares. Establecen ensayos: de presión, mesclado de agua, pérdidas durante la noche, choque térmico, durabilidad, seguridad y desempeño de los componentes.(I. C. d. N. T. Y. C. ICONTEC, 1997).

Para determinar la eficiencia de un colector solar plano la normativa colombiana establece los siguientes parámetros:

Se debe conocer el área de captación, la cual se obtiene midiendo directamente del colector en m^2 o para el caso de diseño se calcula por medio de la Ecuación 3.1, que resulta de la relación entre la energía captada sobre el porcentaje de pérdidas por la energía suministrada. El porcentaje de pérdidas representa el valor que se asume que el colector solar será capaz de absorber de la energía incidente sobre su superficie.

$$A_c = \frac{Q_U}{\eta_a H_T}$$

Ecuación 3.1

Fuente:(I. C. d. N. T. Y. C. ICONTEC, 1997)

La Ecuación 3.2 detalla el cálculo de la energía captada o calor útil. Resultante del producto entre la cantidad de líquido de trabajo, tiempo de duración, calor específico del agua y la diferencia entre la temperatura de salida y entrada del fluido de trabajo en el colector.

$$Q_U = m_c * \eta_{días} * C_p (t_s - t_i)$$

Ecuación 3.2

Fuente:(I. C. d. N. T. Y. C. ICONTEC, 1997).

Para determinar la eficiencia del captador se parte de la relación entre la energía captada sobre la radiación incidente por el área de captación definida en la Ecuación 3.3.

$$\eta = \frac{Q_U}{A_c * I}$$

Ecuación 3.3

Fuente:(I. C. d. N. T. Y. C. ICONTEC, 1997).

Esta ecuación se ha puesto en práctica en trabajos realizados por (Burbano, Restrepo, & Sabogal, 2007) obteniendo un resultado de eficiencia del 38.6% en sus colectores solares planos. (I. C. d. N. T. y. C. ICONTEC, 2004).

3.2.2 NORMATIVA PERUANA.

En la Tabla 3.2 se detalla la normativa peruana aplicada a colectores solares planos.

Nº Norma.	Perú. NTP (normativa técnica peruana).
NTP 399.400(2001).	Colectores solares. Métodos de ensayo para determinar la eficiencia.
NTP399.404(2006)	Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar. Fundamentos para su dimensionamiento eficiente.
NTP 399.482 (2007)	Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar. Procedimiento para su instalación eficiente.
NTP 399.405 (2007)	Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar. Definición y pronóstico anual de su rendimiento mediante ensayos en exterior.
NTP 399.484 (2008)	Sistemas de calentamiento de agua con energía solar (SCAES). Límites y Etiquetado.

Tabla 3.2: Normativa peruana.

La normativa peruana se maneja parámetros y ensayos semejantes a las normas colombianas. Para determinar la eficiencia del equipo, se exige que al momento del ensayo el colector debe estar en posición estática y se debe tener cuidado que

no exista reflexión de radiación solar. Para el cálculo de la eficiencia se realizara en intervalos de tiempo iguales donde por lo menos se debe obtener 16 puntos para el grafico de la recta que representa a la eficiencia del colector..(INDECOPI, 2001).

Esta normativa para el cálculo de la eficiencia de un colector solar plano presenta los siguientes parámetros.

Conocer el valor de la eficiencia instantánea para cada periodo de tiempo del ensayo; para lo cual en su sección 9.5 muestra la Ecuación 3.4 la cual permitirá conocer este valor.

$$\eta = \frac{\int_{T_1}^{T_2} m_c * C_p * (t_s - t_i) dT}{A_c \int_{T_1}^{T_2} H_T dT}$$

Ecuación 3.4

Fuente:(INDECOPI, 2001).

Esta normativa presenta la Ecuación 3.5 para determinar la eficiencia de un colector solar plano. Donde se detallan valores predominantes de la ecuación como el factor de remoción de calor y el coeficiente general de pérdidas analizados en el capítulo I.(INDECOPI, 2001, p. 12)

$$\eta = \frac{Q_U}{A_c * H_T} = \left(\frac{A_a}{A_c}\right) F_r * (\alpha\tau) - U_l \left(\frac{t_s - t_a}{I}\right)$$

Ecuación 3.5

Fuente:(INDECOPI, 2001)

La Ecuación 3.5 representa a la curva de la eficiencia de un colector solar plano.

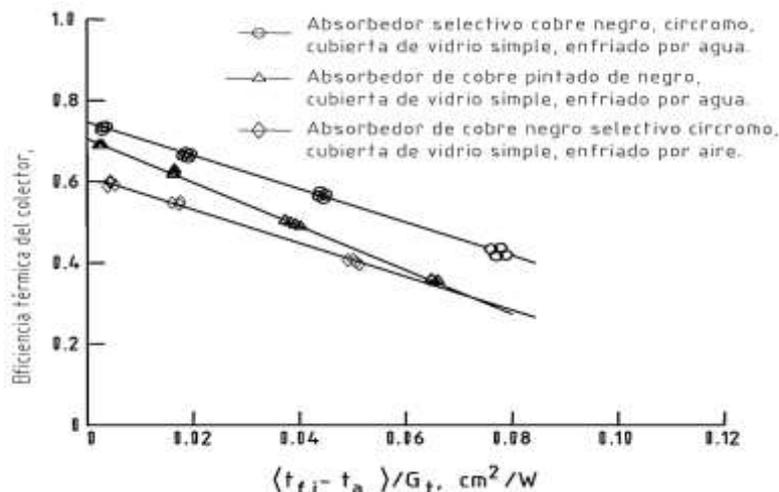


Figura 3.1: Ejemplos de curvas de eficiencia térmica.

Fuente: (INDECOPI, 2001).

Esta norma ha sido puesta en práctica donde se llega a tener una eficiencia del 55.7% en los colectores solares planos sin concentración. (Portugal, Tejada, Hanco, & Guía, 2011).

3.2.3 NORMATIVA INTERNACIONAL.

La Tabla 3.3 detalla normas internacionales utilizadas en colectores solares.

Nº Norma.	Normas Internacionales.
UNE-EN ISO 9806: 2013	Energía solar. Captadores solares térmicos. Métodos de ensayo.
ANSI/ASHRAE 93-2003	Métodos de Prueba para determinar el rendimiento térmico de colectores solares.
EN12975-2	Los sistemas solares térmicos y componentes - Colectores solares - Parte 2: Métodos de ensayo.
NORMEX:2010	Evaluación térmica de sistemas solares para calentamiento de agua- Método de prueba.

Tabla 3.3: Normativa internacionales.

- **ASHARE 93.**

La norma americana trata sobre procedimientos para una prueba de rendimiento en estado estacionario, tomando en cuenta condiciones como: la temperatura ambiente debe ser inferior a 30°C y la radiación incidente debe ser mayor a 790 W/m^2 . Para obtener la eficiencia del colector se aplica la Ecuación 3.6 similar a la Ecuación 3.5.

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c * I} = Fr * (\tau\alpha) - FrUL * \left(\frac{t_s - t_a}{I} \right)$$

Ecuación 3.6

Fuente: (Garnica, Lucchini, Stoll, & Barral, 2010)

El desarrollo de la ecuación da origen a la recta de la Figura 3.2, que representa la eficiencia de un colector solar plano.

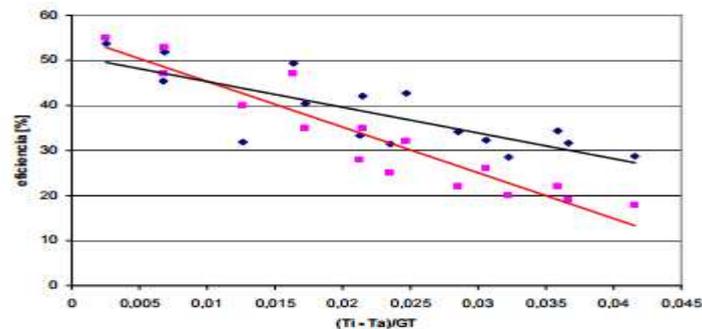


Figura 3.2: Curvas de eficiencia instantánea.

Fuente: (Garnica et al., 2010).

Esta norma recomienda que la curva se debe generar con valores tomados antes y después del mediodía solar (de 10:00 a las 14:00 aproximadamente).

- **ISO 9806:2013**

La norma internacional ISO 9806:2013 es una norma europea que reemplaza a la norma ISO 12975, esta norma es una de las más importantes; la cual toma como referencia a normas y papeles técnicos como:

- EN ISO 9488:1999 vocabulario de energía solar.
- ISO 9806-1:1994 e ISO 9806-2:1994
- ASHRAE 93-2003
- CAN-CSA-F378-87(R2004)-Colectores-2412326
- ASTM E905 - 87 (2007)
- SRCC OG 600

Papeles técnicos.

- Lüpfert, Paper_Standards_Oxaca-draft227
- Biggs,1979 / Duffie,1980 / Falcone and Kistler,1986 / Montes-Pita,2008
- Stine,2001 / Forristal,2003 / SAM,2009
- Eickhoff, 2002 / Fisher, 2004 / Perers, 1997. (SHC, 2012)

Esta norma define métodos de ensayo para captadores con cubierta y sin cubierta. Determinado rendimiento, fiabilidad, durabilidad y seguridad del colector solar; ya sea en condiciones simuladas o en condiciones climáticas variables. La cual no es aplicable a captadores en los cuales la unidad de almacenamiento este unida al captador y no sea posible separarlos con el propósito de realizar mediciones de estos dos procesos. (AENOR, 2014).

Los parámetros que propone esta normativa para la determinación de la eficiencia es:

Conocer el valor de potencia útil extraída para lo cual se aplicara la Ecuación 3.2; además se debe conocer la temperatura media del fluido, la cual se calculara por medio de Ecuación 3.7.

$$t_m = \frac{(t_f - t_i)}{2}$$

Ecuación 3.7

Fuente: (AENOR, 2014).

Finalmente para determinar la curva de eficiencia del panel solar plano se aplicara una ecuación de segundo orden que se obtendrá mediante la regresión de mínimos cuadrados teniendo cuidado de no utilizar una curva de segundo orden si se deduce para a_2 un valor negativo. Detallado en la Ecuación 3.8.

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{t_m - t_a}{I} - a_2 * I \left(\frac{t_m - t_a}{I} \right)^2$$

Ecuación 3.8

Fuente: (AENOR, 2014)

- **NORMEX.**

En México no existe una norma oficial; lo único que existe es una normativa voluntaria desarrollada por un comité técnico.

- NMX-ES-001-NORMEX-2005- Energía solar- Rendimiento térmico y funcionalidad de captadores solares para calentamiento de agua- Métodos de prueba y etiquetado.

- NMX-ES-002-NORMEX-2007- Energía solar- Definiciones y terminología.
- NMX-ES-003-NORMEX-2007- Energía solar- Requerimientos mínimos para la instalación de sistemas solares térmicos para calentamiento de agua.
- NMX-ES-004-NORMEX-2010- Energía solar- Evaluación térmica de sistemas solares para calentamiento de agua- Método de prueba. (Copper, 2017)

Estas normas están basadas en normas ASHRAE 93 y la norma ISO 9806 por lo que notable saber cuáles son los procedimientos para conocer la eficiencia del colector.(Garnica et al., 2010).

3.2.4 NORMATIVA ECUATORIANA.

Ecuador actualmente maneja normativas adoptadas oficialmente, normativas no oficiales y normativas en proceso de revisión.

	Nº Norma.	Normativa ecuatoriana.
NO OFICIALES	NEC 10	Normativa Ecuatoriana de la construcción. Sistemas de calentamiento de agua con energía solar para uso sanitario en el Ecuador.
OFICIALES.	NTE INEN 9459-2	Métodos de ensayo exteriores para la caracterización y predicción del rendimiento anual de los sistemas solares. (ISO 9459-2:1995, IDT)
EN REVISION	NTE INEN 2507: 2016-12	Rendimiento Térmico de Colectores Solares.

Tabla 3.4: Normativa ecuatoriana.

Las normas no oficiales son de uso obligatorio mientras que las normativas no oficiales son las que expresan recomendaciones de parámetros y procedimientos, pero no es obligatorio su aplicación y finalmente la normativa en proceso de revisión son normativas vigentes, pero en periodo de prueba con el fin de ver cuáles serán las consecuencias que tendrán sobre las organizaciones. Estas normas se detallan en la Tabla 3.4.

La norma **NTE INEN 2507: 2016-12** es la más actual hasta el momento donde presenta ensayos como:

Ensayo de presión estática inicial: el objeto debe verificar su resistencia y capacidad de soportar las presiones a las será sometido el colector.

Ensayo de exposición a la radiación solar: donde por lo menos debe ser expuesto durante 30 días a una radiación solar incidente.

Para el cálculo de la eficiencia esta normativa parte de la definición:

$$\eta = \frac{\text{Energía entregada por el colector.}}{\text{Energía incidente sobre el colector.}}$$

Ecuación 3.9.

Fuente: Fuente: (NTE INEN, 2016)

Dando origen a la Ecuación 3.10 similar a la Ecuación 3.5 planteada en la normativa peruana.

$$\eta = \frac{Q_U}{A_C * H_T} = \left(\frac{A_a}{A_C}\right) F_r * ((\alpha\tau) - U_l \frac{(t_f - t_a)}{I})$$

Ecuación 3.10

Fuente: (NTE INEN, 2016)

La ecuación anterior da origen a la curva de eficiencia de un colector sola plano detallado en Figura 3.3.

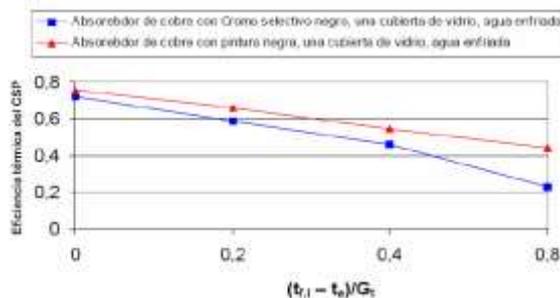


Figura 3.3: Curva de eficiencia de un colector solar plano.

Fuente: (NTE INEN, 2016).

Esta normativa además hace mención a requisitos como:

- El dimensionamiento del volumen de agua de consumo se debe tomar como regla un promedio por persona de aproximadamente 50 litros de agua por persona a 50 °C, por día. (NTE INEN, 2016).
- Aportar diariamente la carga promedio diaria a la temperatura para la que ha sido diseñada. (NTE INEN, 2016).
- Para el rendimiento térmico, el colector debe estar sometido al ensayo 20 de la ISO 9806, donde el colector no debe presentar: fugas, deformaciones, rotura o cualquier anomalía que reduzca la vida útil o rendimiento del colector. (NTE INEN, 2016)

La **NEC 10** normativa no oficial; en su apartado 14-1 establece requisitos de fabricación, ensayo de homologación e instalación que deben cumplir los sistemas solares térmicos menores a 100 °C. En cuanto al dimensionamiento se debe tomar en cuenta aspectos como: demanda de la energía térmica, energía solar aportada, fracciones solares mensuales y anuales. (MIDUVI, 2012).

Esta normativa en su sección 19 muestra la Ecuación 3.6 para el cálculo de la eficiencia de un colector solar plano. Donde los parámetros se determinan a partir de curva de eficiencia obtenida de acuerdo a la norma ISO 9806.(MIDUVI, 2012).

Esta normativa proporciona una tabla de valores típicos sobre colectores solares planos detallada en Tabla 3.5.

TIPO COLECTOR	RANGO T °C	$F_R(\alpha)_n$	$F_R U_L$ W/m ² °C
Sin cubierta	10-40	0,9	15-25
Cubierta simple	10-60	0,8	7
Cubierta doble	10-80	0,65	5
Superficie selectiva	10-80	0,8	5
Tubos de vacío	10-130	0,7	2

Tabla 3.5: Valores típicos de parámetros de un colector.

Fuente: (MIDUVI, 2012)

Esta norma recomienda que el coeficiente global de pérdidas referido a la curva de rendimiento en función de la temperatura ambiente y la temperatura de entrada; no debe ser mayor a $8 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$.(MIDUVI, 2012).

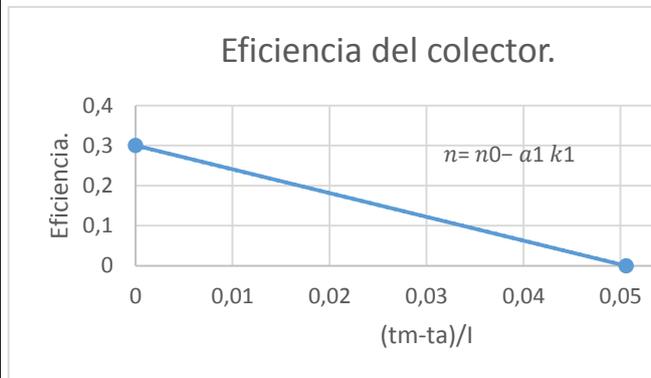
La **NTE INEN 9459-2** es una normativa oficial misma que es una traducción idéntica de la norma internacional ISO 9459-2:1995 la cual ha sido desarrollada para facilitar la comparación de sistemas solares de calentamiento de agua de uso sanitario, mediante un ensayo de rendimiento bajo el procedimiento conocido como “caja negra”, que sirve para predecir el rendimiento anual del sistema mas no para la determinación de algún tipo de “**eficiencia**”. (NTE INEN, 2014).

3.3 CUADRO RESUMEN DE LAS DIFERENTE NORMATIVAS ACERCA DEL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA.

Norma de referencia:	Parámetro:
Área de captación.	
<ul style="list-style-type: none"> • NTC. (Norma Técnica Colombiana). • UNE EN ISO 9806. 	Dimensionamiento del área de captación: $A_c = \frac{Q_U}{\eta * G_t}$
Eficiencia instantánea.	
<ul style="list-style-type: none"> • NTC. (Norma Técnica Colombiana). • NTP. Norma Técnica Peruana. • NTE INEN 2507 2016-12. 	$\eta = \frac{Q_U}{A_c * I}$ $Q_u = m_c * C_p * (t_f - t_i)$ Eficiencia instantanea $\eta = \frac{m * C_p * (t_s - t_i)}{A_c * I}$ Todo esto en un determinado intervalo Generando los puntos de la recta.

Curva de la eficiencia instantánea.

- NEC 10.
- Energía Solar Térmica.
(Cuervo, Méndez, & Bureau, 2010)
- UNE EN ISO 9806.
- NTE INEN 2507 2016-12.



Donde valores para:

$y = \text{eficiencia instantánea.}$

$$x = \left(\frac{t_m - t_a}{I} \right)$$

Dando origen a la ecuación:

$$\eta = \eta_0 - a_1 k_1$$

Donde :

$\eta_0 = \text{ordenada en el origen} = (F_r(\tau\alpha))$

$a_1 = \text{pendiente de la recta} = (F_r U_L)$.

$$k_1 = \left(\frac{t_m - t_a}{I} \right).$$

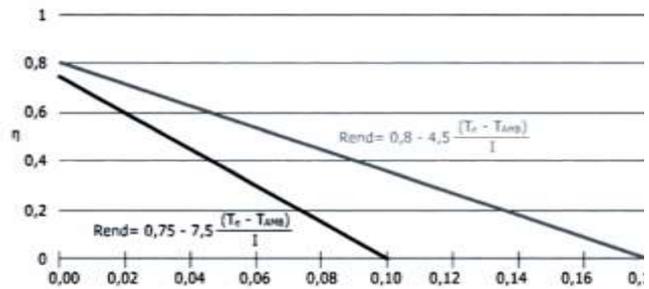
Valores característicos de factores gobernantes (F_r) ($\tau\alpha$) y (U_L).

- NEC 10.
- Energía Solar Térmica.
(Cuervo et al., 2010)

TIPO COLECTOR	RANGO T °C	$F_r(\tau\alpha)_n$	$F_r U_L$ W/m ² °C
Sin cubierta	10-40	0,9	15-25
Cubierta simple	10-60	0,8	7
Cubierta doble	10-80	0,65	5
Superficie selectiva	10-80	0,8	5
Tubos de vacío	10-130	0,7	2

Curva general de la eficiencia de un colector solar placa plana.

- UNE EN ISO 9806.
- NTE INEN 2507 2016-12.
- NTC. (Norma Técnica Colombiana).
- NTP. Norma Técnica Peruana.
- NEC 10.
- Energía Solar Térmica para instaladores. (Tobajas Vázquez, 2012)
- Energía Solar Térmica. (Cuervo et al., 2010)



$$\eta = \eta_0 - a_1 k_1$$

O

$$\eta = F_r(\tau\alpha) - F_r U_l * \left(\frac{t_m - t_a}{I} \right)$$

$F_r(\tau\alpha) = \eta_0 =$ Eficiencia óptica del colector.

$F_r U_l = a_1 =$ Coeficiente global de pérdidas térmicas.

Esta ecuación permitirá conocer la eficiencia del colector solar plano en cualquier condición.

Condiciones para los ensayos:

<ul style="list-style-type: none"> • Ashare 93. • UNE EN ISO 9806. • NTE INEN 2507 2016-12. • NEC 10 	<p>La irradiación solar debe ser mayor a 700 W/m².</p> <p>Las mediciones preferentemente deben hacerse en un día despejado de 10:00 am a 14:00pm.</p> <p>Se realizara por lo menos cuatro mediciones con un periodo mínimo de 10 minutos por medición. Estas deben realizar dos antes del mediodía solar y dos después del mismo.</p> <p>La inclinación del colector de estar entre los 5° y 10°. Una inclinación de 0° acumularía suciedad.</p> <p>Orientación debe estar directamente hacia la línea ecuatorial.</p>
--	---

Tabla 3.6: Cuadro comparativo de las diferentes normas.

3.3.1 CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL COLECTOR SOLAR TÉRMICO.

Se procedió a la construcción del colector solar plano con la ayuda de la maquinaria necesaria en la misma que se realizó el doblado de partes como: el marco y absorbedor; trabajos de soldadura en la parrilla de tubos, que posteriormente se realizó un ensamblaje con las partes faltantes del conjunto como el vidrio, base del colector y aislante.

3.3.2 PROPUESTA DE NORMATIVA PARA EL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA.

Una vez analizados los parámetros necesarios para el cálculo de la eficiencia de un colector solar plano se realizó una propuesta de normativa, la cual contiene un procedimiento para determinar la eficiencia.

Para poner en práctica esta propuesta se realiza ensayos de donde se obtuvo medidas de temperatura entrada y salida del agua, radiación, inclinación, y orientación, que posteriormente se las emplea para el cálculo de la eficiencia de los colectores planos.

3.3.3 RESULTADOS FINALES DE LA PROPUESTA DE NORMATIVA.

Puesta en práctica la propuesta de normativa y con los resultados obtenidos, se obtuvo una percepción más clara sobre la construcción, montaje y cálculo de la eficiencia de los colectores solares planos; estableciendo estas condiciones se obtiene un parámetro para comparar más amplio para la aplicación de este tipo de tecnologías en el bienestar de nuestra localidad.

3.4 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.

- **Método deductivo:** Este método nos ayudó debido a que se partió de principios ya conocidos y así llegar a en determinar los tipos de paneles y principales parámetros para la construcción.
- **Método analítico:** este método consiste en el análisis de las partes de un todo, el mismo que nos permitió investigar de forma individual cada una de las partes que constituyen el panel solar térmico; y analizarlas para llegar a conclusiones detalladas.
- **Método matemático:** nos ayudó a procesar, analizar e interpretar cada uno de los resultados obtenidos para la investigación.
- **Técnicas e instrumentos de investigación:** debido a su amplia gama de técnicas e instrumentos se puso en práctica la técnica documental la cual permitió recopilación de información que sustentara la investigación; además de utilizar la técnica de campo la misma que aprobó la observación en contacto directo con el objeto de estudio.

4 CAPÍTULO IV

4.1 PROPUESTA DE NORMATIVA PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA EN UN COLECTOR SOLAR PLANO.

Se realizó un compendio de las diferentes ecuaciones que nos permitirán determinar la eficiencia de un panel solar plano para ACS, en las que se involucrara los principales factores energéticos, características constructivas y materiales.

4.2 PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA.

La eficiencia de un colector solar plano parte de la relación entre la energía captada sobre la energía suministrada.

$$\eta = \frac{\text{energía que se capta}}{\text{energía suministrada}} = \frac{Q_U}{A_C * H_T}$$

Ecuación 4.1

Fuente:(NTE INEN, 2016).

Donde: $Q_U = \text{energía captada por el fluido, KJ.}$

$A_C = \text{área de captación, m}^2.$

$H_T = \text{irradiación solar sobre una superficie captación, } \frac{\text{KWh}}{\text{m}^2 \text{ día}}$

4.2.1 CÁLCULO DE LA ENERGÍA CAPTADA POR FLUIDO.

Para determinar la energía captada por el fluido desde su temperatura inicial hasta una temperatura final; se aplica la Ecuación 4.2.

$$Q_u = v * \rho * C_p * (t_s - t_i)$$

Ecuación 4.2

Fuente: (Peralta, 2008).

Donde:

v = volumen de agua, litros.

ρ = densidad del agua, $1 \frac{Kg}{litro}$.

C_p = calor específico del agua, $4.18 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ C}$.

t_s = temperatura de salida del agua, $^\circ C$.

t_i = temperatura de entrada del agua, $^\circ C$.

4.2.2 VOLUMEN DEL AGUA DE CONSUMO.

Para conocer el volumen de consumo de ACS demandada se ha considerado según lo definido por el (MIDUVI, 2012), tomar un número de 4 usuarios (número promedio de miembros de una familia ecuatoriana) con un valor de consumo promedio de 50 litros/persona/día a una temperatura de $55^\circ C$ o de 40 litros/persona/día a una temperatura de $60^\circ C$.

Para el caso de un cálculo más detallado, la demanda de consumo de ACS se calcula aplicando la Ecuación 4.3, para lo cual se requiere aplicar los valores de consumo de litros al día detallados en el Anexo 5.

$$\text{Agua de consumo} = \text{número de personas} \times \text{cantidad de litros al día.}$$

Ecuación 4.3

Fuente: (Cuervo, Méndez, & Bureau, 2010)

4.2.3 IRRADIACIÓN SOLAR SOBRE LA SUPERFICIE DE CAPTACIÓN.

La irradiancia (I) es la cantidad de energía que cae sobre la superficie de captación, expresada en $(\frac{W}{m^2})$, valor que se obtiene al medir con un piranómetro (descrito en el capítulo I). El promedio de la irradiancia a lo largo de un tiempo se la conoce como

irradiación, expresada en $\left(\frac{Wh}{m^2}\right)$; los valores de irradiancia para el Ecuador se detallan en el Anexo 1.

Para calcular el valor de la irradiación sobre una superficie inclinada (H_T) se aplica la Ecuación 4.4, donde \bar{H} representa la irradiación promedio mensual diaria sobre una superficie horizontal que multiplicada por el factor de la constante k_s tomado del Anexo 1, se obtiene el valor de la irradiación media mensual diaria sobre una superficie inclinada. Tomando en cuenta que el factor k_s varía según la latitud del lugar e inclinación del colector.

$$H_T = k_s * \bar{H}$$

Ecuación 4.4

Fuente: (MIDUVI, 2012).

La metodología de cálculo es la siguiente:

- Determinar la irradiación promedio mensual para cada uno de los meses del año en la zona de aplicación, en base al Anexo 1. Este valor también puede ser determinado de manera experimental con equipos de medición de irradiancia y obtener un factor de corrección de los valores definidos en el Anexo 1. Para la ciudad de Ibarra en el mes de Julio se alcanza un valor de irradiación equivalente a $4.89 \frac{Kwh}{m^2 \text{ día}}$.
- Determinar el factor k_s según el Anexo 1 en función de la latitud del lugar y la inclinación del panel solar. Para el caso de Ibarra si su latitud es 0.36 y la inclinación de nuestro colector es de 5 grados, el valor k_s es de 0.97 para el mes de Julio.
- Al aplicar la Ecuación 4.4, se establece H_T para el mes de Julio.

$$H_T = 0.97 * 4.89 \frac{KWh}{m^2 \text{ día}} = 4.74 \frac{KWh}{m^2 \text{ día}}$$

Ecuación 4.5

El valor de irradiación calculado anteriormente se lo puede calcular experimentalmente si se dispone de un piranómetro descrito en el capítulo I, obteniendo los valores de irradiancia (I), los mismos que se ingresa en la Tabla 4.1; valores que se tomaran en periodos iguales de tiempo a lo largo del día. La irradiación es la suma de los datos de irradiancia en dicho período de tiempo.

N	Hora.	Irradiancia (W/m^2)
1	7:00	100
2	8:00	226
3	9:00	402
4	10:00	548
5	11:00	741
6	12:00	800
7	13:00	700
8	14:00	550
9	15:00	405
10	16:00	215
11	17:00	125
	H_T	4812

$Wh/m^2 \cdot día$

Tabla 4.1: Cálculo de la irradiación solar diaria.

La Tabla 4.1 se representada gráficamente en la Figura 4.1; donde se observa que la irradiancia aumenta al acercarse al medio día y disminuye cuando se aleja del mismo.



Figura 4.1: Curva de la irradiancia.

Para obtener el valor de irradiancia promedio durante un día a partir de valores de irradiación mensuales detallados en el Anexo 1 se aplica la Ecuación 4.6; donde la irradiación mensual se divide para el número de horas que el sol produce calor en la zona de análisis, en el Ecuador existen 8 horas promedio de sol efectivas. (MIDUVI, 2012).

$$Irradiancia = Irradiación\ mensual \frac{KWh}{m^2\ día} * \frac{día}{\# horas}$$

Ecuación 4.6

Para calcular el valor de irradiancia mensual para la ciudad de Ibarra a lo largo de un año se parte de valores de irradiación promedios mensuales (\bar{H}) que se obtienen del Anexo 1; al aplicar la Ecuación 4.6 se consigue los valores de la irradiancia promedio (\bar{I}) representados en la Tabla 4.2 y Figura 4.2 .

Mes.	$\bar{H} \left(\frac{KWh}{m^2\ día} \right)$	k_s	$H_T \left(\frac{KWh}{m^2\ día} \right)$	$\bar{I} \left(\frac{W}{m^2} \right)$
Enero	4,44	1,02	4,53	566
Febrero	4,42	1,01	4,46	558
Marzo	4,36	1	4,36	545
Abril	4,36	0,98	4,27	534

Mayo	4,58	0,97	4,44	555
Junio	4,36	0,96	4,19	523
Julio	4,89	0,97	4,74	593
Agosto	4,97	0,98	4,87	609
Septiembre	4,61	1	4,61	576
Octubre	4,72	1,01	4,77	596
Noviembre	4,50	1,02	4,59	574
Diciembre	4,50	1,02	4,59	574
Promedio:	4,56		4,54	567

Tabla 4.2: Valores de Irradiancia mensual para la ciudad de Ibarra.

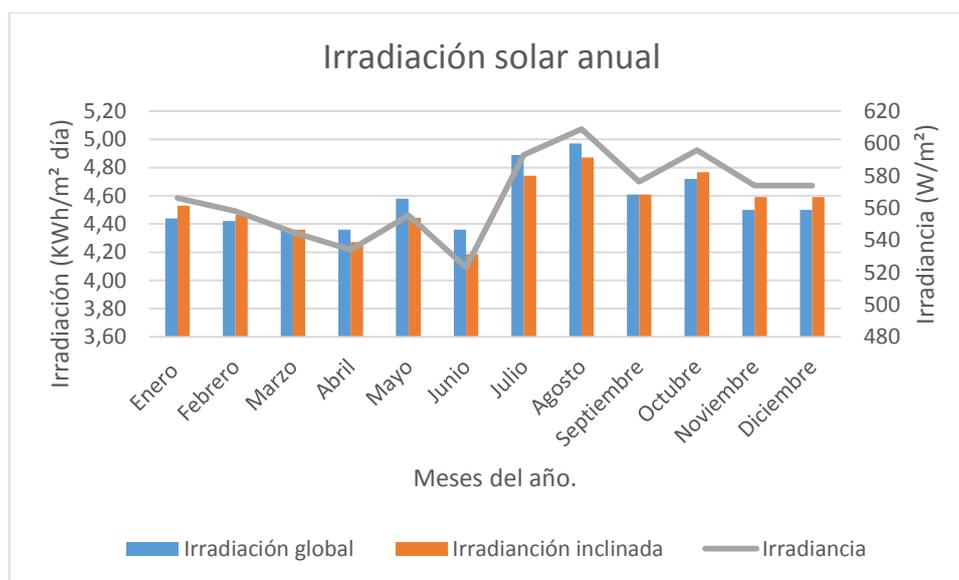


Figura 4.2: Irradiancia promedio mensual a lo largo del año.

Donde se observa que el mayor valor de irradiancia es para el mes de Julio y Agosto; mientras que los meses de Marzo y Abril ocurre todo lo contrario.

4.2.4 ÁREA DE CAPTACIÓN.

Son las dimensiones que tiene nuestro colector solar en m^2 , que para el caso de un panel del tipo plano, el área se obtiene mediante la Ecuación 4.7 .

*Área de captación (m^2) = largo del colector * ancho del colector.*

Ecuación 4.7

4.3 CURVA DE LA EFICIENCIA DE UN COLECTOR SOLAR PLANO.

Para obtener la curva de eficiencia del colector solar que represente su comportamiento; se debe realizar un procedimiento experimental donde se calculara distintos valores de eficiencia a lo largo de un día en determinados periodos de tiempo, cada valor de eficiencia calculado se lo conoce como eficiencia instantánea η_{inst} .

En el procedimiento experimental se debe obtener un mínimo de cuatro valores de eficiencia instantánea, dos antes del mediodía solar y dos pasados el mediodía solar.

4.3.1 EFICIENCIA INSTANTÁNEA.

La eficiencia instantánea resulta de la relación entre el: volumen (litros), densidad ($\frac{Kg}{litros}$) y calor específico ($\frac{KJ}{Kg^{\circ}C}$) del fluido, multiplicado por la temperatura de entrada ($^{\circ}C$) menos la temperatura de salida ($^{\circ}C$) del fluido; sobre el área de captación (m^2) multiplicada por la irradiancia ($\frac{W}{m^2}$). Operación que se detalla en la Ecuación 4.8.

$$\eta_{inst} = \frac{v * \rho * C_p * (t_s - t_i)}{A_c * I}$$

Ecuación 4.8

Fuente: (Garnica, Lucchini, Stoll, & Barral, 2010).

Además es necesario conocer el valor de la temperatura media del fluido (t_m), valor que se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$t_m = \frac{t_i + t_s}{2}$$

Ecuación 4.9

Fuente: (Tobajas Vázquez, 2012).

Para el cálculo de la eficiencia instantánea se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Cada periodo de tiempo debe tener un mínimo 10 minutos.
- Es recomendable realizar los ensayos en un horario entre las 10:00 am y 14:00 pm; debido a que en ese horario se presentan los valores más altos de radiación.

4.3.2 GRÁFICA DE CURVA DE LA EFICIENCIA.

Para obtener la curva de eficiencia instantánea se debe registrar la información y datos técnicos básicos indicados en la Tabla 4.3 y los datos experimentales de la Tabla 4.4, que se complementan con el valor de transmitancia (τ) de la cubierta y absorbencia (α) del absorbedor obtenidos del Anexo 2.

Datos Técnicos.		Unidades.
Latitud del lugar.		Grados.
Acimut del captador.		Grados.
Ángulo de inclinación.		Grados.
Volumen de agua.		Litros.
Área de captación.		m^2 .
Transmitancia de la cubierta.		-
Absorbencia de la placa.		-
Hora de inicio.		hh:mm
Hora de finalización.		hh:mm

Tabla 4.3: Información técnica inicial.

La Tabla 4.4 se ingresa los datos experimentales obtenidos en cada periodo de tiempo: temperatura del agua a la entrada del colector (t_i), temperatura del agua en el acumulador (t_f), temperatura ambiente (t_a), velocidad del viento en ($\frac{m}{s}$), irradiancia (I) y temperatura del agua en el acumulador (t_{acum}); misma que se complementa con el cálculo de la temperatura media (t_m) mediante la Ecuación 4.9, eficiencia instantánea (η_{inst}) con la Ecuación 4.8 y del Anexo 2 se obtiene el valor de transmitancia del vidrio y emisividad del absorbedor.

Tiempo :	(t_i)	(t_s)	(t_a)	(t_m)	Viento. $(\frac{m}{s})$	Irradiancia (I)	$\frac{(t_m - t_a)}{\bar{I}}$	η_{inst}
1	t_{i1}	t_{s1}						
2	t_{s1}	t_{s2}						
3	t_{s2}	t_{s3}						
4	t_{s3}	t_{s4}						
....								

Tabla 4.4: Valores experimentales medidos.

En cada periodo de tiempo se genera un punto (x, y) , que se ajusta a una recta, donde la eficiencia instantánea η_{inst} representa el valor del punto en el eje de las ordenadas y la relación $\left(\frac{t_m - t_a}{\bar{I}}\right)$ representa el valor del punto en el eje de las abscisas, donde \bar{I} será el promedio entre la irradiancia del periodo de tiempo 1 y tiempo 2 y así sucesivamente. Figura 4.3.

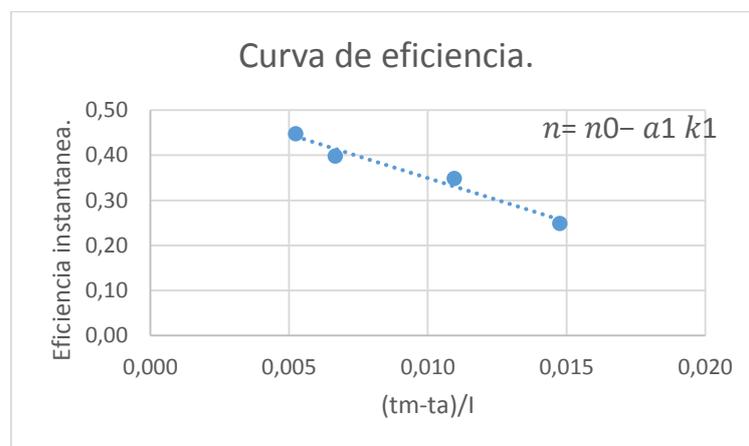


Figura 4.3: Curva de eficiencia.

Creando una recta de donde se adquiere su ecuación, la cual representa a la eficiencia tal como se muestra en la Ecuación 4.10.

$$\eta = \eta_0 - a_1 k_1$$

Ecuación 4.10

Donde las variables de la ecuación representan:

$$\eta_0 = \text{ordenada en el origen} = (F_r(\tau\alpha))$$

$$a_1 = \text{pendiente de la recta} = (F_r U_l).$$

$$k_1 = \text{incremento de temperatura} = \frac{t_m - t_a}{I}$$

Fuente: (NTE INEN, 2016).

Para calcular el factor de remoción de calor (F_r) se toma el valor de transmitancia (τ) de la cubierta y absorbencia (α) de la placa absorbidora de la Tabla 4.3 y con el valor de (η_0) de la Ecuación 4.10; remplazados en la siguiente expresión:

$$F_r = \frac{\eta_0}{\tau\alpha}$$

Ecuación 4.11

Fuente: (NTE INEN, 2016).

Conociendo el valor de (F_r), se remplaza en la Ecuación 4.12, obteniendo así el coeficiente general de pérdidas U_l .

$$U_l = \frac{F_r}{a_1}$$

Ecuación 4.12

Fuente: (NTE INEN, 2016).

Finalmente la Ecuación 4.10 quedando representada de la siguiente manera:

$$\eta = F_r(\tau\alpha) - F_r U_l * \left(\frac{t_m - t_a}{I} \right)$$

Ecuación 4.13

Fuente: (NTE INEN, 2016).

La FIGURA 4.4 representa gráficamente a las diferentes curvas de eficiencia que se pueden obtener dependiendo del tipo de colector.

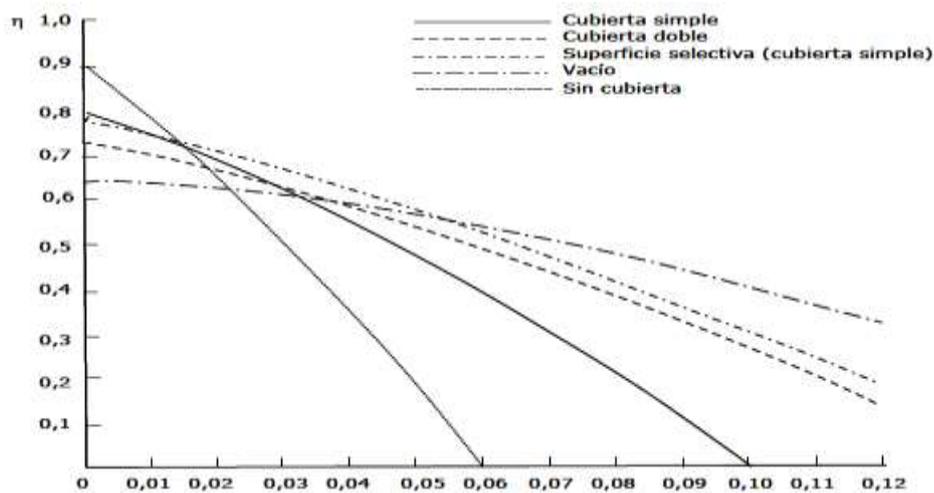


FIGURA 4.4: Curvas de eficiencia de diferentes captadores solares.

Fuente: (Tobajas Vázquez, 2012, p. 38)

4.4 RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE UN COLECTOR SOLAR PLANO.

- Localización de la zona de análisis.
- Toma de datos característicos del colector detallados en la Tabla 4.3.
- Toma de datos experimentales detallados en la Tabla 4.4.
- Gráfica de curva a partir con los datos obtenidos en los diferentes periodos de tiempo del procedimiento experimental tal como muestra la Figura 4.3.

- Determinar la ecuación de la eficiencia del colector a partir de la gráfica anterior.
- Con los valores obtenidos en la ecuación anterior se obtiene el factor de remoción de calor aplicando la Ecuación 4.11 y coeficiente general de perdidas aplicando la Ecuación 4.12.
- Finalmente estructurando la ecuación general de la eficiencia del colector en la forma de la Ecuación 4.13

Para la aplicación del procedimiento de la propuesta de normativa se construye dos tipos de colectores solares con diferentes tipos de materiales detallados en el Capítulo V y el cálculo de la eficiencia en el Capítulo VI.

4.5 SELECCIÓN DE MATERIALES Y CONSTRUCCIÓN DE LOS COLECTORES.

Con el propósito de poner en práctica la propuesta de normativa para el cálculo de la eficiencia; se construyó dos colectores solares con diferentes materiales; a los cuales se evaluó y determino la eficiencia.

4.5.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES.

La selección de los materiales para la construcción se lo realizó bajo los siguientes criterios.

- **Funcionalidad:** garantizar su funcionalidad al momento de calentar el agua.
- **Tiempo de vida:** tener un largo tiempo de vida útil con el propósito que el consumo de ACS, pague el costo del panel con el transcurso del tiempo.

- **Costo.** Generar un costo final bajo, para poder ser competitivo en el mercado.
- **Peso:** debe tener el menor peso posible, debido a que el dispositivo debe ser transportable.
- **Manufactura:** debe existir disponibilidad del material en el mercado.
- **Mantenimiento:** el equipo debe tener facilidad de limpieza a fin de evitar la asistencia técnica por largos periodos.
- **Montaje:** el equipo debe tener una facilidad de montaje con el fin de evitar posibles complicaciones al momento de ser instalado.

4.5.2 MODELO CAD DEL COLECTOR SOLAR.

En la Figura 4.5 se detalla el modelo CAD (diseño asistido por computadoras) de un colector solar plano.

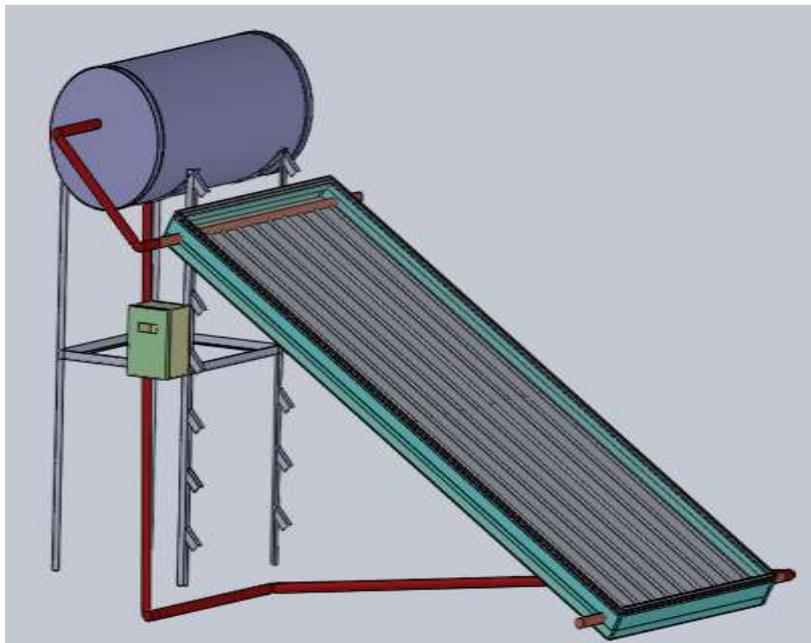


Figura 4.5: Panel solar térmico plano.

En la Tabla 4.5 se muestran los componentes que conforman un colector solar plano.

1. Carcaza.	2. Base.
3. Aislante.	4. Parrilla.
5. Absorbedor.	6. Vidrio.
7. Marco.	8. Acumulador.
9. Estructura de soporte	10. Caja de control.

Tabla 4.5 Componentes de un panel solar plano.

4.5.3 AISLAMIENTO:

La Tabla 4.6 se analiza las ventajas de dos tipos de aislantes; empleados en la construcción de colectores solares planos.

Espuma de Poliuretano.	Lana de vidrio.
<ul style="list-style-type: none"> • Es hidrófugo. . • Conductividad térmica de $0.029 \frac{W}{mK}$. • Resulta de la mezcla de dos componentes. • Vida útil de 50 años. • No necesita mantenimiento. • Peso específico de 0.04 gr/cm³. • Precio = 10 dólares x m². 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilidad a la humedad. • Conductividad térmica de $0.050 \frac{W}{mK}$. • Viene moldeado. • Vida útil de 30 a 80 años. • No necesita mantenimiento. • Peso específico de 40 a 80 Kg/m³. • Precio = 15 dólares x m².

Tabla 4.6: Comparación de aislamientos.

Luego de un análisis en Tabla 4.6, el material aislante estará constituido a base de espuma de poliuretano, principalmente por ser hidrófuga y que al fundirse presenta una gran rigidez, incrementando la estabilidad del colector.

4.5.4 CARCASA:

En la

Tabla 4.7 se detalla las características de los materiales empleados para la construcción de la carcasa de un colector.

Canaletas de acero galvanizado. (ASTM A-653)	Perfiles de aluminio.
<ul style="list-style-type: none"> • Alta resistencia a la corrosión debido a su revestimiento de hierro y zinc. • Conductividad térmica de $48 \frac{W}{mK}$. • Resistencia mecánica de 310 Mpa. • Módulo de rigidez 11.5 Mpsi. • Elongación de 25% Mínima. • Vida útil de 5 a 20 años dependiendo de su recubrimiento. • Módulo de elasticidad de 30 Mpsi. • Peso específico de 7850 Kg/m³. • Precio = 1.53 dólares x Kg. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta resistencia a la corrosión. • Conductividad térmica de 209 W/mK. • Vida útil de 7.2×10^5 años. • Módulo de elasticidad de 10.4 Mpsi. • Módulo de rigidez 3.9 Mpsi. • Peso específico de 2700 Kg/m³. • Precio = 5 dólares x Kg.

Tabla 4.7: Ventajas del acero galvanizado y perfiles de aluminio.

Luego de un análisis de la

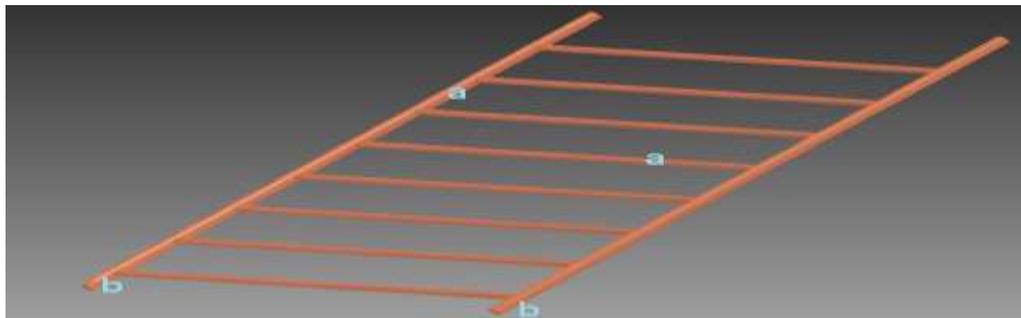
Tabla 4.7, el material que se emplea para la construcción de la carcasa será a base de acero tipo ASTM A-653. Componente que se fundirá junto al material aislante

dando como resultado una caja rígida que contendrá a todos los elementos del colector.

4.5.5 ABSORBEDOR:

Para cumplir con uno de los objetivos de esta investigación; se construye dos tipos de absorbedores los cuales estarán constituidos por los mismos materiales excepto en la tubería que conduce el fluido.

La configuración de la parrilla de ambos modelos estará conformada por dos tuberías principales (*a*) que serán las encargadas de entregar y recoger el agua, las cuales estarán unidas a tuberías transversales (*b*) donde se producirá el intercambio de calor; detallado gráficamente en la Figura 4.6.



(a) Red de conductos transversal (b) red de conductos principal.

Figura 4.6: Parrilla del colector.

Parrilla con tubería cobre: este elemento estará constituido por tubería de cobre tipo M, debido a que posee una pared más delgada con respecto a otras tuberías del mismo material, facilitando la transferencia de calor además el cobre presenta las siguientes características.

- Alto coeficiente de transferencia de calor.

- Alta resistencia a la corrosión y a los rayos ultravioletas.
- Pequeñas pérdidas interiores debido a que su superficie interior lisa.
- Gran elasticidad por lo que puede soportar elevadas presiones interiores y altas temperaturas sin fundirse.
- Bajo coeficiente de dilatación, tanto lineal como transversal, garantizando la estabilidad de las instalaciones.
- El cobre permanece inalterable con el paso del tiempo y es reciclable

Parrilla con tubería PVC (Poli cloruro de vinilo): Es un material que se usa en las líneas de desechos sanitarios, tuberías de ventilación y trampas de desagüe; para lo cual la segunda parrilla estará conformada por este material, el cual presenta propiedades como:

- Resistencia a la corrosión
- Superficie interior lisa, por lo que existe una pérdida de carga de flujo mínima.
- Las propiedades físicas del PVC no se ven afectadas por el ambiente.
- Vida útil de 15 años y reciclable hasta 7 ciclos.

Cada parrilla estar unida a una plancha de aluminio liso AA 1200 H-14 con un espesor 0,018 in, el mismo que contiene un 99% de pureza de aluminio.; material seleccionado debido a su alto coeficiente de conductividad térmica y bajo costo, que si se compara con una plancha de cobre la diferencia principal radica en el costo por ser esta más elevada; la plancha seleccionada se someterá a un proceso de troquelado dando forma a las aletas (ver Figura 4.7) con la intención de incrementar el área de contacto.

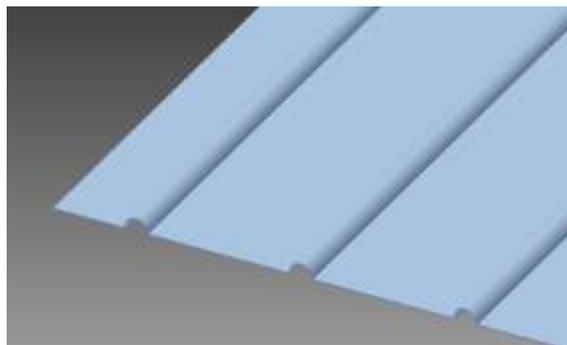


Figura 4.7: Absorbedor en forma de aletas.

Con el objetivo de reducir la emisión de radiación infrarroja y aumentar la absorción de irradiancia solar, la placa absorbedora se aplicará una capa de pintura negro mate.

4.5.6 CUBIERTA TRANSPARENTE:

La superficie transparente da lugar al efecto invernadero para lo cual en la Tabla 4.8 se analiza dos tipos de materiales utilizados para este propósito.

VIDRIO TEMPLADO	VIDRIO COMÚN MONOLÍTICO.
<ul style="list-style-type: none"> • Mayor seguridad debido que al romperse crea pedazos más pequeños no filosos. • Solo son fabricados a medida. • Costo es de 70 dólares x m². 	<ul style="list-style-type: none"> • Son peligrosos al momento de romperse. • Se lo puede cortar de cualquier medida. • Costo es de 7.5 dólares x m².

Tabla 4.8: Cuadro comparativo de vidrios.

Analizando la *Tabla 4.8* el material que se utiliza para nuestro colector, será *vidrio monolítico* debido a ventajas principalmente como el costo y facilidad de trabajos a medida. El vidrio estará montado sobre la carcasa rodeado por un *burlete de goma* con el propósito de ayudar a absorber la expansión del vidrio producida por la radiación incidente.

El vidrio estará cubierto por un marco de acero tipo ASTM A-653, evitando el desplazamiento del vidrio.

4.5.7 FLUIDO DE TRABAJO.

El fluido de trabajo utilizado en nuestro sistema es el agua. Esto se debe a que es un sistema de transferencia directa tipo termosifón que producirá ACS.

4.6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS COLECTORES.

4.6.1 COLECTOR SOLAR.

Los dos colectores poseen similares características; excepto en la constitución del material de la parrilla detallados en la Tabla 4.10; todo esto se realizara con el propósito de comparar la eficiencia final obtenida de estos dos colectores.

Elemento:	Modelo A.	Modelo B.
Carcaza.	Acero galvanizado.	Acero galvanizado.
Cubierta.	Vidrio.	Vidrio.
Absorbedor.	Aluminio.	Aluminio.
Aislamiento.	Poliuretano.	Poliuretano.
Parrilla.	Cobre.	PVC.
Revestimiento.	Negro mate.	Negro mate.

Tabla 4.9. Comparación de materiales de los modelos.

4.6.2 TANQUE ACUMULADOR.

En la Tabla 4.10 se muestra las características del acumulador que se utilizara.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

Volumen del tanque interno.	90 litros.
Material del tanque.	Acero galvanizado.
Material de aislamiento.	Lana de vidrio. Espuma de poliestireno.
Espesor total del aislamiento.	10 cm.
Material protector externo.	Acero tipo ASTM A-653

Tabla 4.10: Especificaciones técnicas del acumulador.

4.7 CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LOS PANELES.

En la Tabla 4.11 se detalla en proceso de construcción y montaje del panel solar.

Carcasa de soporte.



- **Descripción:**

De una plancha de acero galvanizado se extraen pedazos de material, los cuales posteriormente son doblados y unidas mediante remaches; dando forma al marco de soporte del colector.

Absorbedor.**Descripción:**

A la plancha seleccionada es sometida a un proceso de troquelado con el propósito de dar forma al aleteado. El radio de las aletas será el mismo de la tubería de la parrilla.

Parrilla de cobre.**Descripción:**

Para la construcción de esta parrilla se corta 2 tubos principales, los cuales se los perfora para unirlos a los tubos transversales. Todos los tubos se unirán mediante soldadura.

Parrilla de PVC.



Descripción:

La tubería de PVC es cortada y unida mediante pegamentos y accesorios, dando forma a la parrilla que contendrá el ACS.

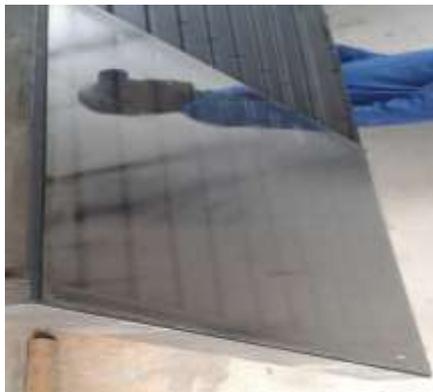
Aislamiento.



Descripción:

Para obtener el aislante de poliuretano se mezclan dos componentes que al reaccionar químicamente se funden con la carcasa.

Cubierta transparente.



Descripción:

Se coloca un vidrio el cual estará ubicado sobre la carcasa del colector.

Ensamble del colector.



Descripción:

Al tener la carcasa del colector ya fundida con el poliuretano, se procede a la unión del absorbedor con la parrilla de cobre o parrilla de PVC; a la cual se coloca una capa de pintura negro mate. Estos elementos se colocan dentro de la carcasa; los cuales irán cubiertos por un vidrio. Para evitar la rotura del vidrio por efecto de expansión, se coloca burletes de goma, alrededor del mismo. Una vez colocado todo se monta el marco superior que mantendrá al vidrio en su lugar.



Acumulador de agua.



Descripción:

El tanque cumple la función de recolectar y acumular el agua caliente producida por el panel. Mismo que fue recubierto por una capa de espuma poliestireno, dos capas de lana de vidrio y finalmente por una plancha de acero. Aislando al tanque de la temperatura ambiente lo cual reduce las pérdidas de calor.

Estructura de soporte.



Descripción: La construcción del soporte para el panel solar y acumulador se lo realizó a base de perfiles de acero, mismos que suministrarán soporte al tanque acumulador, a la caja de control y al colector solar. En el soporte consta de patas soldadas en los ejes verticales, lo cual permite la realización de las pruebas del colector solar a diferentes ángulos de inclinación.

Sistema de tuberías.



Descripción: Para que el sistema pueda ser abastecido de agua, se realizó conexiones de entrada y salida de agua tanto de la red como del tanque, utilizando tubería PVC la cual permite el intercambio de agua entre el tanque y el colector solar. La tubería va recubierta por lana de vidrio; reduciendo en lo posible la pérdida de calor al exterior.

Caja de control.



Descripción: Es un gabinete con certificación ISO 9001:2008 y IEC 60529 se montaran el sistema de control, que constara de un dispositivo arduino el cual será el encargado de tomar las diferentes temperaturas medidas por los sensores y mostrar su valor en una pantalla LCD.

Instrumentos de medición.



Descripción: Para la toma de lectura de las variables necesarias para el cálculo de la eficiencia del panel solar, se utilizan aparatos especializados en cada variable ya sea de viento o temperatura. Los sensores una vez calibrados y mediante el controlador se logran visualizar en la pantalla LCD los diferentes valores de temperatura medidos en el panel solar plano.

Modelo A.

Modelo B.



Tabla 4.11: Montaje de los colectores.

5 CAPÍTULO V

5.1 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA APLICANDO LA PROPUESTA DE NORMATIVA.

5.1.1 COLECTOR CON PARRILLA DE COBRE

El cálculo de la eficiencia de este tipo de colector se lo realiza en la ciudad de Ibarra, el 04 de Noviembre del 2017; siguiendo el procedimiento de la sección 4.3 donde se genera la Tabla 4.3 y Tabla 4.4.

Datos Técnicos.		Unidades.
Latitud del lugar.	0.36	Grados.
Acimut del captador.	0	Grados.
Ángulo de inclinación.	5	Grados.
Volumen de agua.	90	Litros.
Área de captación.	2	m^2 .
Transmitancia de la cubierta.	0.88	-
Absorbencia de la placa (recubrimiento negro mate)	0.93	-
Hora de inicio.	10:00	am
Hora de finalización.	14:00	pm

Tabla 5.1: Datos característicos del colector.

Tiempo:	(t_i)	(t_s)	(t_a)	(t_m)	Viento. $(\frac{m}{s})$	(I)	(\bar{I})	$\frac{(t_m - t_a)}{\bar{I}}$	η_{inst}
10:00	22	22	22	22	1	1000	-	-	-
11:00	22	35	22	29	2	1046	1023	0,006	0.66
12:00	35	45	22	40	2,2	1035	1040	0,017	0.50
13:00	45	47	22	46	2	759	897	0,032	0.12
14:00	47	48	21	48	1	404	581	0,066	0.09

Tabla 5.2: Valores experimentales tomados del colector.

Gráfica de la curva de eficiencia instantánea a partir de los datos obtenidos en la Tabla 4.4.

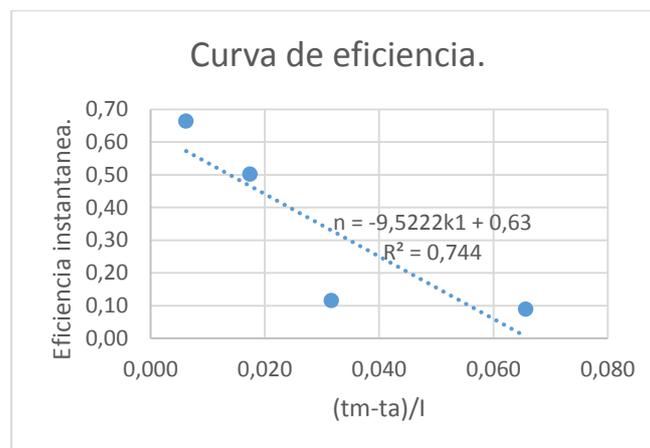


Figura 5.1 : Curva de eficiencia instantánea del colector A.

Ecuación de la curva a partir de la Figura 5.1

$$\eta = 0.63 - 9.52 k_1$$

Ecuación 5.1

De la Ecuación 5.1 se obtiene el valor de la eficiencia máxima del colector $\eta_0 = 0.63$; aplicando la Ecuación 4.11 y valores de la Tabla 5.1, se obtiene el factor de remoción de calor experimental.

$$F_r = \frac{0.63}{(0.88)(0.93)} = 0.76$$

Ecuación 5.2

Con el factor de remoción de calor; se aplica la Ecuación 4.12 para obtener el valor del coeficiente global de pérdidas experimental.

$$U_l = \frac{15.44}{0.76} = 12.36$$

Ecuación 5.3

Estos valores pueden ser calculados teóricamente al aplicar las ecuaciones planteadas en el literal 1.16 del Capítulo I, generando la Tabla 5.3 y Tabla 5.4.

Datos técnicos del colector.

Variable:	Valor:	Unidad:
Largo del colector.	2	m.
Ancho del colector.	1	m.
Altura del colector.	0.1	m.
Espesor de la lámina absorbente.	0.05	cm.
Distancia entre los tubos.	10	cm.
Diámetro exterior del tubo.	1.516	cm
Diámetro interior del tubo.	1.587	cm
Distancia entre el absorbedor y el vidrio.	0.05	cm.
Espesor del vidrio.	0.3	cm.
Transmitancia del vidrio.	0.88	-
Emitancia del vidrio.	0.85	-
Emitancia del absorbente.	0.97	-

Absorbencia del recubrimiento.	0.93	-
Conductividad térmica del absorbente.	220.	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Coefficiente de transferencia entre el tubo y el fluido.	1200.	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Calor específico del agua.	4186	$\frac{J}{Kg \cdot C}$
Conductividad térmica de la unión.	0.24	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Grosor del aislante.	0.05	m.
Conductividad térmica del aislante.	0.02	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Constante de Stefan Boltzman.	5.6697E-08	$\frac{W}{m^2 \cdot K^2}$

Tabla 5.3: Valores característicos del colector.

Tiempo:	t_i	t_s	t_a	t_m	Viento	(\bar{I})	F_r	U_l	$\left(\frac{t_m - t_a}{\bar{I}}\right)$	η_{inst}
10:00	22	22	22	22	2,2	-	-	-	-	-
11:00	22	35	22	29	2,2	102 3	0,8	5,3	0,01	0,64
12:00	35	45	22	40	2	104 0	0,76	5,77	0,02	0,55
13:00	45	47	22	46	1	897	0,44	5,98	0,03	0,29
14:00	47	48	21	48	2,2	581	0,28	6,03	0,05	0,17
Prome:							0,57	5,77		

Tabla 5.4: Valor teórico de la eficiencia del colector solar.

Con los valores obtenidos en la Tabla 5.4 se consigue la curva que representa a eficiencia teórica del colector.

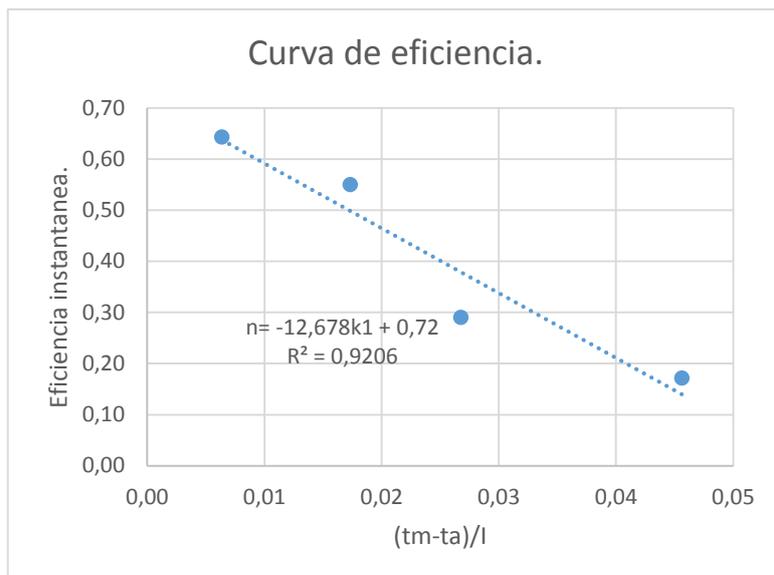


Figura 5.2: Curva de eficiencia teórica.

La Tabla 5.5 muestra los resultados teóricos y experimentalmente a partir de la Figura 5.2 y Figura 5.1:

Ecuación:		$F_r(\tau\alpha)$	$(FrUl)$	(Fr)	(Ul)
Experimental.	$\eta = 0.63 - 9.52 k_1$	0.63	9.52	0.76	12.36
Teórica.	$\eta = 0.72 - 12.67 k_1$	0.72	12.67	0.87	14.40

Tabla 5.5: Curvas de eficiencia.

Obteniendo como resultado de la Figura 5.1 y Figura 5.2 que la eficiencia del colector disminuye a medida que aumenta su temperatura; donde la eficiencia máxima teórica es del 72% y de 63% experimentalmente.

5.2 COLECTOR CON PARRILLA DE TUBOS DE PVC.

El cálculo de la eficiencia para este tipo de colector se lo realiza para tratar de disminuir los costos y ver cuáles son los resultados; para la determinación de la

eficiencia de este colector; el procedimiento se ejecuta en la ciudad de Ibarra, el 05 de noviembre del 2017. Generando la Tabla 5.6 y Tabla 5.7 a partir de los pasos detallados en la sección 4.3.

Datos Técnicos.	Unidades.	
Latitud del lugar.	0.36	Grados.
Acimut del captador.	0	Grados.
Ángulo de inclinación.	5	Grados.
Volumen de agua.	90	Litros.
Área de captación.	2	m ² .
Transmitancia de la cubierta.	0.88	-
Absorbencia de la placa.	0.93	-
Hora de inicio.	10:00	am
Hora de finalización.	14:00	pm

Tabla 5.6: Datos característicos del colector.

Tiempo:	t_i	t_s	t_a	t_m	Viento. ($\frac{m}{s}$)	I	$\left(\frac{t_m - t_a}{\bar{I}}\right)$	η_{inst}
10:00	19	19	21	19	1	1002	-	-
11:00	19	23	22	21	1	980	-0,001	0,21
12:00	23	26	22	25	2	1015	0,002	0,15
13:00	26	28	21	27	2	870	0,007	0,12
14:00	28	29	21	29	1	540	0,014	0,10

Tabla 5.7: Valores experimentales del colector.

Obteniendo la curva de eficiencia instantánea a partir de la Tabla 5.7.

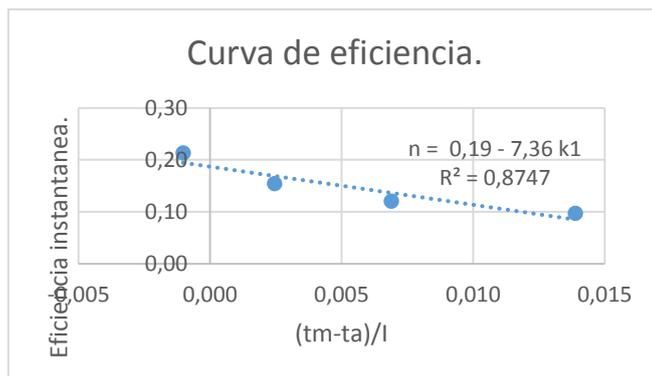


Figura 5.3 : Curva de eficiencia instantánea del colector.

Ecuación de la curva a partir de la Figura 5.3

$$\eta = 0.19 - 7,36 k_1$$

Ecuación 5.4

De la ecuación anterior se obtiene el valor de la eficiencia máxima del colector, donde $\eta_0 = 0.19$; se aplica la Ecuación 4.11 y valores de la Tabla 5.6, para obtener el factor de remoción de calor.

$$F_r = \frac{0.19}{(0.88)(0.93)} = 0.23$$

Con el factor de remoción de calor; se emplea la Ecuación 4.12 para obtener el valor del coeficiente global de pérdidas.

$$U_l = \frac{7,36}{0.23} = 31,70$$

En la Tabla 5.8 se detalla todos los parámetros característicos del colector B.

Ecuación:	$F_r(\tau\alpha)$	$(FrUl)$	(Fr)	(Ul)
$\eta = 0.19 - 7,36 k_1$	0.19	7,36	0,23	31,70

Tabla 5.8: Parámetros característicos del colector.

La curva de eficiencia del colector quedara representada gráficamente en la Figura 5.4

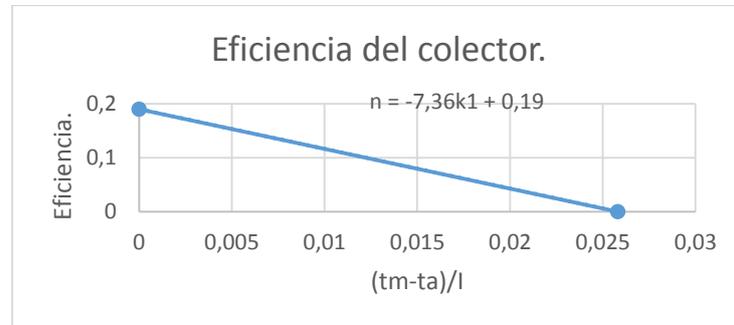


Figura 5.4: Curva característica de la eficiencia del colector.

Obteniendo como resultado que el colector con parrilla a base de tubos de PVC posee una curva de eficiencia menor en comparación al colector de cobre principalmente por la diferencia de coeficientes de transferencia de calor de los tubos, de igual manera se muestra que este colector disminuye su eficiencia a medida que aumenta la temperatura tal como se observa en la Figura 5.4, donde el equipo presenta una eficiencia máxima del 19%.

5.3 APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN OBTENIDA EN EL COLECTOR CON PARRILLA DE COBRE.

5.3.1 CÁLCULO DE LA TEMPERATURA DE SALIDA.

Para una vivienda ubicada en la ciudad de Ibarra, calcular la temperatura de salida para 90 litros de agua con las especificaciones detalladas en la Tabla 5.9 en el día 22 de noviembre del 2017 a una inclinación de 5 grados y orientación sur; en un horario de 9 am hasta las 17 pm.

COLECTOR CON TUBERÍA DE COBRE	Valores.
Ecuación:	$\eta = 0.63 - 9.52k_1$
Área de captación:	$2m^2$
Temperatura de entrada:	18 °C
Cantidad de agua.	90 litros.
Calor específico del agua.	$1.16 * 10^{-3} \frac{KWh}{Kg}$

Tabla 5.9: Datos iniciales colector.

La irradiancia se obtiene con mediciones a lo largo del día detallados en Tabla 5.10.

Hora:	Irradiación ($\frac{W}{m^2}$)	Temperatura Ambiente (°C)	Viento (m/s)
9:00	410	18	0,8
10:00	630	19	1,2
11:00	702	20	1,5
12:00	805	22	2,3
13:00	820	24	2,2
14:00	710	22	2,8
15:00	604	20	2,7
16:00	450	19	2,6
17:00	350	17	2,2
Prom:	609	20	2.2
Irradiancia	609	W/m^2	
Radiación Total:	4,87	$KWh/m^2 \text{ día}$	

Tabla 5.10: Parámetros a lo largo del día.

Para obtener el factor de eficiencia del colector, se aplica la ecuación presentada en la Tabla 5.9 para una temperatura de demanda de 60°C y una temperatura ambiente promedio de 20°C; detallada en la Tabla 5.10.

Eficiencia máxima.	Irradiación.	k_1 ($t_m - t_a$)	a_1	Eficiencia.
0,63	300	19	9,52	0,03
0,63	500	19	9,52	0,27
0,63	609	19	9,52	0,33
0,63	700	19	9,52	0,37
0,63	800	19	9,52	0,40
0,63	900	19	9,52	0,43
0,63	1000	19	9,52	0,45

Tabla 5.11: Eficiencia para diferentes condiciones.

- Con el valor de eficiencia detallado en la Tabla 5.11 para una radiación promedio de 609 ($\frac{W}{m^2}$); se aplica a la Ecuación 5.5 obtenida a partir de la Ecuación 4.8; calculando el valor de la temperatura final del agua en el acumulador:

$$t_s = \frac{A_c * H_T * \eta}{m_c * C_p} + t_e =$$

Ecuación 5.5

$$= \frac{2m^2 * 4.87 \text{ KWh}/m^2 \text{ día} * 0.33}{90kg * (1.16 * 10^{-3}) \text{ KWh}/Kg} + 18 = 48^\circ\text{C}.$$

- Valor que se comprueba experimentalmente al medir la temperatura de salida del acumulador; valor que se mide a lo largo del día generando la Tabla 5.12.

Hora:	Temperatura de Entrada (°C).	Temperatura de Salida (°C)
9:00	18	18
10:00	18	22
11:00	22	24
12:00	23	29
13:00	28	34
14:00	34	38
15:00	37	40
16:00	40	41
17:00	41	43

Tabla 5.12: Temperaturas medidas a lo largo del día.

De los resultados obtenidos de forma teórica y experimentalmente se concluye que los mismos poseen un error absoluto de 5°C (10,63%). Esta diferencia pudiera deberse a la variación de la velocidad del viento ya que para los cálculos teóricos se utiliza un valor promedio, mientras que experimentalmente el viento cambia constantemente.

5.3.2 ANÁLISIS DEL COLECTOR CON IRRADIACIÓN DE UN AÑO.

Con la intención de conocer cuál es el comportamiento del colector a lo largo del año; se toma las temperaturas promedio de salida para cada mes. Para lo cual se realiza el siguiente procedimiento:

- Se obtiene las condiciones de irradiación promedio mensual en una superficie inclinada (H_T) de la Tabla 4.2 y los valores de temperatura ambiente promedio

del Anexo 1; se calcula el valor de la eficiencia del colector a través de la ecuación detallada en la Tabla 5.9.

- Se aplica la Ecuación 5.5 y los valores de la Tabla 5.9 para obtener la temperatura salida promedio (\bar{t}_s) para cada mes del año.

Meses:	\bar{t}_a (°C)	\bar{I} ($\frac{W}{m^2}$)	η_0	a_1	k_1	η	\bar{t}_s (°C)
Enero	16,6	566	0,63	9,52	0,038	0,27	39,60
Febrero	17,1	558	0,63	9,52	0,038	0,26	39,68
Marzo	16,5	545	0,63	9,52	0,040	0,25	37,39
Abril	17,4	534	0,63	9,52	0,040	0,25	37,89
Mayo	16,7	555	0,63	9,52	0,039	0,26	38,73
Junio	16,9	523	0,63	9,52	0,041	0,24	35,97
Julio	17,6	593	0,63	9,52	0,036	0,29	43,92
Agosto	16,7	594	0,63	9,52	0,036	0,28	43,10
Septiembre	17	595	0,63	9,52	0,036	0,29	42,25
Octubre	16,9	596	0,63	9,52	0,036	0,29	42,99
Noviembre	16,8	597	0,63	9,52	0,036	0,29	41,90
Diciembre	16,4	598	0,63	9,52	0,036	0,28	41,28

Tabla 5.13: Temperatura de salida con valores promedios.

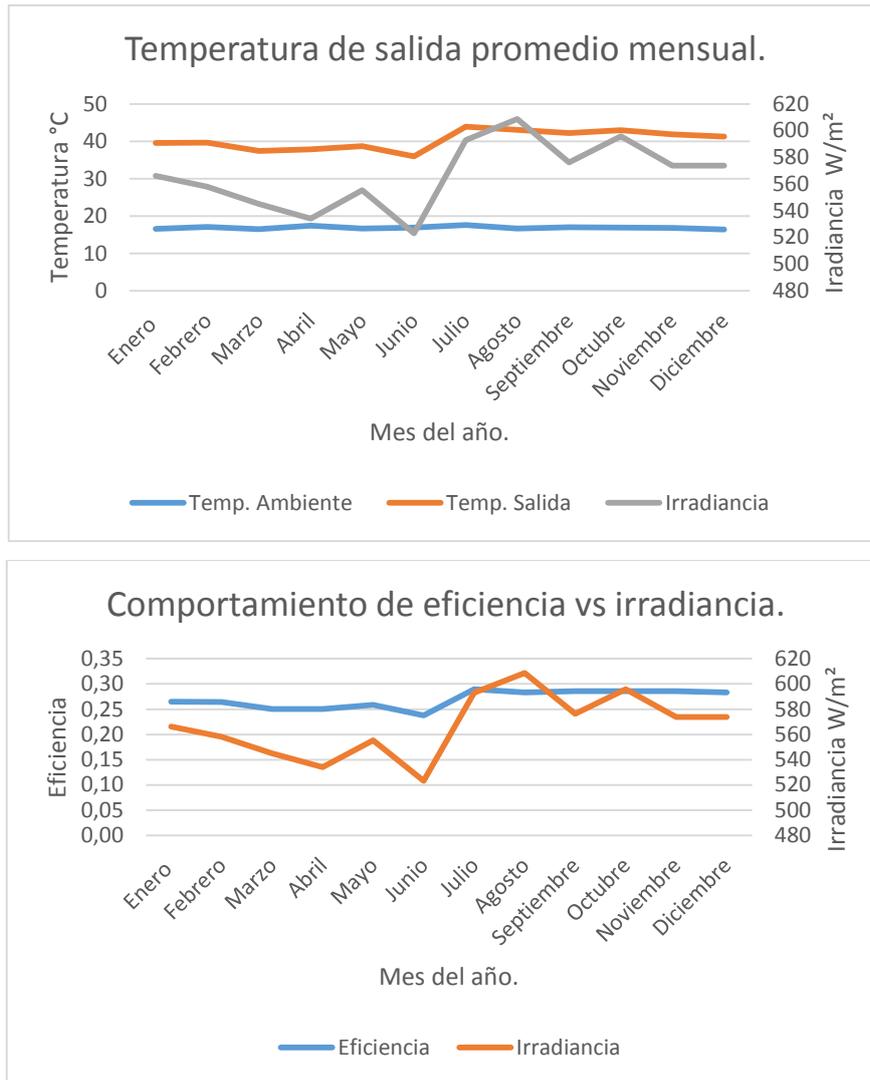


Figura 5.5: Comportamiento del colector a lo largo del año.

De la Tabla 5.13 y Figura 5.5 se concluye que los valores promedios más altos de ACS se obtendrán en los meses de Julio y Agosto; mientras que los valores promedios más bajos son en los meses de Marzo y Abril; esto sucede debido a la intensidad de la irradiancia que aumentan y disminuyen debido a la estación del año, afectando directamente al valor de eficiencia obtenido.

5.3.3 CÁLCULO DEL ÁREA DE CAPTACIÓN.

Si se desea calcular el área necesaria para obtener 90 litros de ACS; para las siguientes condiciones:

- Para una irradiación promedio de 619 W/m^2 .
- La localidad tiene 8 horas de sol efectivas.
- Temperatura de entrada del agua 18°C .
- Temperatura de salida del agua 60°C .
- Temperatura ambiente promedio 20°C .
- Cálculo del calor necesario para cumplir la demanda:

$$Q_u = 90 * (1.16 * 10^{-3}) * (60 - 18) = 4.38 \text{ KWh.}$$

- Cálculo del calor que recogerá el colector en un período de 8 horas:

Tomando valor de la eficiencia del colector para estas condiciones de la Tabla 5.11.

$$Q_c = 613 * 0.33 = 202 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 8 \text{ horas} = 1.6 \frac{\text{KWh}}{\text{m}^2}$$

- Área necesaria para cumplir la demanda:

$$A_c = \frac{4.38}{1.6} = 2.73 \text{ m}^2$$

5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Con las condiciones de la más alta eficiencia que se obtiene en la Tabla 5.4 se realiza el siguiente análisis al colector con parrilla de cobre:

Tiempo:	(t_i)	(t_f)	(t_a)	(t_m)	Viento. $(\frac{m}{s})$	(\bar{I})	$\frac{(t_m - t_a)}{\bar{I}}$	η_{inst}
11:00	22	35	22	29	2,2	1023	0,01	0,64

Tabla 5.14: Condiciones fijas de análisis.

En la Figura 5.6 se analiza cómo varía el valor de la eficiencia al cambiar el grosor del aislante (espuma de poliuretano) y el grosor del absorbente (aluminio), con las condiciones fijadas en la Tabla 5.14.

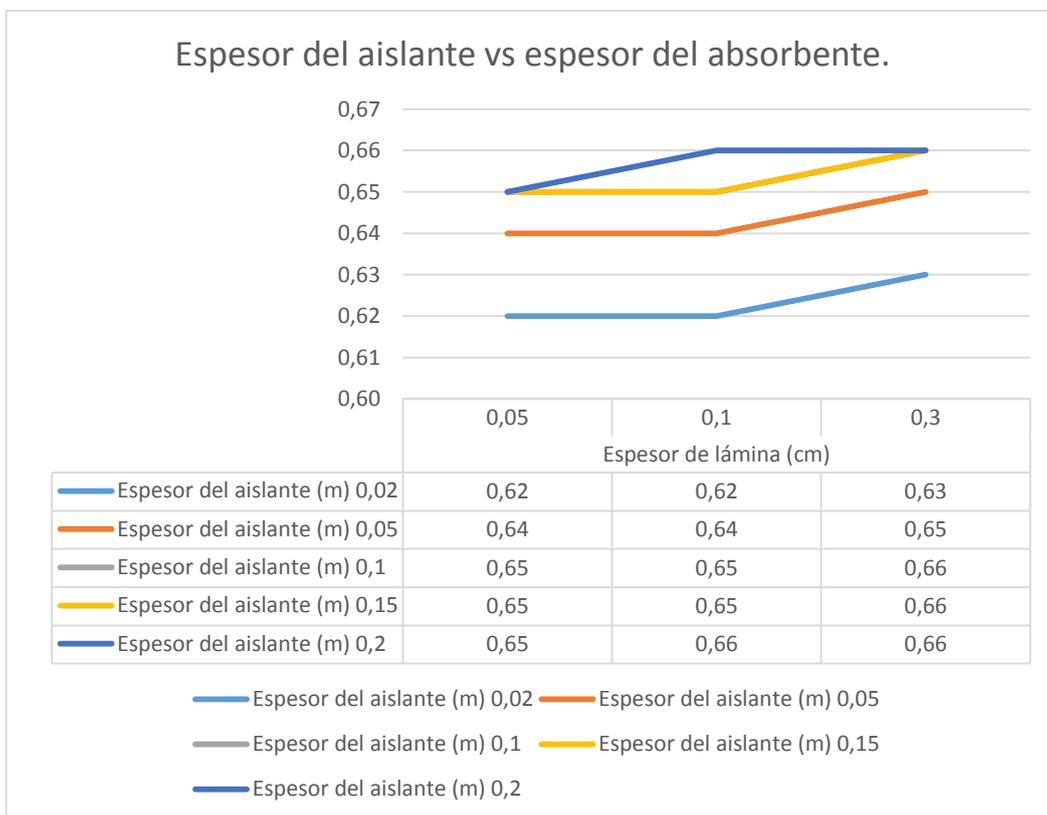


Figura 5.6: Espesor del aislante vs espesor del absorbedor.

Donde como mejor resultado se obtiene una eficiencia del 66% cuando el material aislante posea un espesor de 20 centímetros y una lámina de aluminio con un grosor de 1 milímetro. Valor de eficiencia similar que también se obtiene al tener un material aislante posea un espesor de 15 centímetros y una lámina de aluminio con grosor de 3 milímetros.

En la Figura 5.7 se analiza el comportamiento de la eficiencia del colector al variar la absorbencia (tipo de recubrimiento) y su transmitancia (tipo de vidrio), con las condiciones de la Tabla 5.14.

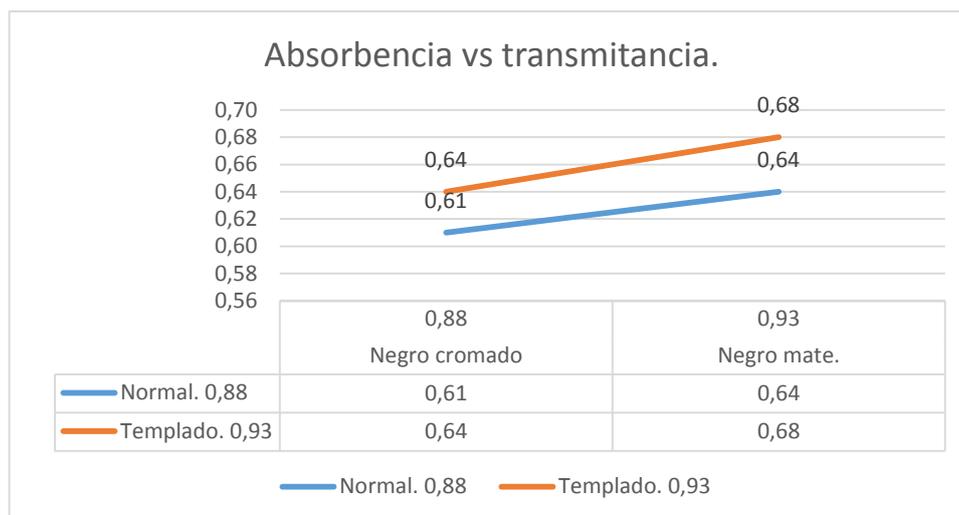


Figura 5.7: Absorbencia de la placa vs transmitancia de la cubierta.

De la Figura 5.7 como resultado se obtiene que el negro mate es recubrimiento más eficiente que junto a una cubierta de vidrio templado obtendrá una eficiencia del 68%; el mismo recubrimiento junto a un vidrio normal se obtiene una eficiencia del 64%.

En la Figura 5.8 se analiza el comportamiento de la eficiencia del colector al variar el material del absorbedor y grosor, con las condiciones de la Tabla 5.14.

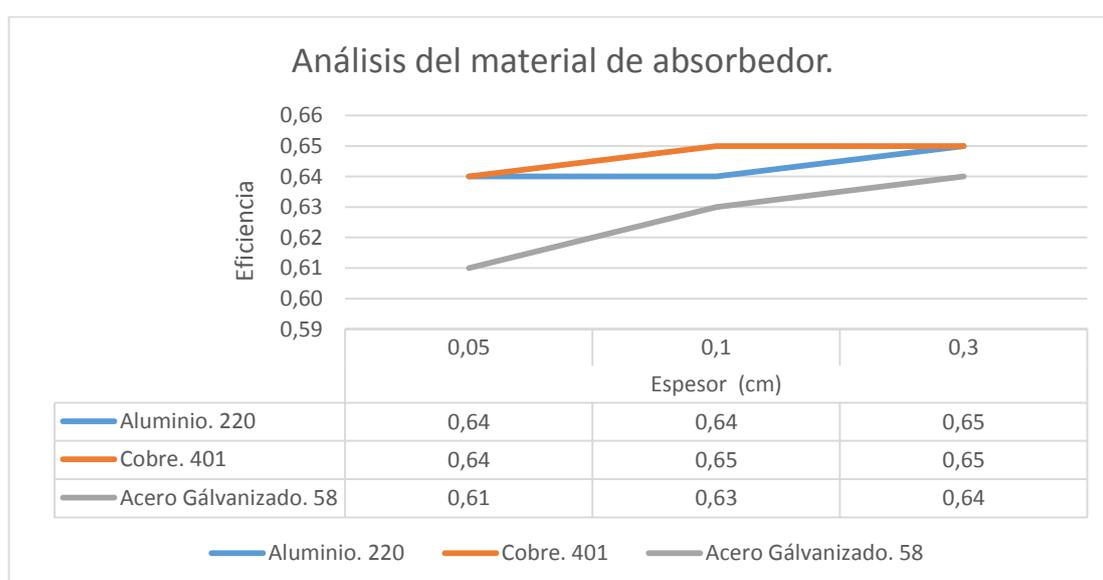


Figura 5.8: Variación del material del absorbedor en diferentes grosores.

Donde se obtiene como resultado una eficiencia del 65% del colector a estar compuesto por una plancha de aluminio de 3 milímetros. Valor similar que se obtiene con una plancha de cobre de un milímetro.

En la Figura 5.9 se analiza el comportamiento de la eficiencia instantánea al variar el diámetro del tubo que contiene al fluido caloportador y la distancia de tubo a tubo, con las condiciones de la Tabla 5.14.

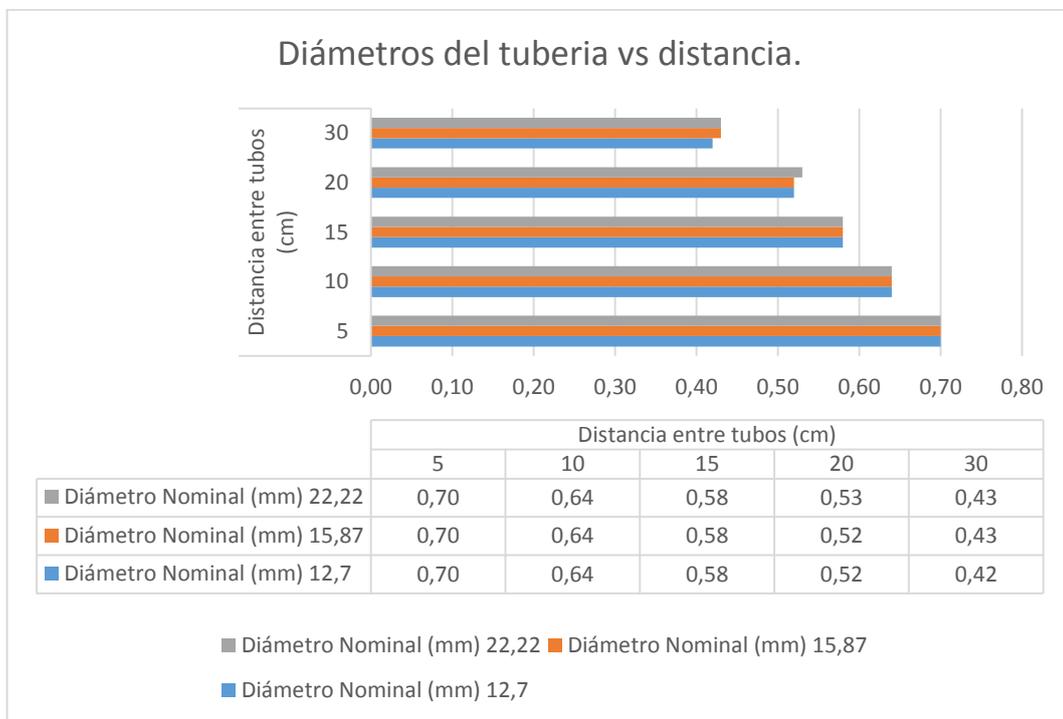


Figura 5.9: Análisis del diámetro de la tubería vs distancia de separación.

De la Figura 5.9 se obtiene la mayor eficiencia con una tubería de diámetro de 12.7 milímetros; tubería que ubicada a una distancia de 5 centímetros de tubo a tubo se obtendrá una eficiencia del 70% lo que implicaría mayor cantidad de tubos en la parrilla es decir 20 tubos por 2 metros cada uno dando como resultado 40 metros de tubería. Con el mismo diámetro de tubería pero colocado cada 10 centímetros se necesita un total de 20 metros de tubería dando como resultado una eficiencia del 64%.

5.4.1 ANÁLISIS DE COSTOS

Con los resultados de mayor eficiencia obtenidos anteriormente se realiza el siguiente análisis con el propósito de ver la variación de costo vs eficiencia.

Costo de materiales:

Material:	Precio (\$)	Medida
Vidrio templado	100	1000x2000x3mm
Vidrio Normal	12	1000x2000x3mm
Espuma de poliuretano	60	20cm
Espuma de poliuretano	45	15cm
Plancha de cobre	250	1200x2400x1mm
Plancha de aluminio	64	1200x2400x3mm
Tubos de cobre	19	3/8inx6m
Tubos de cobre	26	1/2inx6m
Tubos de cobre	32	3/4inx6m
Pintura mate	8	litro
Pintura Cromo	8	litro

Tabla 5.15: Costo de los materiales.

Colector A.

Materiales	Precio (\$)	Cantidad	Precio Total (\$)	Eficiencia.
Espuma de poliuretano (20cm)	60	1	60	66%
Plancha de cobre (1mm)	250	1	250	66%
Vidrio templado (3mm)	100	1	100	68%
Pintura mate	8	1	8	68%
Tubos de cobre (12.7mm)	19	7	133	70%
			551	68%

Tabla 5.16: Materiales del colector A.

Colector B:

Materiales	Precio (\$)	Cantidad	Precio Total (\$)	Eficiencia.
Espuma de poliuretano (15cm)	45	1	45	66%
Plancha de aluminio (3mm)	64	1	64	66%
Vidrio Normal (3mm)	12	1	12	65%
Pintura mate	8	1	8	65%
Tubos de cobre (12.7mm)	19	3,5	66,5	64%
			195,5	65%

Tabla 5.17: Materiales del colector B.

Colector construido en este trabajo de investigación.

Materiales	Precio	Cantidad	Precio Total	Eficiencia.
Espuma de poliuretano	15	1	15	64%
Vidrio Normal	12	1	12	64%
Plancha de aluminio	16	1	16	64%
Pintura mate	8	1	8	64%
Tubos de cobre	26	3,5	91	64%
			142	64%

Tabla 5.18: Materiales del colector construido.

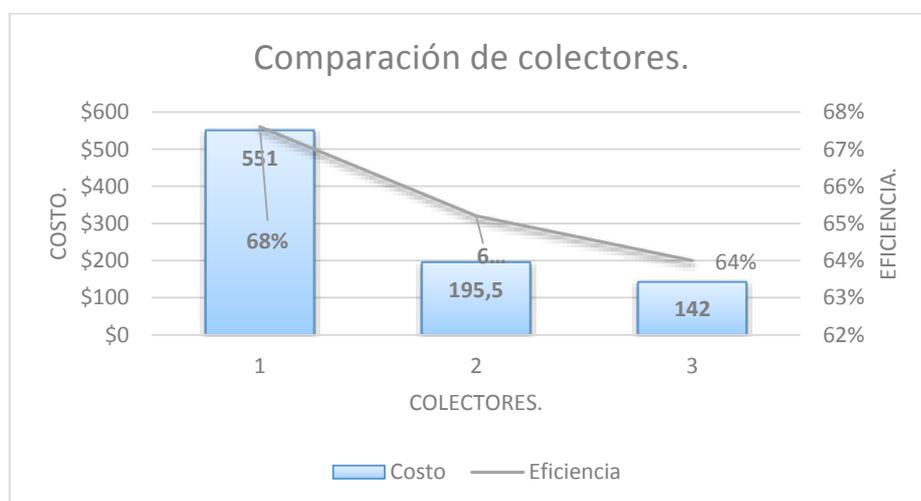


Figura 5.10: Resultado de costo vs eficiencia de los colectores.

5.5 RESULTADOS

- De la Figura 5.10 se obtiene un colector constituido por materiales detallados en la Tabla 5.16 donde su eficiencia es del 68% a un costo aproximado de 551 dólares; mientras que un colector constituido por materiales detallados en la Tabla 5.17 se obtiene una eficiencia del 65% a un costo aproximado de 195.50 dólares. Finalmente el colector que se construye en este proyecto presenta una eficiencia del 64% a un costo de 142 dólares.
- Los colectores disminuyen su eficiencia a medida que aumenta la temperatura de salida; esto sucede debido a que con el aumento de temperatura también incrementan las pérdidas de calor.
- La curva de eficiencia permite evaluar el comportamiento de un colector en diferentes condiciones o frente a otros colectores.
- Como resultado final de los colectores construidos el primer colector obtiene mejores resultados debido a sus materiales de construcción tiene alto coeficiente de conductividad térmica (cobre) frente al segundo colector donde su parrilla está constituida de tubos de PVC los que actúa como un material aislante de calor.

5.5.1 RELACIÓN ENTRE FACTORES.

- Radiación: si la radiación es baja, es necesario mayor área de captación para cumplir la demanda o debe ser mayor la eficiencia del colector para cumplir la misma demanda de cantidad de ACS.
- Temperatura de demanda: la temperatura final deseada exige la cantidad de calor a recolectar es decir entre más alta sea la temperatura de demanda, mayor

será la energía útil a recolectar; incrementando o disminuyendo directamente del área de captación para que esta sea mayor o menor.

- Volumen de agua: entre mayor sea el volumen de demanda; mayor será la cantidad de calor a recolectar.
- Eficiencia: es el parámetro fundamental para el dimensionamiento de una instalación de ACS; debido a que la eficiencia del colector determina si el área de captación aumenta o disminuye para cumplir con la demanda de energía; donde:
 - A mayor eficiencia del colector; menor será el área de captación.
 - A menor eficiencia del colector; mayor será el área de captación.

6 CAPÍTULO VI

6.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.2 CONCLUSIONES.

- La irradiancia en Ecuador está un promedio del $567 \frac{W}{m^2}$, valor con el cual se obtiene una eficiencia del panel del 28% que da como resultado una temperatura de salida promedio hasta de $41^{\circ}C$ para 90 litros de agua; en el mes de Julio y Agosto se obtiene los valores máximos de irradiancia donde la eficiencia del colector es del 29%, valor con el cual se obtiene una temperatura de salida $43^{\circ}C$ para las mismas condiciones; mientras que los valores mínimos de irradiancia que se presenta en el mes de Marzo y Abril donde la temperatura de salida del agua llega a los $37^{\circ}C$; valores que detallan en la Tabla 5.13.
- El análisis constructivo de los diferentes tipos de colectores solares planos se basa principalmente en los materiales de construcción donde según la Figura 5.10 el colector con parrilla de cobre construido para el análisis obtiene una eficiencia máxima del 64%; valor que se incrementa al cambiar las características de materiales donde se llega a obtener una eficiencia del 65% pero con un aumento del costo en un 137% y se obtiene una eficiencia del 68% con un incremento del costo en 388% del precio inicial. Valores que se detallan en la Figura 5.10.
- La eficiencia de un colector solar planos está vinculado principalmente con el coeficiente global de pérdidas de calor (U_l) y el factor de remoción de calor (F_r); valores que se muestran en la Tabla 5.5 y Tabla 5.8 para los colectores construidos; llegando a concluir que entre más grande sea

el coeficiente de pérdidas de calor menor será la eficiencia del colector, caso contrario sucede con el factor de remoción de calor. Por lo cual estos parámetros son muy importantes al momento de un análisis del desempeño de un colector frente a otro.

- Basándonos en las características de los componentes descritos en el Capítulo I y el análisis de los materiales detallados en Capítulo V, se construye de dos tipos de colectores solares donde el primer colector a base de parrilla de cobre donde su curva de eficiencia da como resultado una eficiencia máxima del 63% valores detallado en Tabla 5.5 y para el colector con parrilla de tubos de PVC se obtiene una curva de eficiencia con un valor máximo de eficiencia del 19%, detallado en la Tabla 5.8.
- Se presenta una propuesta simplificada de cálculo de eficiencia en paneles solares planos la cual se propondrá ante el INEN para que sea utilizada como procedimiento en el país, método que es el resultado de un análisis realizado en el Capítulo III y propuesto en el Capítulo IV, el cual se puso en práctica en el Capítulo V donde se obtuvo la eficiencia máxima para el primer colector del 63% y del segundo colector una eficiencia máxima de 19%.
- El procedimiento generado en el Capítulo IV, permite obtener la curva de eficiencia de un colector solar plano de donde se obtiene una ecuación, necesaria para la evaluación del colector en cualquier condición de demanda o dimensionamiento de una instalación de ACS.

6.3 RECOMENDACIONES.

- Analizar características óptimas de los materiales de construcción de la cubierta y recubrimiento de la placa, valores con los que podríamos aumentar la eficiencia del colector.
- Se recomienda realizar el procedimiento para determinar la eficiencia de un colector con el mayor número de lecturas posibles, debido a que esto dará una curva de eficiencia más real.
- Se recomienda realizar un proceso de soldadura entre el absorbedor y la parrilla con el propósito de aumentar el área de contacto y observar que resultados se obtienen.
- Se recomienda realizar el procedimiento experimental para el cálculo de la eficiencia en varios días con diferentes condiciones de ambiente, a fin de analizar cuáles resultados se obtendrán.
- Se recomienda realizar los ensayos para determinar la eficiencia de un colector en un horario de 11:00 am hasta las 14:00 pm; debido a que en dicho período de tiempo existe los valores más altos de irradiancia incidente en el área de captación.

BIBLIOGRAFÍA.

- Adelca. (2017). Adelca-Acería del Ecuador | Angulos. Retrieved from <https://www.adelcaec.com/copia-de-varilla-figurada>
- AENOR, A. E. d. N. y. C. (2014). Energía Solar. Captadores solares Térmicos. Métodos de Ensayo. UNE-EN ISO 9806. (2014). In.
- Albizzati, E. (2012). *Energía Solar Térmica. Principios Básicos y aplicaciones tecnológicas*. (1a ed.).
- Blanch, G. (2012). Documentación para el desarrollo de proyectos de instalaciones de energía solar térmica. In (Paraninfo ed.).
- Blanch, G. (2013). *Replanteo de instalaciones solares térmicas* (Paraninfo ed.).
- Burbano, J. C., Restrepo, Á. H., & Sabogal, O. J. (2007). Ensayos y pruebas de un calentador solar de agua operando por termosifón. *Scientia Et Technica*, 1(34).
- C.A, C. G. (2017). Cobre Global - CobreGlobal - Tubería de cobre, codos de cobre, conexiones de cobre, aislantes para el mercado de la plomería, gas, aire acondicionado, refrigeración. Retrieved from <http://www.cobreglobal.com/CATALOGO-EN-PDF.aspx>
- CONELEC, C. N. d. E. (2008). Atlas Solar del Ecuador . *Atlas Solar del Ecuador- Con fines de generación eléctrica.*, 51. Retrieved from
- Cuervo, R., Méndez, J., & Bureau, F. V. (2010). *Energía solar térmica* (3a ed.): Fundación Confemetal.
- De Cervantes, M. (2017). Salida y puesta del Sol, duración del año, Ecuador. Retrieved from <http://dateandtime.info/es/citysunrisesunset.php?id=3652462&month=12&year=2017>
- Dipac. (2017). Dipac Manta S.A. Retrieved from <http://www.dipacmanta.com/>
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of thermal Processes* (4 ta ed.). United States of America: Jhon Wiley & Sons, INC.
- Duomarco, J. L. (2012). PREDICCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE SISTEMAS SOLARES DE CALENTAMIENTO DE AGUA A LARGO PLAZO. 25.
- Díez, P. F. (1992). *Procesos termosolares en baja, media y alta temperatura*: Servicio de Publicaciones de la Escuela T. Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Energía Solar Térmica*. (2011). Madrid: Confemetal.
- es.tmart.com. (2017). Benetech GM816 LCD digital de mano del anemómetro de la velocidad del viento Medidor de velocidad Thermomoter Vela.
- Fernández Salgado, J. M. (2010). *Compendio de energía solar: fotovoltaica, térmica y termoeléctrica*.

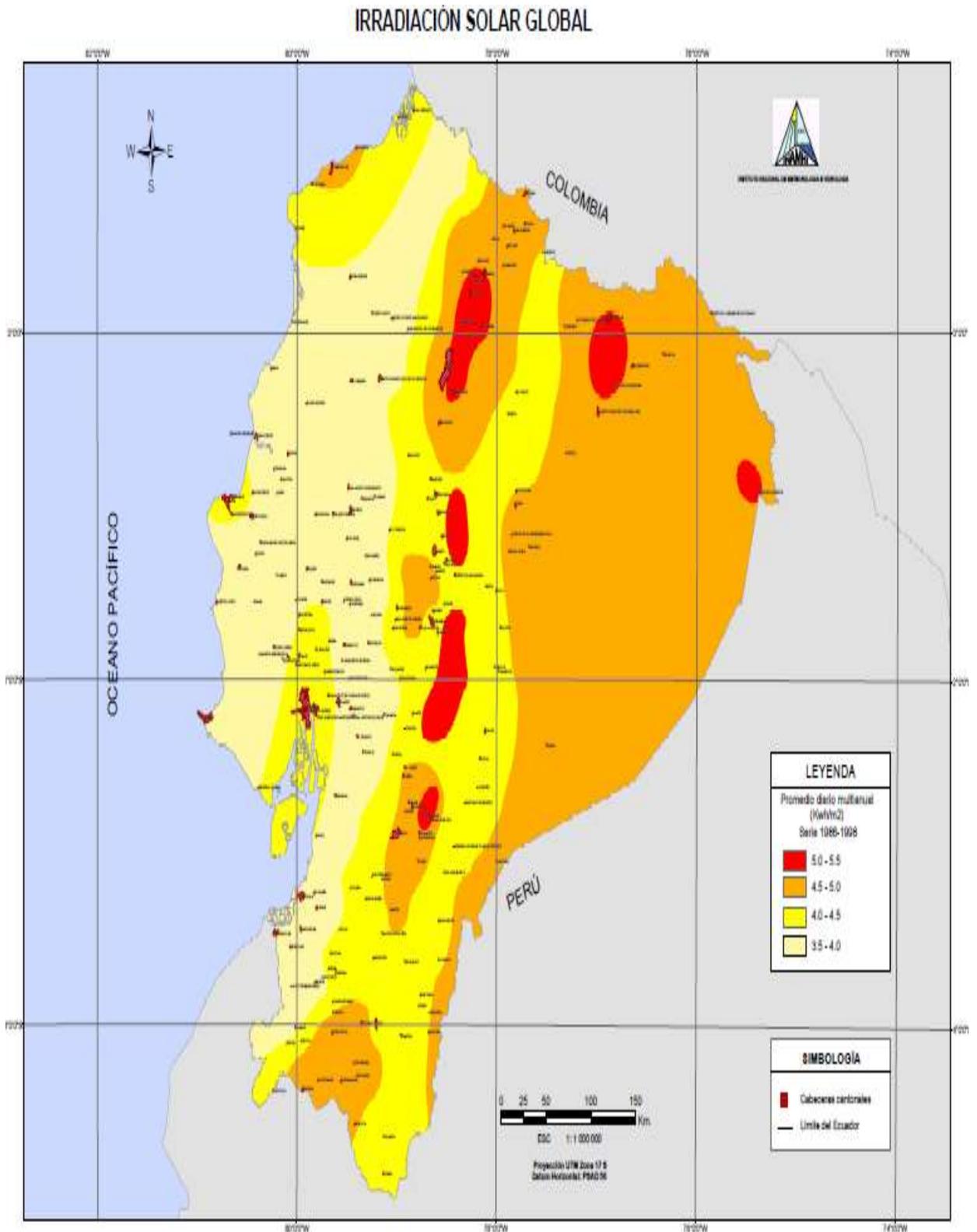
- Gallardo Ocampo, P. X. (2014). *Evaluación teórica y experimental de un absorbedor solar en equilibrio térmico*. Melbourne/Instituto Real de Tecnología de Melbourne/2014, Retrieved from <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/2689>
- Garnica, J. H., Lucchini, J. M., Stoll, R. G., & Barral, J. R. (2010). Ensayos normalizados de colectores solares y sistemas de calentamiento de agua en argentina: análisis de la situación, avances y dificultades. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 14, 03.147-103.154.
- Gutiérrez, J. C. P. (2006). Colectores solares planos.
- ICONTEC, I. C. d. N. T. Y. C. (1997). Eficiencia Energetica. Sistemas de calentamiento de agua con energía solar y componentes. NTC 4368 (1997). In.
- ICONTEC, I. C. d. N. T. y. C. (2004). Sistema de calentamiento solar doméstico de agua (transferencia de calor de un líquido a otro). NTC 5291. (2004). In.
- INAMHI. (2017). Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología » Biblioteca.
- Incropera, F. P., & De Witt., D. (1999). *Fundamentos de Transferencia de calor*. México.: PRENTICE HALL.
- INDECOPI, C. d. R. T. y. C. (2001). Colectores Solares. Método de ensayo para determinar la eficiencia de los colectores Solares. NTP 399.400 . (2001). In.
- Ing. Velarde Cruz, E. (2013). ANÁLISIS DE VULNERABILIDADES A NIVEL MUNICIPAL - PERFIL TERRITORIAL CANTON SAN MIGUEL DE IBARRA. Retrieved from <http://repositorio.cedia.org.ec/handle/123456789/848>
- Instruments, T. (2017). Sensor de temperatura LM35.
- Jiménez, A. (2013). *UF0214 - Dimensionado de instalaciones solares* (Paraninfo ed.).
- Jutglar, L. (2004). *Energía Solar*. Barcelona- España: Ceac.
- Larreta Moran, C. A. (2015). Diseño y construcción de un calentador de agua solar, económico y asequible a la clase media-baja del Ecuador.
- Lucchini, J. M., Garnica, J. H., & Barral, J. R. (2015).
). COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS COLECTORES CON ACUMULACIÓN INTEGRADA A PARTIR DE ENSAYOS NORMALIZADOS.
- Marco regulatorio de la energía solar en México | Procobre | International Copper Association. (2016).
- Mayoristas, B.-Z. (2017). Beaucoup Gabinete servicio pesado puerta ciega - ZC Mayoristas.
- MIDUVI, M. d. D. U. Y. V. (2012). (Norma Ecuatoriana de Construcción). Sistema de calentamiento de agua con energía solar para uso sanitario en el Ecuador. Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-10 PARTE 14-1-1. In.

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 9459-2. (2014). In *CALENTAMIENTO SOLAR*. Quito.
- NTE INEN, N. T. E. (2009). Rendimiento térmico de Colectores solares en Sistemas de Calentamiento de Agua para uso sanitario. Requisitos. NTE INEN 2507 (2009). In.
- NTE INEN, N. T. E. (2014). Calentamiento Solar. Sistemas de calentamiento de agua sanitaria. NTE INEN-ISO 9459-2. (2014). In.
- NTE INEN, N. T. E. (2016). Rendimiento Térmico de Colectores Solares. Requisitos. NTE INEN 2507_2016_12. In.
- Peralta, T. (2008). *Instalación de paneles solares térmicos*. (Vol. 3). México: Alfaomega.
- Plásticos, R. (2017). Tuberías de PVC | Plásticos Rival. Retrieved from <http://plasticosrival.com/productos/tuberias-de-pvc-catalogos/>
- Portugal, L. A. M., Tejada, J. E. P., Hanco, W. R. C., & Guía, L. S. (2011). Evaluación de un calentador solar de agua de acuerdo a Norma Técnica Peruana.
- PROACERO. (2017). PROACERO E.C. - productos. Retrieved from <http://www.proacero.ec/productos>
- Puig, P., & Jofre, M. (2014). Solar Térmica. *Energías Renovables para todos*, 1-20.
- Quintanilla Piña, R. (2011). *Organización y montaje mecánico e hidráulico en Instalaciones solares térmicas (UF0190)*. Málaga, ES: IC Editorial.
- Quintanilla, R. (2011). *Replanteo de las instalaciones solares térmicas*.
- Rafael, C., Javier, M., & Veritas, f. c. B. (2005). *Energía Solar Térmica*. (3a ed.). España: Fc Editorial.
- Sarmiento, P. M. (2007). *Energía solar en arquitectura y construcción*. Chile: RIL.
- SENSOVANT. (2017). Piranómetro Mp200.
- SHC, S. H. a. C. P. (2012). IEA-SHC TAREA 43: Clasificación solar y procedimientos de certificación. . In.
- Tobajas Vázquez, M. C. (2012). *Energía solar térmica para instaladores (4a. ed.)*. Barcelona, ES: Cano Pina.
- Vallejo, D. (2013). Sistema de medición de densidad de leche para control de calidad en la recepción de materia prima de la leche artesanal Marianita. In. Ibarra- Ecuador.
- Vidal, S. E., & Aguilera, M. E. C. (2005). *Fundamentos de transmisión de calor*. Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona.

ANEXOS

Anexo 1

Irradiación solar en el Ecuador.



Fuente: (INAMHI, 2017)

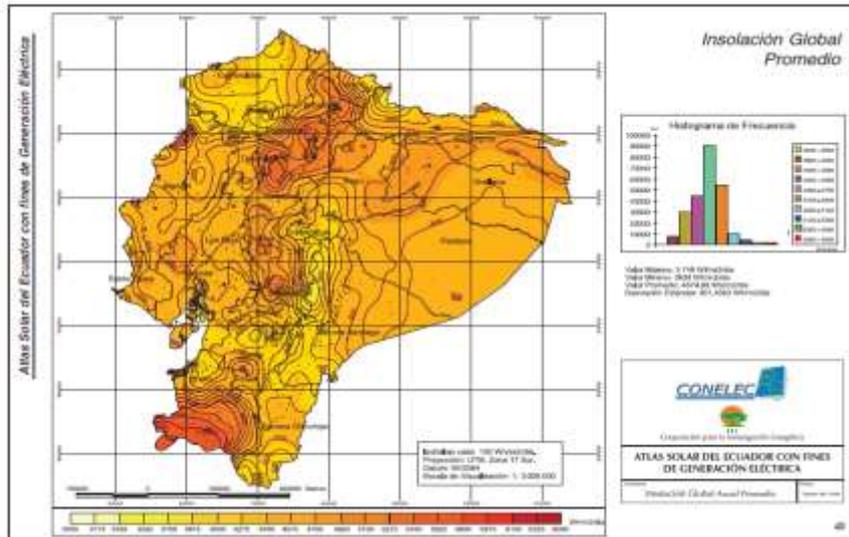
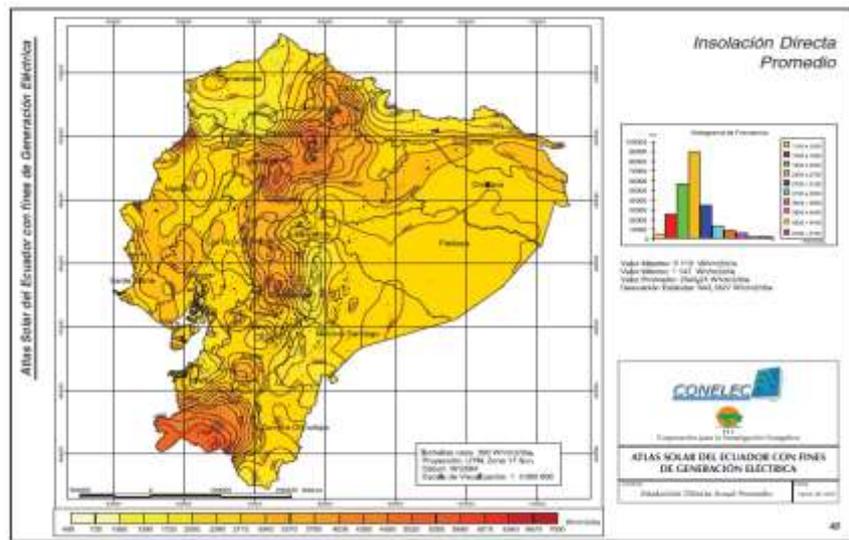
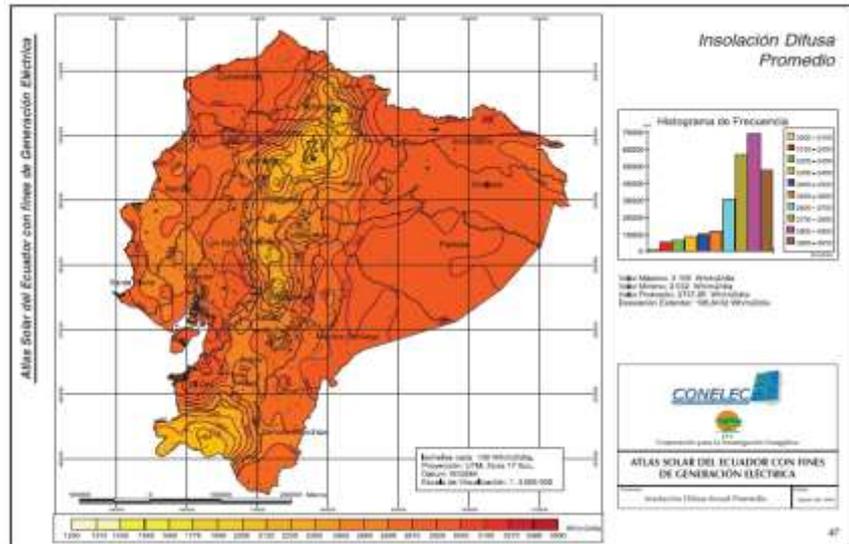
Irradiación solar mensual y promedio para varios sitios del Ecuador.

Valores en kWh/m².día

SITIO	Latitud	Longitud	ELEVACION	AÑOS LECTURAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM.
Ibarra	0.35 N	78.13 W	2228	17	4.44	4.42	4.36	4.36	4.58	4.36	4.89	4.97	4.61	4.72	4.5	4.5	4.56
Inguinecho	0.25 N	78.4 W	3380	2	4.72	4.92	4.56	4.25	4.47	4.61	4.97	5.08	5	5.03	4.92	4.81	4.78
Isobamba	0.37 S	78.55 W	3058	17	4.5	4.44	4.56	4.33	4.64	4.33	5.14	5.06	4.78	4.83	4.75	4.75	4.68
Jama	0.2 S	80.27 W	5	1	3.61	3.64	4.36	3.83	3.75	2.94	4.72	3.44	3.5	4.03	3.94	3.86	3.8
Jucuy	1.47 S	80.62 W	230	3	3.56	3.78	4.25	4.11	4.08	3.44	4.28	4.92	4.5	4.33	4.39	4.11	4.15
La Clementina	1.67 S	79.35 W	20	9	3.78	3.78	4.06	4.11	3.61	3.06	3.31	3.39	3.5	3.53	3.58	3.81	3.63
La Concordia	0.1 N	79.42 W	300	14	3.5	3.83	4.14	4.06	3.94	3.33	3.69	3.56	3.39	3.47	3.39	3.33	3.64
La Naranja	1.37 S	80.47 W	528	16	3.28	3.47	3.83	3.83	3.69	3.17	3.5	3.81	3.78	3.92	3.67	3.5	3.62
Latacunga	0.92 S	78.62 W	2785	17	4.53	4.25	4.36	4.03	4.31	4.11	4.53	4.61	4.5	4.64	4.58	4.58	4.42
Lois	4 S	79.2 W	2135	16	4.06	4.22	4.17	4.06	4.28	3.86	4.25	4.33	4.36	4.69	4.89	4.61	4.31
Mascara	4.38 S	79.28 W	430	10	4.22	4.11	4.25	4.06	4.31	4	5.06	5.19	5.06	5.22	5.08	4.61	4.6
Macas	2.3 S	78.1 W	1070	1	4.17	4.17	4.06	3.92	4.28	3.5	3.78	3.69	4.17	4.36	4.72	4.22	4.09
Machala	3.27 S	79.95 W	6	1	4.42	4.81	5	4.56	4.78	4	3.72	4.17	3.78	3.86	3.83	4.69	4.3
Maichingui	0.07 N	78.33 W	2900	4	4.67	4.61	4.78	4.75	4.78	4.44	5.19	5.08	4.78	4.92	4.81	4.78	4.8
Manabí	0.95 S	80.7 W	6	2	4.33	4.44	4.78	4.81	4.5	4	4.31	4.33	4.39	4.03	4.28	4.47	4.39
Millagro	2.15 S	79.6 W	13	17	3.69	3.97	4.36	4.39	3.89	3.22	3.47	3.69	3.78	3.83	3.81	3.94	3.84
Mutile	0.08 N	79.65 W	25	2	3.31	3.92	4.03	4.56	4.28	3.53	4.19	3.97	3.89	4.08	3.31	3.5	3.86
Napo-San Vicente	0.57 S	80.43 W	5	4	4.11	4.72	4.47	4.72	4.25	3.47	3.56	3.64	3.39	3.81	3.75	4.17	4
Nuevo Rocafuerte	0.92 S	75.4 W	265	3	4.72	4.56	4.06	3.92	4.03	3.72	4.22	4.33	4.69	4.64	4.58	4.47	4.33
OlmEDO	0.13 N	89.62 W	6	6	5.06	4.89	4.67	4.56	4.89	4.94	5.42	5.39	5	5	5	4.47	4.94
OlmEDO Manabí	1.38 S	80.22 W	60	1	3.36	3.97	3.64	3.53	3.61	3.17	3.69	4.42	3.89	3.83	3.56	4.31	3.75
Pasaje	3.32 S	79.93 W	6	15	3.64	3.81	4.25	4.08	3.72	3.19	3.44	3.36	3.28	3.33	3.42	3.56	3.59
Pedernales	0.07 S	80.07 W	10	1	3.69	3.83	4.89	4.08	3.75	3.5	3.47	3.44	3.61	3.82	3.83	3.44	3.79
Pichilingue	1.1 S	79.48 W	93	16	3.56	3.86	4.36	4.11	3.83	3.19	3.44	3.61	3.58	3.72	3.56	3.67	3.71

Fuente: (MIDUVI, 2012).

Irradiación solar en el Ecuador.



Fuente: (CONELEC, 2008)

Valor de K_s según latitud y meses del año.

Latitud: 2°

Incl.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.02	1.01	1	0.99	0.97	0.96	0.97	0.98	1	1.01	1.01	1.03
10	1.04	1.02	0.99	0.96	0.93	0.92	0.93	0.96	0.99	1.02	1.04	1.05
15	1.05	1.02	0.98	0.93	0.89	0.87	0.89	0.93	0.98	1.02	1.05	1.06
20	1.05	1.01	0.96	0.89	0.84	0.82	0.84	0.89	0.96	1.02	1.06	1.07
25	1.04	1	0.95	0.85	0.79	0.76	0.78	0.84	0.93	1.01	1.06	1.07
30	1.03	0.98	0.9	0.8	0.73	0.69	0.72	0.8	0.89	0.99	1.05	1.06
35	1.02	0.95	0.86	0.75	0.66	0.62	0.65	0.74	0.85	0.96	1.03	1.05
40	0.99	0.92	0.81	0.69	0.59	0.55	0.58	0.68	0.81	0.95	1.01	1.03
45	0.96	0.88	0.77	0.63	0.52	0.47	0.51	0.62	0.75	0.89	0.98	1
50	0.93	0.84	0.71	0.57	0.45	0.39	0.43	0.55	0.7	0.84	0.94	0.97
55	0.89	0.79	0.65	0.5	0.37	0.31	0.35	0.48	0.64	0.79	0.9	0.93
60	0.84	0.74	0.59	0.42	0.29	0.23	0.27	0.4	0.57	0.74	0.85	0.88
65	0.79	0.68	0.53	0.35	0.2	0.14	0.19	0.32	0.5	0.68	0.8	0.84
70	0.73	0.62	0.46	0.27	0.13	0.12	0.11	0.24	0.43	0.61	0.74	0.78
75	0.67	0.56	0.39	0.19	0.12	0.11	0.11	0.16	0.36	0.57	0.68	0.72
80	0.61	0.49	0.31	0.13	0.11	0.1	0.1	0.1	0.28	0.47	0.61	0.66
85	0.54	0.42	0.24	0.12	0.11	0.1	0.09	0.09	0.2	0.4	0.54	0.59
90	0.47	0.35	0.16	0.11	0.1	0.09	0.08	0.08	0.12	0.32	0.47	0.52

Latitud: 1°

Incl.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.02	1.01	1	0.98	0.97	0.96	0.97	0.98	1	1.01	1.02	1.03
10	1.03	1.02	0.99	0.96	0.93	0.92	0.93	0.96	0.99	1.02	1.04	1.04
15	1.04	1.01	0.97	0.93	0.89	0.87	0.88	0.92	0.97	1.02	1.05	1.06
20	1.04	1.01	0.95	0.89	0.84	0.81	0.83	0.88	0.95	1.01	1.05	1.06
25	1.04	0.99	0.92	0.85	0.78	0.75	0.77	0.84	0.92	1	1.05	1.06
30	1.03	0.97	0.89	0.8	0.72	0.69	0.71	0.79	0.89	0.98	1.04	1.05
35	1.01	0.95	0.85	0.74	0.65	0.62	0.65	0.73	0.84	0.95	1.02	1.04
40	0.98	0.91	0.81	0.67	0.58	0.54	0.57	0.67	0.8	0.93	1	1.03
45	0.95	0.87	0.76	0.62	0.51	0.46	0.5	0.61	0.74	0.88	0.97	0.99
50	0.92	0.83	0.7	0.56	0.43	0.38	0.42	0.54	0.69	0.83	0.93	0.96
55	0.88	0.78	0.64	0.49	0.35	0.3	0.34	0.46	0.63	0.78	0.89	0.92
60	0.83	0.73	0.58	0.41	0.27	0.21	0.26	0.38	0.56	0.73	0.84	0.87
65	0.78	0.67	0.51	0.34	0.19	0.13	0.17	0.31	0.49	0.66	0.79	0.82
70	0.73	0.61	0.45	0.26	0.13	0.12	0.11	0.23	0.42	0.6	0.73	0.77
75	0.66	0.55	0.37	0.18	0.12	0.11	0.11	0.15	0.34	0.53	0.67	0.71
80	0.6	0.48	0.3	0.13	0.11	0.1	0.1	0.1	0.28	0.48	0.6	0.64
85	0.53	0.41	0.23	0.12	0.11	0.1	0.09	0.09	0.19	0.39	0.53	0.58
90	0.46	0.34	0.15	0.11	0.1	0.09	0.08	0.08	0.11	0.31	0.46	0.51

Latitud: 0°

Incl.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.02	1.01	1	0.98	0.97	0.96	0.97	0.98	1	1.01	1.02	1.02
10	1.03	1.01	0.99	0.96	0.93	0.92	0.93	0.95	0.99	1.02	1.04	1.04
15	1.04	1.01	0.97	0.92	0.88	0.87	0.88	0.92	0.97	1.02	1.05	1.05
20	1.04	1	0.95	0.88	0.83	0.81	0.83	0.88	0.95	1.01	1.05	1.06
25	1.03	0.99	0.92	0.84	0.77	0.75	0.77	0.83	0.92	0.99	1.04	1.06
30	1.02	0.97	0.88	0.79	0.71	0.68	0.7	0.78	0.88	0.97	1.03	1.05
35	1	0.94	0.84	0.74	0.64	0.61	0.64	0.72	0.84	0.94	1.02	1.03
40	0.98	0.9	0.8	0.68	0.57	0.53	0.56	0.66	0.79	0.91	0.99	1.01
45	0.95	0.87	0.75	0.61	0.5	0.45	0.49	0.59	0.73	0.87	0.96	0.98
50	0.91	0.82	0.69	0.54	0.42	0.37	0.41	0.52	0.68	0.82	0.92	0.95
55	0.87	0.77	0.63	0.47	0.34	0.28	0.33	0.45	0.61	0.77	0.88	0.91
60	0.82	0.72	0.57	0.4	0.26	0.2	0.24	0.37	0.55	0.71	0.83	0.86
65	0.77	0.66	0.5	0.32	0.18	0.13	0.16	0.3	0.48	0.65	0.77	0.81
70	0.71	0.6	0.43	0.25	0.13	0.12	0.11	0.22	0.4	0.59	0.72	0.75
75	0.65	0.53	0.36	0.17	0.12	0.11	0.11	0.13	0.33	0.52	0.65	0.69
80	0.58	0.47	0.29	0.13	0.12	0.1	0.1	0.1	0.25	0.45	0.58	0.63
85	0.52	0.4	0.21	0.12	0.11	0.1	0.09	0.09	0.17	0.37	0.51	0.56
90	0.45	0.32	0.14	0.11	0.1	0.09	0.08	0.08	0.09	0.29	0.44	0.49

Latitud: -1°

Incl.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0.97	0.98	1	1.01	1.02	1.03	1.02	1.01	1	0.98	0.97	0.96
10	0.93	0.96	0.99	1.02	1.04	1.04	1.03	1.02	0.99	0.96	0.93	0.92
15	0.88	0.92	0.97	1.02	1.05	1.06	1.04	1.01	0.97	0.93	0.89	0.87
20	0.83	0.88	0.95	1.01	1.05	1.06	1.04	1.01	0.95	0.89	0.84	0.81
25	0.77	0.84	0.92	1	1.05	1.06	1.04	0.99	0.92	0.85	0.78	0.75
30	0.71	0.79	0.89	0.98	1.04	1.05	1.03	0.97	0.89	0.8	0.72	0.69
35	0.65	0.73	0.84	0.95	1.02	1.04	1.01	0.95	0.85	0.74	0.65	0.62
40	0.57	0.67	0.8	0.92	1	1.02	0.98	0.91	0.81	0.67	0.58	0.54
45	0.5	0.61	0.74	0.88	0.97	0.99	0.95	0.87	0.76	0.62	0.51	0.46
50	0.42	0.54	0.69	0.83	0.93	0.96	0.92	0.83	0.7	0.56	0.43	0.38
55	0.34	0.46	0.63	0.78	0.89	0.92	0.88	0.78	0.64	0.49	0.35	0.3
60	0.26	0.39	0.56	0.73	0.84	0.87	0.83	0.73	0.58	0.41	0.27	0.21
65	0.17	0.31	0.49	0.66	0.79	0.82	0.78	0.67	0.51	0.34	0.19	0.13
70	0.11	0.23	0.42	0.6	0.73	0.77	0.72	0.61	0.45	0.26	0.13	0.12
75	0.11	0.15	0.34	0.53	0.67	0.71	0.66	0.55	0.37	0.18	0.12	0.11
80	0.1	0.1	0.26	0.46	0.6	0.64	0.6	0.48	0.3	0.13	0.11	0.1
85	0.09	0.09	0.19	0.39	0.53	0.58	0.59	0.41	0.23	0.12	0.11	0.1
90	0.08	0.08	0.11	0.31	0.46	0.51	0.46	0.34	0.15	0.11	0.1	0.09

Latitud: -2°

Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0.97	0.98	1	1.01	1.01	1.03	1.02	1.01	1	0.98	0.97	0.96
10	0.93	0.96	0.99	1.02	1.04	1.05	1.04	1.02	0.99	0.96	0.93	0.92
15	0.89	0.93	0.98	1.02	1.05	1.06	1.05	1.02	0.98	0.93	0.89	0.87
20	0.84	0.89	0.96	1.02	1.06	1.07	1.05	1.01	0.96	0.89	0.84	0.82
25	0.78	0.84	0.93	1.01	1.06	1.07	1.04	1	0.93	0.85	0.79	0.76
30	0.72	0.8	0.89	0.99	1.05	1.06	1.03	0.98	0.9	0.8	0.73	0.69
35	0.65	0.74	0.85	0.96	1.03	1.05	1.02	0.95	0.86	0.75	0.66	0.62
40	0.58	0.68	0.81	0.93	1.01	1.03	0.99	0.92	0.81	0.69	0.59	0.55
45	0.51	0.62	0.75	0.89	0.98	1	0.96	0.88	0.77	0.63	0.52	0.47
50	0.43	0.55	0.7	0.84	0.94	0.97	0.93	0.84	0.71	0.57	0.45	0.39
55	0.35	0.48	0.64	0.79	0.9	0.93	0.89	0.79	0.65	0.5	0.37	0.31
60	0.27	0.4	0.57	0.74	0.85	0.88	0.84	0.74	0.59	0.42	0.29	0.23
65	0.19	0.32	0.5	0.68	0.8	0.84	0.79	0.68	0.53	0.35	0.2	0.14
70	0.11	0.24	0.43	0.61	0.74	0.78	0.73	0.62	0.46	0.27	0.13	0.12
75	0.11	0.16	0.36	0.57	0.68	0.72	0.67	0.56	0.39	0.19	0.12	0.11
80	0.1	0.1	0.28	0.47	0.61	0.66	0.61	0.49	0.31	0.13	0.11	0.1
85	0.09	0.09	0.2	0.4	0.54	0.59	0.54	0.42	0.24	0.12	0.11	0.1
90	0.08	0.08	0.12	0.32	0.47	0.52	0.47	0.35	0.16	0.11	0.1	0.09

Latitud: -3°

Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0.97	0.98	1	1.02	1.03	1.03	1.02	1.01	1	0.98	0.97	0.97
10	0.93	0.96	0.99	1.03	1.05	1.05	1.04	1.02	0.99	0.96	0.94	0.93
15	0.89	0.93	0.98	1.03	1.06	1.06	1.05	1.02	0.98	0.93	0.89	0.88
20	0.84	0.89	0.96	1.02	1.06	1.07	1.05	1.02	0.96	0.9	0.85	0.83
25	0.79	0.85	0.93	1.01	1.06	1.07	1.05	1	0.94	0.86	0.79	0.77
30	0.73	0.8	0.9	0.99	1.05	1.07	1.04	0.98	0.9	0.81	0.74	0.7
35	0.66	0.75	0.86	0.97	1.04	1.05	1.02	0.96	0.87	0.76	0.67	0.63
40	0.59	0.69	0.82	0.94	1.02	1.04	1	0.93	0.82	0.7	0.6	0.56
45	0.52	0.63	0.76	0.9	0.99	1.01	0.97	0.89	0.77	0.64	0.53	0.49
50	0.44	0.56	0.71	0.85	0.95	0.98	0.94	0.85	0.72	0.58	0.46	0.41
55	0.37	0.49	0.65	0.81	0.91	0.94	0.9	0.8	0.66	0.51	0.38	0.32
60	0.28	0.41	0.58	0.75	0.87	0.9	0.85	0.75	0.6	0.44	0.3	0.24
65	0.2	0.34	0.52	0.69	0.81	0.85	0.8	0.69	0.54	0.36	0.22	0.16
70	0.12	0.26	0.44	0.63	0.76	0.79	0.75	0.63	0.47	0.29	0.14	0.12
75	0.1	0.18	0.37	0.56	0.69	0.73	0.69	0.57	0.4	0.21	0.12	0.11
80	0.1	0.1	0.29	0.49	0.63	0.67	0.62	0.5	0.33	0.13	0.11	0.1
85	0.09	0.09	0.22	0.41	0.56	0.6	0.56	0.43	0.25	0.12	0.11	0.1
90	0.08	0.08	0.14	0.34	0.49	0.53	0.49	0.36	0.18	0.11	0.1	0.09

Latitud: -4°

Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0.97	0.98	1	1.02	1.03	1.03	1.02	1.01	1	0.99	0.97	0.97
10	0.94	0.96	1	1.03	1.05	1.05	1.04	1.02	1	0.96	0.94	0.93
15	0.9	0.93	0.98	1.03	1.06	1.07	1.05	1.02	0.98	0.94	0.9	0.88
20	0.85	0.9	0.96	1.03	1.07	1.08	1.06	1.02	0.97	0.9	0.85	0.83
25	0.8	0.86	0.94	1.02	1.07	1.08	1.05	1.01	0.94	0.86	0.8	0.77
30	0.74	0.81	0.91	1	1.06	1.07	1.05	0.99	0.91	0.82	0.74	0.71
35	0.67	0.76	0.87	0.98	1.05	1.06	1.03	0.97	0.87	0.77	0.68	0.64
40	0.6	0.7	0.82	0.95	1.03	1.04	1.01	0.94	0.83	0.71	0.61	0.57
45	0.53	0.64	0.77	0.91	1	1.02	0.98	0.9	0.78	0.65	0.54	0.5
50	0.46	0.57	0.72	0.87	0.97	0.99	0.95	0.86	0.73	0.59	0.47	0.42
55	0.38	0.5	0.66	0.82	0.93	0.95	0.91	0.81	0.67	0.52	0.39	0.34
60	0.3	0.43	0.6	0.76	0.88	0.91	0.86	0.76	0.61	0.45	0.31	0.25
65	0.22	0.35	0.53	0.7	0.83	0.86	0.81	0.71	0.55	0.37	0.23	0.17
70	0.13	0.27	0.46	0.64	0.77	0.81	0.76	0.65	0.48	0.3	0.15	0.12
75	0.1	0.19	0.38	0.57	0.71	0.75	0.7	0.58	0.41	0.22	0.12	0.11
80	0.1	0.11	0.31	0.5	0.64	0.69	0.64	0.52	0.34	0.14	0.11	0.1
85	0.09	0.09	0.23	0.43	0.57	0.62	0.57	0.45	0.26	0.12	0.1	0.09
90	0.08	0.08	0.15	0.35	0.5	0.55	0.5	0.37	0.19	0.11	0.1	0.09

Fuente: (MIDUVI, 2012)

Temperaturas anuales de viento y ambiente de la ciudad de Ibarra.

	Mes	Temperatura			Viento	
		Media	Máxima	Mínima	Dirección	Velocidad media m/s
2014	Ene	16,6	25,2	7,4	N	1,3
	Feb	17,1	25,9	8,8	NW	1,3
	Mar	16,5	26,4	8,9	NW	1,2
	Abr	17,4	27,0	8,6	NE	1,2
	May	16,7	25,4	9,8	N	0,9
	Jun	16,9	25,6	9,0	NW	1,2
	Jul	17,6	26,6	8,0	E	1,6
	Ago	16,7	25,6	6,6	NW	1,6
	Sep	17,0	26,4	6,9	NW	1,6
	Oct	16,9	25,8	8,2	NW	1,3
	Nov	16,8	25,0	8,6	NW	1,4
	Dic	16,4	25,4	7,4	N	1,3
	Temp más baja	16,4	25,0	6,6	-	0,9
	Temp más alta	17,6	27,0	9,8	-	1,6
	PROMEDIO:	16,9	25,9	8,2	-	1,3

FUENTE: INAMHI.

Datos anuales meteorológicos de la ciudad de Ibarra.

M0001 INGUINCHO INAMHI																			
MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)						HUMEDAD RELATIVA (%)				PUNTO DE ROCÍO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)			Número de días con precipitación		
		ABSOLUTAS			M E D I A S			Máxima	Mínima	Mensual	Máxima			Mínima	Mensual	Mensual		Máxima en 24hrs	día
ENERO	79.9	17.4	12	4.3	18	14.4	6.3					10.0	100				11		
FEBRERO	72.4	15.4	13	3.5	21	13.8	5.5	9.2	100	5	71	5	92	7.9	10.7	166.9	23.3	27	23
MARZO	137.5	17.0	13	3.6	2	14.9	5.4	10.2	100	4	69	13	88	8.3	11.0	141.3	29.1	23	18
ABRIL	90.3			3.7	4	14.5	6.3	9.9					91	8.5	11.1	229.0	27.1	5	24
MAYO	116.3	16.5	12	4.8	31	14.4	6.3	10.1	100	6	67	10	88	8.1	10.9	36.9	9.6	1	12
JUNIO	168.0	16.6	6	4.3	29	15.1	6.0	10.3	99	17	61	6	84	7.5	10.4	11.3	3.7	25	7
JULIO	182.1			4.3	21	15.6	5.8	10.6	99	4	58	8	81	7.4	10.3	5.2	2.2	12	5
AGOSTO	193.1	18.9	7	3.2	31	15.7	5.3	10.5	97	1	50	24	81	7.0	10.1	17.6	6.8	3	6
SEPTIEMBRE	231.7			3.8	16	16.4	5.8	10.9	99	21	55	7	80	7.4	10.3	18.6	17.8	24	2
OCTUBRE	141.7	18.6	3	4.0	19	15.8	6.3	10.8	99	14	47	19	85	8.2	10.9	112.8	23.6	30	15
NOVIEMBRE	152.8	18.9	10	5.2	18	16.0	6.9	10.8	100	14	62	27	89	9.0	11.5	137.0	33.4	10	17
DICIEMBRE	160.8	18.0	18	3.0	18	15.6	6.5	10.6	100	5	58	29	87	8.3	11.0	64.0	20.9	25	12
VALOR ANUAL	1726.6			3.0		15.2	6.0	10.3					86	8.0	10.8	1194.8	35.6		

MES	EVAPORACION (mm)		NUBOSIDAD MEDIA (Octas)	VELOCIDAD MEDIA Y FRECUENCIAS DE VIENTO																Vel. Mayor Observada (m/s) DIR	VELOCIDAD MEDIA (Km/h)						
	Suma Mensual	Máxima en 24hrs día		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALMA	Nro OBS	N	NE	E	SE	S	SW			W	NW	CALMA	Nro OBS		
ENERO	89.9	4.5	1	7	0.0	0	2.0	3	3.0	17	1.0	1	1.7	3	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	75	93	6.0	E	2.6
FEBRERO	88.7	3.3	24	8	0.0	0	6.0	1	3.3	15	0.0	0	0.0	0	0.0	0	6.0	2	0.0	0	82	87	8.0	W	3.3		
MARZO	92.6	5.0	4	7	0.0	0	4.5	7	4.7	29	0.0	0	2.0	1	0.0	0	0.0	0	0.0	0	63	93	10.0	E	4.5		
ABRIL	76.5	4.6	13	7																							3.0
MAYO	89.0	4.1	31	6	0.0	0	4.7	16	3.9	22	1.0	1	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	61	93	10.0	E	4.3		
JUNIO	131.5	6.9	25	5	0.0	0	4.6	21	4.4	36	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	43	90	14.0	NE	5.4		
JULIO	114.8			5	0.0	0	4.4	24	5.0	48	1.0	1	5.0	1	0.0	0	0.0	0	0.0	0	26	93	12.0	NE	6.5		
AGOSTO	133.7	5.7	13	5	0.0	0	3.5	14	4.6	47	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	39	93	10.0	E	6.2		
SEPTIEMBRE	132.4	5.2	17	4	7.0	1	5.4	23	4.9	40	2.0	1	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	34	90	16.0	E	7.1		
OCTUBRE	109.7	4.6	9	6	2.5	2	4.8	5	3.8	19	0.0	0	1.0	3	2.0	1	2.0	2	0.0	0	67	93	14.0	E	4.3		
NOVIEMBRE	88.5	4.5	9	7	0.0	0	3.0	3	2.7	16	0.0	0	1.0	1	2.0	1	4.0	1	0.0	0	78	90	5.0	E	3.6		
DICIEMBRE	119.7	6.3	11	6	0.0	0	4.5	15	3.0	20	4.0	1	1.3	4	1.0	1	0.0	0	1.0	1	57	93	10.0	NE	4.4		
VALOR ANUAL	1227.0			6																							5.0

FUENTE: INAMHI

Anexo 2.**Índice de efectividad de algunos materiales.**

ÍNDICES DE EFECTIVIDAD DE ALGUNOS TRATAMIENTOS			
TRATAMIENTO	ABSORTANCIA	EMITANCIA	ÍNDICE DE EFECTIVIDAD
Negro de níquel sobre níquel	0,93	0,06	15,5
Ni-Zn-S sobre níquel	0,96	0,07	13,7
Negro de cromo sobre níquel	0,92	0,1	9,2
Negro de hierro sobre acero	0,9	0,1	9
Negro de cinc	0,9	0,1	9
Negro de cromo	0,89	0,1	8,9
Negro de cobre sobre cobre	0,87	0,1	8,7
Óxido de cobre sobre aluminio	0,93	0,11	8,4
Enamel cerámico	0,9	0,5	1,8
Pintura acrílica negra	0,95	0,9	1,06
Pintura silicona negra	0,93	0,9	1,03
Pintura inorgánica negra	0,94	0,92	1,02

Fuente: (Tobajas Vázquez, 2012, p. 49).

Propiedades solares de algunos materiales.

TABLA A.12 Propiedades solares radiativas para materiales seleccionados*

Descripción/composición	α_s	ϵ^b	α_s/ϵ	τ_s
Aluminio				
Pulido	0.09	0.03	3.0	
Anodizado	0.14	0.84	0.17	
Recubierta de cuarzo	0.11	0.37	0.30	
Hoja	0.15	0.05	3.0	
Ladrillo, rojo (Purdue)	0.63	0.93	0.68	
Concreto	0.60	0.88	0.68	
Hoja metálica galvanizada				
Limpia, nueva	0.65	0.13	5.0	
Oxidada, desgastada	0.80	0.28	2.9	
Vidrio, 3.2 mm de espesor				
Aplanado o templado				0.79
Tipo bajo en óxido de hierro				0.88
Metal, plateado				
Sulfuro negro	0.92	0.10	9.2	
Óxido de cobalto negro	0.93	0.30	3.1	
Óxido de níquel negro	0.92	0.08	11	
Cromo negro	0.87	0.09	9.7	
Mylar, 0.13 mm de espesor				0.87
Pinturas				
Negro (Parsons)	0.98	0.98	1.0	
Blanco, acrílico	0.26	0.90	0.29	
Blanco, óxido de cinc	0.16	0.93	0.17	
Plexiglas, 3.2 mm de espesor				0.90
Nieve				
Partículas finas, frescas	0.13	0.82	0.16	
Granos de hielo	0.33	0.89	0.37	
Tedlar, 0.10 mm de espesor				0.92
Teflón, 0.13 mm de espesor				0.92

Fuente: (Incropera & De Witt., 1999)

Anexo 3.

Diámetros de tubería de cobre estándar.

Diámetro Nominal	TIPO K					TIPO L					TIPO M							
	Diámetro Exterior*		Espesor de pared		Peso teórico	Presión de trabajo		Espesor de pared		Peso teórico	Presión de trabajo		Espesor de pared		Peso teórico	Presión de trabajo		
pulg.	pulg.	mm	pulg.	mm	kg/m	PSI a 38°C	pulg.	mm	kg/m	PSI a 38°C	pulg.	mm	kg/m	PSI a 38°C	pulg.	mm	kg/m	PSI a 38°C
¼	¾	9,52	0,035	0,89	0,216	1,595	0,032	0,81	0,199	1,350	-	-	-	-	-	-	-	-
¾	½	12,70	0,049	1,24	0,400	1,745	0,035	0,89	0,295	1,195	0,025	0,63	0,216	840				
½	¾	15,87	0,049	1,24	0,512	1,375	0,040	1,02	0,424	1,105	0,028	0,71	0,304	760				
¾	¾	19,05	0,049	1,24	0,622	1,135	0,042	1,07	0,539	965	-	-	-	-				
¾	¾	22,22	0,065	1,65	0,954	1,315	0,045	1,14	0,677	875	0,032	0,81	0,488	610				
1	1 ½	28,57	0,065	1,65	1,249	1,010	0,050	1,27	0,975	770	0,035	0,89	0,692	515				
1 ¼	1 ¾	34,92	0,065	1,65	1,548	820	0,055	1,40	1,316	680	0,042	1,07	1,015	515				
1 ½	1 ¾	41,27	0,072	1,83	2,024	765	0,060	1,52	1,687	630	0,049	1,24	1,399	510				
2	2 ½	53,97	0,083	2,11	3,066	665	0,070	1,78	2,604	555	0,058	1,47	2,173	450				
2 ½	2 ¾	66,67	0,095	2,41	4,360	520	0,080	2,03	3,691	520	0,065	1,65	3,021	410				
3	3 ¾	79,37	0,109	2,77	5,953	605	0,090	2,29	4,956	490	0,072	1,83	3,988	385				
3 ½	3 ¾	92,07	0,120	3,05	7,619	570	0,100	2,54	6,384	470	0,083	2,11	5,328	385				
4	4 ¾	104,77	0,134	3,40	9,688	555	0,110	2,79	8,006	450	0,095	2,41	6,935	380				

Nota: El diámetro exterior real es de 1/8 pulgada mayor que el diámetro nominal, por el cual se conocen. Es decir, un tubo tipo L de 1/2 pulgada tiene en realidad un diámetro exterior de 5/8 pulgada. La tubería tipo K, tiene un espesor de pared mayor que la tubería tipo L, y el espesor de pared de la tubería L es mayor que la pared de la tubería M, para un diámetro dado.

Fuente: (C.A, 2017)

Dimensiones de la tubería PVC.

ESPECIFICACIONES

Tubería de uPVC para presión.

- Unión tipo rosca
- Longitud L = 6 m.

DN (mm)	Denominación de la Rosca	Espesor Min. (mm)	Presión de trabajo	
			(MPa)	(PSI)
21,34	½	3,73	2,90	420
26,67	¾	3,91	2,34	340
33,40	1	4,55	2,21	320
48,26	1½	5,08	1,65	239
60,32	2	5,54	1,38	200

Fuente: (Plásticos, 2017).

Anexo 4.

Propiedades térmicas de los materiales.

material	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/(kg·K))	Conductividad térmica (W/(m·K))	Difusividad térmica (m ² /s) (x10 ⁻⁶)	Capacidad calorífica (kcal/m ³ ·°C)
Acero	7850	460	46.5	13,01-16,06	950
Agua	1000	4186	0,58	0,139	1000
Aire	1,2	1000	0,026	21,67	0.29
Aluminio	2700	909	203.5	85,16-94,53	-
Cinc	7140	389	106-140	38,16-50,41	-
Cobre	8900	389	384	107,45-111,20	-
Espuma de poliuretano	40	1674	0,029	0,433	9
Espuma de vidrio	100	-	0,047	-	-
PVC	1450		0.163		

Lana de vidrio	100-200	670	0,036-0,040	0,537-0,299	-
Madera	840	1381	0,14	0,112	-
Poliestireno	1050	1200	0,157	0,125	10
Acero inoxidable			17.5		
Vidrio	2700	833	0,814	0,360	-

Fuente: (Vidal & Aguilera, 2005, p. 9).

Anexo 5.

Tablas de consumo de agua.

CRITERIO DE CONSUMO	Fuente: CENTRO DE INVESTIGACIONES Y DESARROLLO TECNOLÓGICO TIMEESCI – ECUADOR, 2009	Fuente: CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. MINISTERIO DE FOMENTO, ESPAÑA, 2005	
	LITROS ACS/DIA A 55 °C	LITROS ACS/DIA A 60 °C	
VIVIENDAS UNIFAMILIARES	80	30	POR PERSONA
VIVIENDAS MULTIFAMILIARES	55	22	POR PERSONA
HOSPITALES Y CLINICAS	100	55	POR CAMA
HOTELES ****	100	70	POR CAMA
HOTELES ***	80	55	POR CAMA
HOTELES Y HOSTALES **	60	40	POR CAMA
RESIDENCIAS (ANCIANOS, ESTUDIANTES), ETC	70	55	POR CAMA
VESTUARIOS/DUCHAS COLECTIVAS	25	15	POR SERVICIO
ESCUELAS	5	3	POR ALUMNO
CUARTELES	25	20	POR PERSONA
FABRICAS Y TALLERES	20	15	POR PERSONA
OFICINAS	2	3	POR PERSONA
GIMNASIOS	15	20 A 25	POR USUARIO
LAVANDERIAS	5	3 A 5	POR KILO DE ROPA
RESTAURANTES	5	5 A 10	POR COMIDA
CAFETERIAS	1	1	POR ALMUERZO

Fuente: (MIDUVI, 2012)

Anexo 6.

Características técnicas Anemómetro.

BENETECH MODEL: GM816

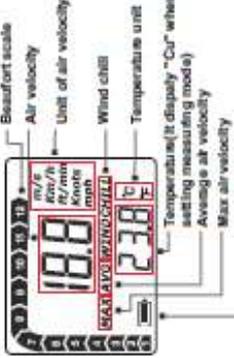
Anemometer Instruction manual



A. FUNCTION

- Air Velocity & Temperature Measurement;
- Max/Average/Current air velocity measurement;
- °C/°F Temperature unit selection;
- Five units of air velocity:
M/s, Km/h, ft/min, Knots, mph
- Beaufort scale;
- Backlight display;
- Manual/Auto power shut off;
- Wind chill indication;
- Low battery indication.

B. LCD Display



C. Operation

- Turn on: Press "MODE" button for 2 seconds to turn on the unit. LCD will display Air velocity, temperature and battery icon. LCD backlight will last for 12 seconds.
- Set unit of air velocity and measuring mode:
Press "MODE" button more than 3 seconds until "mile" starts to blink. Press "SET" button to select desired air velocity unit. To confirm the unit, press "MODE" button. For setting MAX/AVG/CU mode, press "SET" button again and again until CU/MAX/AVG blink, then press "MODE" button to confirm.
1). The setting will be stored when turn off the unit. But if you change the battery, the setting will go back to the factory preset.
2). Unit of Air velocity: m/s, Km/hr, ft/min, Knots, mph
3). Measuring mode: CU: current air velocity
MAX: max air velocity AVG: average air velocity

3. Set temperature unit:
Temperature switch key (°C/°F) conceal in the rear cabinet, please use a little push-pin to press the key for °C/°F conversion.

4. Backlight display: The backlight will be activated for 12 seconds by press any key

5. Measurement: when the wind vane (impeller) turns, LCD will instant display wind speed, temperature and beaufort scale. When temperature below 0 °C, "WIND CHIU" will be shown on the LCD.

6. Turn off: Press "MODE" + "SET" buttons at the same time to turn off the unit.

7. Auto power shut off: The unit will be shut off without any operation for 14 minutes

8. Change battery: When the symbol "⎓" shown on the LCD, please change the battery.

3. Set temperature unit:
Temperature switch key (°C/°F) conceal in the rear cabinet, please use a little push-pin to press the key for °C/°F conversion.

4. Backlight display: The backlight will be activated for 12 seconds by press any key

5. Measurement: when the wind vane (impeller) turns, LCD will instant display wind speed, temperature and beaufort scale. When temperature below 0 °C, "WIND CHIU" will be shown on the LCD.

6. Turn off: Press "MODE" + "SET" buttons at the same time to turn off the unit.

7. Auto power shut off: The unit will be shut off without any operation for 14 minutes

8. Change battery: When the symbol "⎓" shown on the LCD, please change the battery.

D. Specification

A. Air velocity			
Unit	Range	Resolution	Threshold Accuracy
M/s	0-30	0.1	0.1
ft/min	0-500	1.9	3.9
Kmph	0-65	0.2	0.1
Knots	0-60	0.3	0.3
Mph	0-65	0.2	0.2

B. Temperature			
Unit	Range	Resolution	Accuracy
°C	-10°C~45°C	0.2	±0.2°C
°F	14°F~113°F	0.36	±0.8°F

Battery	CR2032 3.0V (included)
The meter	NFC this meter
Operating temperature	-10°C~45°C (14°F~113°F)
Operating humidity	Less than 95%RH
Stow temperature	-40°C~+80°C (-40°F~+140°F)
Current consumption	Approx. 3mA
Weight	52g
Dimension	48x18x16mm

CE CE MADE IN CHINA

Fuente: (es.tmart.com, 2017)

Características técnicas del Piranómetro Mp 200

SOLAR RADIATION METER

Model MP-100 and MP-200



Calibration Uncertainty: $\pm 5\%$ (see Calibration Traceability below)

Measurement Repeatability: $< 1\%$

Non-stability (Long-term Drift): $< 2\%$ per year

Non-linearity: $< 1\%$ (up to 1750 W m^{-2})

Response Time: $< 1 \text{ ms}$

Field of View: 180°

Spectral Range: 360 to 1120 nm (wavelengths where response is 10 % of maximum; see Spectral Response below)

Directional (Cosine) Response: $\pm 5\%$ at 75° zenith angle (see Cosine Response below)

Temperature Response: $0.04 \pm 0.04\%$ per C (see Temperature Response below)

Operating Environment: 0 to 50 C

$< 90\%$ non-condensing relative humidity up to 30 C

$< 70\%$ non-condensing relative humidity from 30 to 50 C

Separate sensors can be submerged in water up to depths of 30 m

Meter Dimensions: 12.6 cm length, 7.0 cm width, 2.4 cm height

Sensor Dimensions: MP-200: 2.4 cm diameter and 2.8 cm height

Mass: MP-100: 150 g

MP-200: 180 g

Fuente:(SENSOVANT, 2017)

Características técnicas del sensor de temperatura.

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+5V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.:	
TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C
Lead Temp.:	
TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C

TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

Electrical Characteristics

(Notes 1, 5)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} < T_A < T_{MAX}$	± 0.18		± 0.36	± 0.16		± 0.3	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} < T_A < T_{MAX}$	+10.0	+9.8, +10.1		+10.0		+9.8, +10.1	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 < I_L < 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		mV/mA
	$T_{MIN} < T_A < T_{MAX}$	± 0.6		± 3.0	± 0.6		± 3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4V < V_{IN} < 30V$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_{IN} = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_{IN} = +5V$	106		131	81		114	μA
	$V_{IN} = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_{IN} = +30V$	106.6		133	81.6		118	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V < V_{IN} < 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	$4V < V_{IN} < 30V$	0.6		2.0	0.6		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.38		+0.6	+0.38		+0.6	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_A = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

Fuente: (Instruments, 2017)

Anexo 7.

Especificaciones caja de control.



Gabinete Metálico puerta ciega, servicio pesado

CÓDIGO	REFERENCIA	DIMENSIONES (mm)			PESO Aprox.(Kg)
		ALTO (H)	ANCHO (W)	PROFUNDIDAD (D)	
I-0811	GSP-200015/C	200	200	150	2.2
I-0812	GSP-300015/C	300	200	150	3.0
I-0813	GSP-300020/C	300	300	200	4.5
I-0814	GSP-400020/C	400	300	200	5.7
I-0815	GSP-400025/C	300	400	200	5.7
I-0816	GSP-400020/C	400	400	200	7.1
I-0816-1	GSP-504030/C	500	400	300	9.8
I-0817	GSP-604020/C	600	400	200	9.8
I-0818	GSP-406020/C	400	600	200	9.8
I-0819	GSP-606020/C	600	600	200	18.5
I-0819-1	GSP-605020/C	600	500	200	15.9
I-0819-2	GSP-705030/C	700	500	300	23.6
I-0820	GSP-806025/C	800	600	250	25.2
I-0820-1	GSP-806030/C	800	600	300	26.6
I-0820-2	GSP-806040/C	800	600	400	29.5
I-0821	GSP-1006030/C	1000	600	300	32.2
I-0821-1	GSP-1006040/C	1000	600	400	35.5
I-0822	GSP-1206040/C	1200	600	400	56.6
I-0823	GSP-13010040/C	1300	1000	400	68.7

ACCESORIOS PARA GABINETES DE PARED

PUERTA INTERNA ABATIBLE

Permite el montaje de instrumentos y dispositivos de control (instrumentos de medición, pulsadores, luces piloto, etc.). A elección puede montarse para apertura de izquierda o derecha.

CÓDIGO	REFERENCIA	DIMENSIONES (mm)		PESO Aprox.(Kg)
		ALTO (H)	ANCHO (W)	
H0814-P	PISP-4030	400	300	1.50
H0816-P	PISP-4040	400	400	1.98
H0817-P	PISP-6040	600	400	3.00
H0819-P	PISP-6050	600	600	5.34
H0820-P	PISP-8050	800	600	7.00
H0823-P	PISP-10060	1000	600	8.87



MARCO BASCULANTE DE 15°

Transforma al Gabinete en un rack de 15° para uso de elementos de cableado estructurado. El número de U_r depende de la altura del Gabinete. Su diseño permite una fácil apertura para realizar conexiones o mantenimiento. A elección puede montarse para apertura izquierda o derecha.



CÓDIGO	REFERENCIA	DIMENSIONES (mm)		PESO Aprox.(Kg)
		ALTO (H)	ANCHO (W)	
H0820-R19	19SP-8060	800	600	6.43
H0821-R19	19SP-10060	1000	600	7.75

Fuente: (Mayoristas, 2017)

Anexo 8.

Especificaciones técnicas de los ángulos de acero.

ÁNGULOS

DESCRIPCIÓN

Perfil angular a 90° de alas iguales, en acero de baja aleación, laminados en caliente.

USOS

En la construcción de estructuras espaciales, celosías, vigas, columnas, arcos, diafragmas, cerchas.

Metal-mecánica: Industria de muebles; carrocerías para vehículos, puertas, ventanas. Elementos ornamentales, verjas y cerramientos. Herramientas manuales. Refuerzo para anclaje de maquinaria.

NORMAS TÉCNICAS

NTE INEN 2215 (Ecuatoriana)

Perfiles de acero laminados en caliente.

NTE INEN 2224

Perfiles angulares estructurales de acero laminados al caliente.

ASTM A36 (Americana)

Standard Specification for Carbon Structural Steel

DIMENSIÓN		MASA NOMINAL		TOLERANCIAS	
mm		kg/m	kg/6m	Ala mm	Espesor mm
20 x 2		0,59	3,612	± 1	± 0,50
20 x 3		0,871	5,226		
25 x 3		1,107	6,642		
25 x 4		1,444	8,664		
25 x 6		2,072	12,432		
30 x 3		1,342	8,052		
30 x 4		1,758	10,548		
30 x 6		2,543	15,258		
40 x 3		1,813	10,878		
40 x 4		2,386	14,316		
40 x 6		3,485	20,910		
50 x 3		2,284	13,704		
50 x 4		3,014	18,084		
50 x 6		4,427	26,562		

Tolerancia de longitud: ±50mm

PROPIEDADES MECÁNICAS	kgf/mm ²	MPa	Grado E185
Límite de fluencia mínimo	24	235	185
Resistencia a la tracción mínima	34	340	300
Resistencia a la tracción máxima	48	470	540
ALARGAMIENTO (%) MÍNIMO CON PROBETA L ₀ =5,65 * √A ₀ = 28%			18

Fuente: (Adelca, 2017)

Especificaciones técnicas de las planchas de aluminio.

ALUMINIO PLANCHAS LISAS

Especificaciones Generales:

- **Descripción:** ASTM A 1200 - TEMPLE H 14
- **Aplicaciones:** Estructuras de furgones para camiones. Forros interiores de buses. Recubrimiento de paredes. Utensilios de cocina. Recipientes para alimentos líquidos corrosivos. Fabricación de estructuras para lámparas. Álabes de turbinas. Ductos. Maquinado de piezas automotrices y de máquinas. Bandejas para alimentos
- **Dimensiones:** 1220 x 2440 mm (estándar)

Espesor mm	Resistencia Mecánica	% Elongación
0.7 - 4.00	127 - 135 Kg/mm ²	6.5 - 7.5

Composición Química %								
Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Mn

Fuente: (Dipac, 2017)

Especificaciones técnicas de las planchas de acero galvanizado.



PLANCHAS GALVANIZADAS

Especificaciones Generales

Acero base: Calidad Comercial o según tabla de Laminado al Frío

Norma: ASTM A653 (Norma de recubrimiento)

Espesores: 0,30mm a 2,50mm

Rollos: X 1219mm y por flejes

Planchas: 4 X 8 pies y medidas especiales

flor: Regular, Mínima, Zero

Recubrimiento		(Total ambas caras)	
Tipo	oz / pie ²	gr / m ²	
G-40	40	120	180
G-60	60	180	270
G-90	90	270	405

Fuente: (Dipac, 2017)

Especificaciones técnicas de las planchas de aluminio liso.



Cuadro de especificaciones:

Espesor	Ancho	Largo	Peso aprox.
mm.	mm.	mm.	Kg.
0.4	1000	2000	2,17
0.5	1000	2000	2,71
0.7	1000	2000	3,79
0.7	1220	2440	5,65
1.0	1000	2000	5,42
1.0	1220	2440	8,06
1.2	1220	2440	9,67
1.5	1000	2000	8,13
1.5	1220	2440	12,11
2.0	1000	2000	10,85
2.0	1220	2440	16,14
3.0	1220	2440	24,22
4.0	1220	2440	32,29

Otras dimensiones y espesores previa consulta

Fuente: (Dipac, 2017; PROACERO, 2017)

PLANOS