

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“ESTUDIO DE AISLANTES TÉRMICOS PARA CUBIERTA EN
PANELES SOLARES PLÁSTICOS Y SU INFLUENCIA SOBRE LA
EFICIENCIA PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA
APROVECHANDO LA ENERGÍA SOLAR ABSORBIDA EN LA
CIUDAD DE AMBATO”

AUTOR: Santiago Ramiro Peña Valencia

TUTOR: Ing. Mg. Santiago Cabrera

Ambato – Ecuador

2014

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del trabajo de investigación, con el tema “ESTUDIO DE AISLANTES TÉRMICOS PARA CUBIERTA EN PANELES SOLARES PLÁSTICOS Y SU INFLUENCIA SOBRE LA EFICIENCIA PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA APROVECHANDO LA ENERGÍA SOLAR ABSORBIDA EN LA CIUDAD DE AMBATO”, desarrollado por el estudiante Santiago Ramiro Peña Valencia, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, me permito informar que este ha sido concluido en su totalidad, y por tanto puede continuar con el respectivo trámite de graduación.

Ambato. Febrero, 2014

.....
Ing. Mg. Santiago Cabrera Anda
DOCENTE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORIA DE TRABAJO

Declaro que los criterios expresados en la investigación denominada “ESTUDIO DE AISLANTES TÉRMICOS PARA CUBIERTA EN PANELES SOLARES PLÁSTICOS Y SU INFLUENCIA SOBRE LA EFICIENCIA PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA APROVECHANDO LA ENERGÍA SOLAR ABSORBIDA EN LA CIUDAD DE AMBATO”, así como también las ideas, análisis, conclusiones y propuesta original es auténtica y de exclusiva responsabilidad de mi persona como autor de la presente investigación de grado.

Ambato, Febrero del 2014

EL AUTOR

.....

Egdo Santiago Ramiro Peña Valencia

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado primero a Dios, a mis padres Ramiro Peña y Ligia Valencia a mi hermana Greta, mi cuñado Patricio Acosta mis sobrinos, Joseph David, María Sol, María José, como también a Gabriela Galarza y muy especial a mi querida hija Doménica Peña quien fue el motor de mi vida que me impulso a seguir adelante; quienes siempre me han apoyado para alcanzar mis metas, con su gran apoyo y colaboración durante toda mi vida impulsándome a mi superación personal y profesional con su amor y paciencia.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por su sacrificio realizado por darme la oportunidad de estudiar y culminar con mis estudios, con su apoyo durante toda mi vida estudiantil. A mi hermana y cuñado por su apoyo tanto moralmente como económicamente cuando más necesitaba, a mis amigos quienes me dieron el impulso de seguir adelante para lograr a culminar mi carrera, a Gabriela Galarza por su apoyo incondicional en el desarrollo de esta tesis, a mi hija Doménica quien fue mi gran impulso de seguir adelante y lograr alcanzar esta meta.

Al Ing. Mg. Santiago Cabrera tutor de la presente tesis quien me ayudo compartiendo sus conocimientos, por su paciencia, su apoyo en todo el tiempo del desarrollo del presente trabajo de investigación.

A todos los ingenieros que con esfuerzo, dedicación y paciencia impartieron sus conocimientos llenándome de sabiduría e inteligencia y por su amistad brindada.

ÍNDICE

PÁGINAS PRELIMINARES

TEMA	I
CERTIFICACIÓN	II
AUTORIA DE TRABAJO	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.	XIV
SIMBOLOGÍA.....	XV
RESUMEN EJECUTIVO	XVIII

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.2.2 ANALISIS CRÍTICO.....	2
1.2.3 PROGNOSIS.....	3
1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES	4
1.2.6 DELIMITACIÓN.....	5
1.3 JUSTIFICACIÓN	5

1.4 OBJETIVOS	6
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	6
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	7
2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.....	9
2.3 RED DE CATEGORIAS FUNDAMENTALES	10
2.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	10
2.4.1 ENERGÍA SOLAR	10
2.4.3 TIPOS DE AISLAMIENTOS.....	20
2.4.4 TRANSFERENCIA DE CALOR	23
2.4.5 PARÁMETROS AMBIENTALES Y FÍSICOS	31
2.4.6 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	34
2.4.7 MISCELÁNEA DE FÓRMULAS.....	35
2.5 HIPÓTESIS.....	44
2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES.....	44
2.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	44
2.6.2. VARIABLE DEPENDIENTE.....	44
2.6.3 TÉRMINOS DE RELACIÓN.....	45
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA	

3.1 ENFOQUE.....	46
3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	46
3.2.1 MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN.....	46
3.2.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	46
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	47
3.3.1 POBLACIÓN.....	47
3.3.2 MUESTRA.....	48
3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	50
3.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	50
3.4.2. VARIABLE DEPENDIENTE	51
3.5. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	52
3.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	52
3.6.1 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	52

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	54
4.1.1 PRIMER DÍA.....	55
4.1.2 SEGUNDO DÍA.....	59
4.1.3 TERCER DÍA	63
4.1.4 CUARTO DÍA	67
4.1.5 QUINTO DÍA	71
4.1.6 SEXTO DÍA.....	75
4.1.7 SÉPTIMO DÍA.....	79

4.1.8 OCTAVO DÍA.....	81
4.2 INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	86
4.2.1 CONSIDERACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE SALIDA DEL AGUA SOBRE LA EFICIENCIA.	88
4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	88
CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1 CONCLUSIONES	93
5.2 RECOMENDACIONES.....	94
CAPÍTULO VI	
PROPUESTA	
6.1 DATOS INFORMATIVOS	95
6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.....	96
6.3 JUSTIFICACIÓN	96
6.4 OBJETIVOS	96
6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.....	96
6.5.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA	97
6.5.2 FACTIBILIDAD ECONÓMICA FINANCIERA	97
6.6 FUNDAMENTACIÓN:.....	102
6.6.1 CÁLCULOS TÉRMICOS	102
6.7 METODOLOGÍA	122
6.8 ADMINISTRACIÓN.....	125

6.8.1 PLANIFICACIÓN Y MANTENIMIENTO	125
6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN	126
C. MATERIALES DE REFERENCIA.....	127
PÁGINAS WEB.....	127

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1 Colector solar plano de circulación natural	8
FIGURA 2-2 Calentador solar de tubos al vacío	8
FIGURA 2-3 Red de categorías fundamentales.....	10
FIGURA 2-4 Diagrama de la incidencia del sol	12
FIGURA 2-5 Colector Solar Térmico de Placa Plana	15
FIGURA 2-6 Colector solar de polipropileno.....	18
FIGURA 2-7 (A) Colector solar de EPAD, (B) Detalle de la fabricación.....	19
FIGURA 2-8 Colector solar para piscinas de EPDM	20
FIGURA 2-9 Colectores Solares de polipropileno	21
FIGURA 2-10 Esquema de una instalación de un calentador solar	22
FIGURA 2-11 Colectores Solares de polipropileno	23
FIGURA 2-12 Proceso de conducción.....	25
FIGURA 2-13 Movimiento por convección	27
FIGURA 2-14 Velocidad de flujo de volumen.....	37
FIGURA 2-15 Velocidad de flujo másico	38
FIGURA 3-1 Foto-radiómetro Delta OHM modelo HD 2102.2.....	48
FIGURA 3-2 Sonda de medidas de irradiación LP 471RAD	49
FIGURA 3-3 Anemómetro Digital Testo 410-2	49
FIGURA 6-1 Esquema de la distribución de las resistencias térmicas.....	102
FIGURA 6-2 Ubicación de tuberías en el panel de polipropileno	104
FIGURA 6-3 Esquema de la distribución de las resistencias térmicas.....	108
FIGURA 6-4 Calentador solar de tubos de polipropileno	123
FIGURA 6-5 Salida del agua del panel a la temperatura deseada al final del ensayo.	123

ÍNDICE DE GRAFICOS

GRÁFICA 4-1 Radiación solar vs Tiempo.....	55
GRÁFICA 4-2 Temperatura ambiental vs Tiempo.....	56
GRÁFICA 4-3 Temperatura de salida de agua vs Radiación	57
GRÁFICA 4-4 Temperatura de salida de agua vs Tiempo	58
GRÁFICA 4-5 Radiación solar Vs Tiempo	59
GRÁFICA 4-6 Temperatura ambiental vs Tiempo.....	60
GRÁFICA 4-7 Temperatura de salida de agua vs Radiación	61
GRÁFICA 4-8 Temperatura de salida de agua vs Tiempo	62
GRÁFICA 4-9 Radiación solar Vs Tiempo	63
GRÁFICA 4-10 Temperatura ambiental vs Tiempo.....	64
GRÁFICA 4-11 Temperatura de salida de agua vs Radiación	65
GRÁFICA 4-12 Temperatura de salida de agua vs Tiempo	66
GRÁFICA 4-13 Radiación solar Vs Tiempo	67
GRÁFICA 4-14 Temperatura ambiental Vs Tiempo.....	68
GRÁFICA 4-15 Temperatura de salida de agua vs Radiación	69
GRÁFICA 4-16 Temperatura de salida de agua vs Tiempo	70
GRÁFICA 4-17 Radiación solar Vs Tiempo	71
GRÁFICA 4-18 Temperatura ambiental Vs Tiempo.....	72
GRÁFICA 4-19 Temperatura de salida de agua vs Radiación	73
GRÁFICA 4-20 Temperatura de salida de agua vs Tiempo	74
GRÁFICA 4-21 Radiación solar Vs Tiempo	75
GRÁFICA 4-22 Temperatura ambiental Vs Tiempo.....	76
GRÁFICA 4-23 Temperatura de salida de agua vs Radiación	77
GRÁFICA 4-24 Temperatura de salida de agua vs Tiempo	78
GRÁFICA 4-25 Temperatura con aislamiento vs Tiempo	79
GRÁFICA 4-26 Temperatura con aislamiento vs Radiación	80
GRÁFICA 4-27 Temperatura sin aislamiento vs Tiempo	81
GRÁFICA 4-28 Temperatura sin aislamiento vs Radiación.....	82

GRÁFICA 4-29 Temperatura de salida de agua sin aislamiento vs Radiación de los seis días 83

GRÁFICA 4-30 Temperatura de salida de agua con aislamiento vs Radiación de los seis días 84

GRAFICA 4-31 Temperaturas de Agua Promedio vs Radiaciones Promedio 85

GRÁFICA 4-32 Temperatura agua vs Numero días..... 87

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 2-1 Valores de convecciones.....	36
Tabla 4-1 Diferencia de temperaturas entre el tubo sin aislamiento y con aislamiento	86
TABLA 4-2 Diferencia de temperaturas entre el panel sin y con aislamiento	88
TABLA 4-3 Tabla de significancia al 5%.....	90
TABLA 4-4 Tabla de valores de significancia al 1%	91
Tabla 6-1 Datos Generales de la Propuesta.....	95
Tabla 6-2 Costo de materiales para la estructura del panel solar	97
Tabla 6-3 Costo de materiales para la base del tanque de almacenamiento	98
Tabla 6-4 Costo de materiales para la caja recolectora.....	98
Tabla 6-5 Costo de materiales para la estructura del panel solar	99
Tabla 6-6 Costo de materiales para las conexiones	100
Tabla 6-7 Costo de materiales para las conexiones	101
Tabla 6-8 Costo final del calentador solar de tubos de polipropileno.....	101
Tabla 6-9 Datos para pérdidas de calor en el tubo de polipropileno sin aislamiento	103
Tabla 6-10 Datos a $T_f - tubo$ del agua	106
Tabla 6-11 Datos para perdidas de calor en el tubo de polipropileno con aislamiento	108
Tabla 6-12 Datos a $T_f - int$ del aire.....	110
Tabla 6-13 Datos a $T_f - int$ del agua	113
Tabla 6-14 Datos para el cálculo del calor útil del colector de polipropileno	115
Tabla 6-15 Valores para el enfriamiento del agua	117
Tabla 6-16 Datos para el cálculo de la eficiencia del colector de polipropileno	118
Tabla 6-17 Datos para cálculo de comparaciones.....	121
Tabla 6-18 Especificaciones Técnicas del Colector Solar y sus partes	124

SIMBOLOGÍA.

A_C , Área sección transversal, en $[m^2]$

A_S , Área de la superficie de transferencia de calor del tubo, en $[m^2]$

A_{ST} , Área de la superficie total de transferencia de calor, en $[m^2]$

A_n , Ancho del aislante térmico en la cubierta, en $[m]$

A_{sp} , Área de la superficie de transferencia de calor del aislante térmico en la cubierta, en $[m^2]$

C_p , Calor específico del fluido de transferencia de calor, en $[J]$

D , Diámetro del tubo, en $[m]$

g , Gravedad, en $[m/s^2]$

G_s , Irradiación Solar, en $[W/m^2]$

h , Coeficiente de transferencias de calor por convección $[W/m \text{ } ^\circ C]$

k , Conductividad térmica $[W/m \text{ } ^\circ C]$

L_t , Longitud del tubo $[m]$

l , Longitud del aislante térmico en la cubierta, en $[m]$

m_{tubos} , La masa de agua en los tubos de calentamiento, en $[Kg]$

\dot{m}_{TOTAL} , Flujo másico total, en $[Kg/s]$

N_{tubos} , Numero de tubos

Nu , Numero de Nusselt

Pr , Numero de Prandtl

q , Perdidas de calor [W]

Q_{UTIL} , Calor útil [W]

r_1 , Radio interno del tubo [m]

r_2 , Radio exterior del tubo [m]

R_{AD} , Numero de Rayleigh

Re , Numero de Reynolds

R_T , Resistencia Total o Equivalente del sistema, en [°C/W]

t , Tiempo para calentamiento de agua, en [s]

T_a , Temperatura ambiental, en [°C]

T_e , Temperatura inicial del agua [°C]

T_i , Temperatura final del agua [°C]

T_p , Temperatura del aislante térmico de la cubierta, en [°C]

T_{ca} , Temperatura con aislante térmico, en [°C]

T_{sa} , Temperatura sin aislante térmico, en [°C]

T_{sp} , Temperatura de la superficie del tubo de polipropileno, en [°C]

T_1 , Temperatura interna del tubo de polipropileno, en [°C]

T_2 , Temperatura externa del tubo de polipropileno, en [°C]

T_3 , Temperatura interna del plástico aislante de la cubierta, en [°C]

T_e , Temperatura inicial del agua, en [°C]

$T_{\alpha 1}$, Temperatura final del agua, en [°C]

V_{PROM} , Velocidad promedio del agua, en [m/s]

V_{TOTAL} , Velocidad Total en el sistema, en [m/s]

V_v , Velocidad de viento, en [m/s]

V , Gasto volumétrico del agua, en [m³/s]

\dot{W}_{BOMBA} , Potencia de la bomba de agua, en [W]

ΔP , Incremento de Presión, en [Pa]

ΔT , Variación de temperaturas inicial y final del tubo, en [°C]

GRIEGAS

ε , Emisividad

μ , Viscosidad Dinámica [Kg/m s]

ρ , Densidad del agua [Kg/m³]

ν , Viscosidad Cinemática, en [m² /s]

η_T , Eficiencia térmica total

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo está orientado al estudio de aislantes térmicos en la cubierta de un panel solar de polipropileno realizando mediciones de: irradiación, temperatura a la entrada y salida de agua, temperatura ambiental, velocidad de viento, para ello se utilizaron fichas técnicas como ayuda para registrar los datos necesarios para la realización de la investigación.

Realizamos un corte al panel dividiéndole en dos partes, cada una constituida de 78 tubos de calentamiento lo cual se hizo para tomar las medidas al mismo instante con y sin aislamiento.

Tomamos la medida de entrada de agua al panel de 17 °C, luego se procedió a la medición cada 15 minutos de la irradiación, de la temperatura de salida de agua con y sin aislamiento, la velocidad de viento y la temperatura ambiental.

Los resultados obtenidos en la medición son de 511,35 W/m² de irradiación promedio con la cual se alcanzó una temperatura a la salida del agua del panel con aislamiento de 46 °C y 40°C sin aislamiento.

Logrando obtener como calor útil 180,48 W utilizando el aislante térmico y 143,14 W de calor útil sin aislamiento.

Llegando a obtener pérdidas de calor desde el interior del tubo hacia el ambiente de 13,96 W sin aislamiento y 9,48 W con aislamiento.

Lo cual alcanzamos una eficiencia de nuestro panel de 44% con aislamiento y 35% sin aislamiento logrando cumplir con nuestra hipótesis de aumentar la eficiencia en un 9% es decir llegando a alcanzar una mejor captación de la energía solar en la ciudad de Ambato en los meses de Junio y Julio del año 2013.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN.

ESTUDIO DE AISLANTES TÉRMICOS PARA CUBIERTA EN PANELES SOLARES PLÁSTICOS Y SU INFLUENCIA SOBRE LA EFICIENCIA PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA APROVECHANDO LA ENERGÍA SOLAR ABSORBIDA EN LA CIUDAD DE AMBATO

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

La realización del presente proyecto surge de la mano con las necesidades ya conocidas a nivel mundial como el cambio climático, la contaminación, el calentamiento global y el uso excesivo de las fuentes de energía como la utilización de petróleo, la electricidad etc. Es primordial el estudio y conocimiento más preciso y afondo de las fuentes de Energía Alternativa como la energía solar, hidráulica, eólica, geotérmicas entre otras. Como ya lo han hecho en varios países del mundo como España, México, Japón, China y Estados Unidos que se han preocupado por investigar nuevas formas de captación de energía solar implementando sistemas más eficientes, que permite de mejor manera aprovechar la energía que recibimos por el sol cambiando varios parámetros termo físicos de la estructura en los paneles solares más utilizados para la captación de energía tanto como la placa plana, de tubos al vacío y ahora los paneles solares plásticos ya que los rayos solares siempre impactan a los tubos con un ángulo perpendicular a la superficie, lo cual nos permite reducir la reflexión solar y aumentar la cantidad total de radiación solar expuesta cada día a los colectores.

Con el estudio a fondo de este tipo de energía alternativa los países mencionados han aprovechado con un alto porcentaje la utilización de este tipo de equipos, porque con los mismos tienen muchas ventajas sobre los calentadores convencionales el más importante es el económico ya que ahorran en mantenimiento y otro tipo de gastos.

En el Ecuador no existe muchos estudios para captar la energía solar de mejor manera para la utilización en calentadores de agua en lugares domésticos como en empresas y por qué no mencionar en un campo grande como en la utilización para el calentamiento de agua en piscinas ya que la utilización de este tipo de calentadores solares nos ayudaría a economizar y tener mejores ingresos, porque estamos acostumbrados a la utilización de calentadores de agua en los cuales empleamos electricidad y gas lo cual resulta muy costoso.

En nuestra ciudad Ambato por ende en nuestra universidad se ha seguido estudiando los calentadores solares convencionales de placa plana los mismos que necesitan el contacto directo de los rayos solares a la placa por lo cual no aprovechan al máximo la energía solar con cual tenemos mayor pérdida de calor cuando la temperatura baja ya que interviene la conducción como también la convección lo cual no permite que la eficiencia de este tipo de calentador de agua no sea satisfactoria.

1.2.2 ANALISIS CRÍTICO

En la actualidad el empleo o la utilización de los calentadores solares en la Ingeniería Mecánica es muy importante, ya que estamos dando una alternativa para las personas más conveniente económicamente como también estamos ayudando a la naturaleza al reducir la contaminación ambiental protegiendo al mundo del calentamiento global con la no utilización de los derivados del petróleo como el combustible y como también el gas licuado.

El empleo de los calentadores solares convencionales de placa plana tiene el problema que el costo de dicho sistema es más elevado porque su tubería es de cobre y dicho material es costoso, también los calentadores solares al vacío están

constituidos sus tubos por vidrio los cuales también su costo es elevado con relación a los calentadores solares de tubos de polipropileno.

La energía solar puede ser aprovechada de mejor manera y al máximo utilizando el sistema de calentador solar de tubos de polipropileno, ya que se investigará de qué manera podremos obtener un mejor rendimiento de los calentadores de agua con lo cual podremos lograr que el agua alcance temperaturas elevadas como los calentadores comunes de placa plana como los de tubo de vacío.

Para lo cual utilizaremos un tipo de aislante térmico para la cubierta del panel de polipropileno para realizar el efecto invernadero, la cual nos ayudara de mejor manera aprovechar la captación de energía solar por ende aumentaremos la temperatura de salida del agua del panel solar.

Por lo expuesto anteriormente se busca alcanzar soluciones adecuadas para tener mayor beneficio de la energía alternativa como es la energía solar disponible naturalmente y muy poco explotada en este país peor aún en nuestra ciudad y así poder garantizar una eficiencia mayor de los calentadores de agua.

1.2.3 PROGNOSIS

El desarrollo de esta investigación es muy necesaria ya que se lo realizará por medio de un estudio específico sobre el sistema de paneles solares de polipropileno con el fin de aumentar las temperaturas con la utilización de algún tipo de aislamiento en la cubierta para aprovechar al máximo e incluso mejorar la captación de energía solar con una mayor proporción, haciéndole a este tipo de panel solar plástico más eficiente que el panel solar plástico que no posee en su estructura ningún tipo de aislamiento, lo cual nos permitirá que los tubos de polipropileno al estar en contacto directamente con los rayos solares captarán la energía solar al máximo en horas comprendidas entre 10:30 horas de la mañana hasta las 14:15 horas, la cual nos ayudará a una mejor eficiencia de nuestro panel solar plástico para calentamiento de agua.

Por la cual es muy importante su desarrollo, ya que al no realizarse, no se podrá comprobar si nuestro panel con tubos de polipropileno utilizando aislamiento es más eficiente que los paneles solares plásticos sin aislamiento e incluso más económicos que los calentadores convencionales de placa plana como también con los calentadores al vacío, de tal manera nos ayudará al mejoramiento de los sistemas de calentamiento para aprovechar al máximo la energía solar disponible en la ciudad de Ambato como también nos ayudará al ahorro económico de las personas que emplean dichos sistemas.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿La aplicación de aislantes térmicos para cubierta incidirá sobre la eficiencia en paneles solares plásticos?

1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES

¿Existe en el país estudios acerca de aislantes térmicos para cubierta que se puede emplear en paneles solares plásticos?

¿Con la utilización de aislamiento térmico en la cubierta en paneles solares plásticos se puede alcanzar mayores temperaturas en el calentamiento de agua?

¿Mediante la realización del estudio se podrá comparar los resultados obtenidos en la práctica con el panel solar plástico con aislamiento con los resultados teóricos del panel solar plástico sin aislamiento?

¿Con el desarrollo del estudio se podrá incrementar la eficiencia del panel solar plástico?

1.2.6 DELIMITACIÓN

1.2.6.1 DELIMITACIÓN TEMPORAL

El estudio de aislantes térmicos para cubierta en paneles solares plásticos y su influencia sobre la eficiencia para el calentamiento de agua aprovechando la energía solar absorbida en la ciudad de Ambato se realizó en la fecha comprendida entre Marzo del 2013 hasta Febrero del 2014.

1.2.6.2 DELIMITACIÓN ESPACIAL

La presente investigación se realizó en la provincia de Tungurahua en el Cantón Ambato en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

1.2.6.3 DELIMITACIÓN CONTENIDO

Las materias necesarias para el estudio del tema de investigación son las siguientes: Transferencia de Calor, Mecánica de Fluidos, Diseño de Elementos Mecánicos y Proyectos Industriales.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Con la realización de este tema de investigación se podrá estudiar si al utilizar un aislamiento adecuado en los paneles solares plásticos se podrá aumentar la temperatura cuyo efecto nos permitirá mejorar la eficiencia y aprovechar al máximo la energía solar absorbida para el calentamiento de agua.

Por otra parte con el estudio de este tipo de paneles solares de tubos de polipropileno con aislamiento podemos brindar a las personas un sistema más eficiente con un rango de temperatura mayor que los paneles solares plásticos que no poseen ningún tipo de aislamiento, que pueda estar al alcance del bolsillo de las personas que sueñan con un calentador solar pero no pueden adquirirlo por los costos altos que existen en

el mercado, contribuyendo de mejor manera para el desarrollo intelectual de los estudiantes.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Diagnosticar el efecto de aplicar aislantes térmicos para cubierta sobre la eficiencia de calentamiento en el panel solar plástico.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar qué tipo de aislante térmico para cubierta es el más adecuado para utilizar en los paneles solares plásticos
- Comparar los resultados obtenidos en la práctica del panel solar plástico con aislamiento térmico en la cubierta con los resultados del panel solar plástico sin aislamiento.
- Plantear una propuesta de solución al problema de cómo poder aumentar la eficiencia en paneles solares plásticos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Años atrás se han realizado varios estudios en la Universidad Técnica de Ambato para aprovechar la energía solar, los cuales utilizaremos como antecedentes de nuestra investigación:

El estudio del ESPECTRO DE IRRADIACIÓN realizado por el Ingeniero Byron Toalombo, en este tema se sacó como conclusión que la probabilidad de que se presente un medio día soleado fue del 21%, parcial nublado de un 43.7% y nublado del 35.3%, con lo que se resume manifestando que dos de cada tres días en la hora meridiana fueron potencialmente aprovechables en Ambato. La temperatura ambiente promedio para medio día soleado fue de 25.3°C, la máxima temperatura presentada en el medio día fue de 33°C. La humedad relativa en promedio para el medio día no excedió el 40%. La velocidad de viento promedio para el medio día fue de 3m/s, la máxima se aproximó a 14 m/s a dos metros de altura sobre el nivel del piso. Se evidenció que en Ambato existe una pequeña variación de los parámetros estudiados en función de los meses del año.



FIGURA 2-1 Colector solar plano de circulación natural

Fuente: Tesis del Ing. Byron Toalombo

Estudio de la influencia de la tecnología de vacío realizado por el Ingeniero Víctor Salcedo, con el uso de la tecnología de vacío se logró calentar una cantidad de agua considerable y se alcanza una temperatura satisfactoria de aproximadamente 62°C , para alcanzar esta temperatura se necesita de un tiempo de seis horas y se logra almacenar una energía útil de aproximadamente 1854,61 W.

Es por este motivo que se propone el diseño y construcción de un calentador solar de tubos al vacío para poder evaluar su eficiencia, la cual fue de aproximadamente del 81,8 %, con estos resultados obtenidos se puede comprobar que los calentadores con tecnología de vacío son superiores a los calentadores convencionales



FIGURA 2-2 Calentador solar de tubos al vacío

Fuente: Tesis del Ing. Víctor Salcedo

Ahora el tema propuesto en esta investigación es el estudio de paneles solares plásticos con aislamiento, que tiene características diferentes a los paneles solares plásticos sin aislamiento, los de placa plana y también los de tubo al vacío por la cual el tema de investigación es estudiar los diferentes tipos de aislamientos que podamos emplear en los paneles solares plásticos para medir las temperaturas de entrada como

de salida por ende podremos calcular la eficiencia que tendrá nuestro panel solar con aislamiento con relación a los paneles solares plásticos sin aislamiento, lo cual nos permitirá sacar conclusiones si es o no favorable y necesario la utilización de aislamiento en paneles solares plásticos.

Otra fuente de investigación es la información técnica de la empresa HELIOLCOL quien se ha especializado en los paneles solares plásticos.

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

La utilización de paneles solares de polipropileno con aislamiento térmico en la cubierta nos ayudaría en zonas rurales alejadas, que no disponen de tecnología, ni tienen la posibilidad económica de utilizar duchas eléctricas ni comprar calefones a gas por su alto costo y porque dichos calentadores necesitan de mantenimiento cada tres meses para que no sufran averías en sus componentes.

Con el empleo de este tipo de paneles plásticos con aislamiento en la cubierta ayudaremos a disminuir el impacto ambiental ya que reduciremos el consumo de energía eléctrica como la utilización del gas GLP necesario para el calentamiento del agua en los calefones.

2.3 RED DE CATEGORIAS FUNDAMENTALES

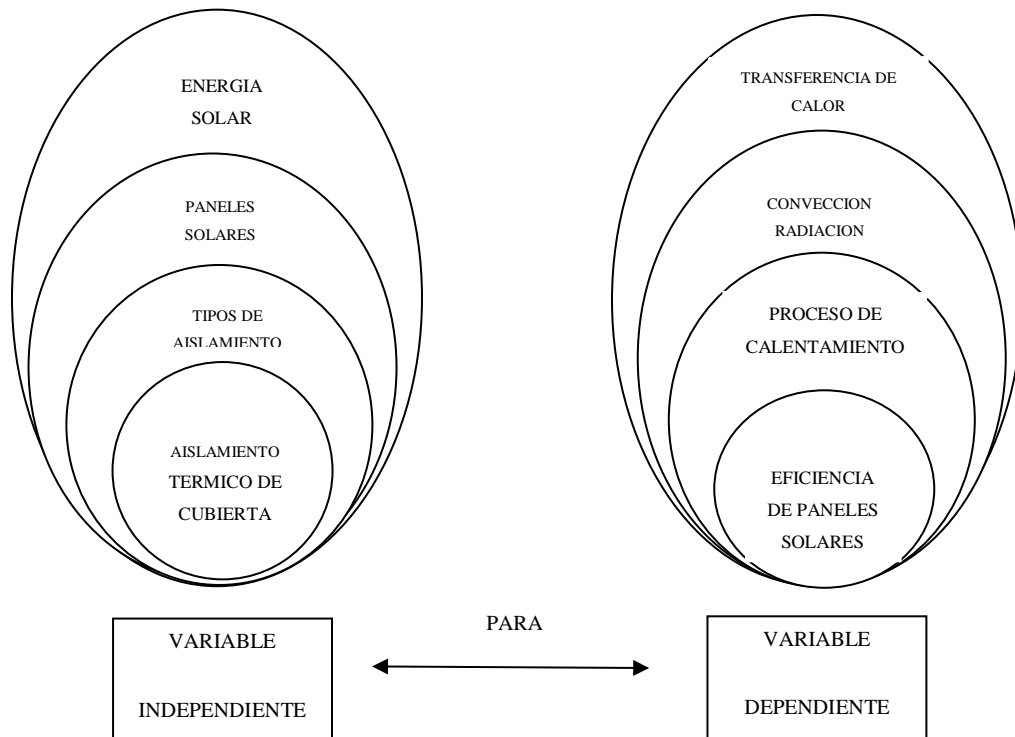


FIGURA 2-3 Red de categorías fundamentales

Fuente: Autor

2.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.4.1 ENERGÍA SOLAR

Es la energía adquirida aprovechando la radiación electromagnética procedente del Sol.

Desde la antigüedad la radiación solar que alcanza la Tierra ha sido aprovechada por el ser humano, mediante varias tecnologías que han ido evolucionando con el tiempo. En la actualidad, el calor y la luz del Sol son aprovechadas por medio de captadores como células fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos, que pueden transformarla en energía eléctrica o térmica. Es una de las llamadas energías

renovables o energías limpias, que puede hacer considerables contribuciones a resolver algunos de los más urgentes problemas que afronta la Humanidad.

Las diferentes tecnologías solares se clasifican en pasivas o activas en función de la forma en que capturan, convierten y distribuyen la energía solar. Las tecnologías activas incluyen el uso de paneles fotovoltaicos y colectores térmicos para recolectar la energía. Entre las técnicas pasivas, se encuentran diferentes técnicas enmarcadas en la arquitectura bioclimática: la orientación de los edificios al Sol, la selección de materiales con una masa térmica favorable o que tengan propiedades para la dispersión de luz, así como el diseño de espacios mediante ventilación natural.

En 2011, la Agencia Internacional de la Energía se expresó en los siguientes términos: "el desarrollo de tecnologías solares limpias, baratas e inagotables supondrá un enorme beneficio a largo plazo. Aumentará la seguridad energética de los países mediante el uso de una fuente de energía local, inagotable y, aún más importante, independiente de importaciones, aumentará la sostenibilidad, reducirá la contaminación, disminuirá los costes de la mitigación del cambio climático, y evitará la subida excesiva de los precios de los combustibles fósiles. Estas ventajas son globales. De esta manera, los costes para su incentivo y desarrollo deben ser considerados inversiones; deben ser realizadas de forma sabia y deben ser ampliamente difundidas".

La fuente de energía solar más desarrollada en la actualidad es la energía solar fotovoltaica. Según informes de la organización ecologista Greenpeace, la energía solar fotovoltaica podría suministrar electricidad a dos tercios de la población mundial en 2030.

ENERGIA PROVENIENTE DEL SOL.

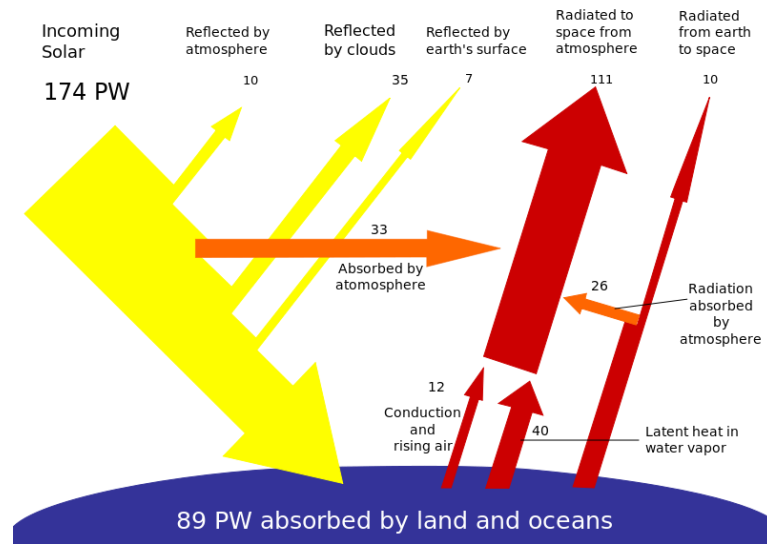


FIGURA 2-4 Diagrama de la incidencia del sol

Fuente: Smil (1991), p. 240

Aproximadamente la mitad de la energía que proviene del Sol alcanza la superficie terrestre.

La Tierra recibe 174 petavatios (10^{15} vatios) de radiación solar entrante (insolación) desde la capa más alta de la atmósfera. Aproximadamente el 30% es reflejada de vuelta al espacio mientras que el resto es absorbida por las nubes, los océanos y las masas terrestres. El espectro electromagnético de la luz solar en la superficie terrestre está ocupado principalmente por luz visible y rangos de infrarrojos con una pequeña parte de radiación ultravioleta.

La potencia de la radiación varía según el momento del día; las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de radiación el valor es de aproximadamente 1000 W/m^2 en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiación.

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

La irradiación directa normal (o perpendicular a los rayos solares) fuera de la atmósfera, recibe el nombre de constante solar y tiene un valor medio de 1366 W/m^2 (que corresponde a un valor máximo en el perihelio de 1395 W/m^2 y un valor mínimo en el afelio de 1308 W/m^2).

La radiación absorbida por los océanos, las nubes, el aire y las masas de tierra incrementan la temperatura de éstas. El aire calentado es el que contiene agua evaporada que asciende de los océanos, y también en parte de los continentes, causando circulación atmosférica o convección. Cuando el aire asciende a las capas altas, donde la temperatura es baja, va disminuyendo su temperatura hasta que el vapor de agua se condensa formando nubes. El calor latente de la condensación del agua amplifica la convección, produciendo fenómenos como el viento, borrascas y anticiclones. La energía solar absorbida por los océanos y masas terrestres mantiene la superficie a $14 \text{ }^\circ\text{C}$. Para la fotosíntesis de las plantas verdes la energía solar se convierte en energía química, que produce alimento, madera y biomasa, de la cual derivan también los combustibles fósiles.

2.4.1.1 CONSTANTE SOLAR.

La irradiación directa normal fuera de la atmósfera, recibe el nombre de constante solar G_{sc} y tiene un valor medio de $1353 \text{ [W/m}^2]$ (que corresponde a un valor máximo en el perihelio de $1395 \text{ [W/m}^2]$ y un valor mínimo en el afelio de $1308 \text{ [W/m}^2]$), que se define como la energía instantánea proveniente del sol, por unidad de tiempo, recibida sobre una superficie perpendicular a la dirección de

propagación de la radiación, a una distancia de 1 UA (Unidad Astronómica) (1,495x10¹¹ Km) del sol y fuera de la atmosfera terrestre. Esta cantidad es muy utilizada en la energía solar. Su valor es estimado con un error de ±1,5%:

$$G_{SC} = 1353 \frac{w}{m^2} = 4872 \frac{KJ}{hm^2}$$

2.4.1.2 COLECTOR SOLAR.

También conocidos como *captador solar*, es cualquier dispositivo diseñado para recoger la energía irradiada por el sol y convertirla en energía térmica.

Los colectores de acuerdo a la temperatura que alcanza el fluido de trabajo se dividen en dos grandes grupos: los captadores de baja temperatura, utilizados fundamentalmente en sistemas domésticos de calefacción y ACS, y los colectores de alta temperatura, conformados mediante espejos, y utilizados generalmente para producir energía eléctrica.

2.4.1.2.1 Colectores de baja temperatura

a) Colector Solar Plano

También llamado *panel solar térmico*, consiste en una caja plana metálica por la que circula un fluido, que se calienta a su paso por el panel. Puede ser a su vez:

- Colector plano protegido: con un vidrio que limita las pérdidas de calor.
- Colector plano no protegido: sistema más económico y de bajo rendimiento, utilizado esencialmente para climatización de piscinas.

Los colectores solares planos funcionan aprovechando el *efecto invernadero*, el mismo principio que se puede experimentar al entrar en un coche aparcado al sol en verano. El vidrio actúa como filtro para ciertas longitudes de onda de la luz solar, así deja pasar fundamentalmente la luz visible, y es menos transparente con las ondas infrarrojas de menor energía.

El sol incide sobre la cubierta de vidrio del colector, que siendo muy transparente a la longitud de onda de la radiación visible, deja pasar la mayor parte de la energía. Ésta calienta entonces la placa colectora que, a su vez, se convierte en emisora de radiación en onda larga o (infrarrojos), menos energética. Pero como el vidrio es muy opaco para esas longitudes de onda, a pesar de las pérdidas por transmisión, (el vidrio es un mal aislante térmico), el recinto de la caja se calienta por encima de la temperatura exterior. Al paso por la caja, el fluido que circula por los conductos se calienta, y transporta esa energía térmica a donde se desee. El rendimiento de los colectores mejora cuanto menor sea la temperatura de trabajo, puesto que a mayor temperatura dentro de la caja (en relación con la exterior), mayores serán las pérdidas por transmisión en el vidrio. También, a mayor temperatura de la placa captadora, más energética será su radiación, y más transparencia tendrá el vidrio a ella, disminuyendo por tanto la eficiencia del colector. Los colectores solares planos no son tecnológicamente complejos, por lo que su margen de evolución es muy limitado. No obstante, actualmente consiguen captar hasta cerca del 80% de la energía recibida del sol.



FIGURA 2-5 Colector Solar Térmico de Placa Plana

Fuente: INEN NTE 2507. Rendimiento Térmico de Colectores Solares

Las aplicaciones más comunes de colectores solares planos son: preparación de agua caliente para uso sanitario, calefacción y climatización en piscinas.

b) Panel de Tubos de Vacío

Donde la superficie captadora está aislada del exterior por un doble tubo de vidrio que crea una cámara al vacío, para reducir las pérdidas por convección, son más eficientes que los colectores de placa plana. Existen dos sistemas:

- Flujo directo: el fluido circula por los tubos, como en los colectores planos.
- Flujo indirecto o Heat pipe: el calor evapora un fluido en el tubo, y este transmite su energía al condensarse en el extremo.

2.4.1.2.2 Colectores de alta temperatura

a) Concentrador Solar

En estos sistemas el fluido se calienta a alta temperatura mediante espejos parabólicos. Concentran la radiación solar en un área más pequeña, similar al principio de una lupa. Pueden ser:

- Sistemas lineales (disposición cilíndrica): el fluido se calienta al recorrer la línea situada en el foco de la parábola.
- Sistemas puntuales (disposición esférica): con forma de plato, utilizado para concentrar más los rayos y obtener así temperaturas más altas cuando la infraestructura es de dimensiones limitadas.

2.4.1.3 SISTEMA DE CIRCULACIÓN FORZADA

Es un sistema que utiliza una bomba hidráulica para hacer circular el fluido de transferencia en el dispositivo

2.4.1.3.1 Paneles Solares Plásticos

Los colectores de placa plana sin cubierta (constituidos apenas por absorbedores plásticos) son usados principalmente para el calentamiento de piscinas. Estos colectores se caracterizan por la falta de cobertura transparente y aislante térmica, así como de la estructura de soporte.

Materiales para los calentadores de plástico

Estos calentadores son hechos exclusivamente de plástico. Pueden ser duros y rígidos o blandos y flexibles, de acuerdo con la mezcla plástica. La utilización de plástico permite el funcionamiento del sistema solar con agua clorada en la piscina, pero siempre es necesario considerar el contenido de cloro. Una dosis elevada (a partir de los 5 mg/l) puede dañar el colector. Los límites exactos, a partir de los cuales ocurren daños, dependen de la composición del plástico.

Los tipos de plásticos que pueden ser usados son:

- EPDM, Monómero de Etileno PropilenoDieno;
- PP, Polipropileno;
- PE, Polietileno;
- PVC, Policloreto de vinilo
- ABS, Acrilonitrilo-butadienestireno

Debido a sus buenas propiedades hay dos materiales que son líderes en el mercado, a pesar de los elevados costos comparado con los otros materiales y son el EPDM y PP.

A continuación detallaremos 3 de estos materiales usados para calentar el agua de las piscinas:

Colectores de polipropileno

Los colectores o placas de polipropileno negro son una fuente de energía renovable y atóxica según sus propios fabricantes tienen las siguientes características:

- Son resistentes a lluvia, granizo congelamiento, rayos UV, acción de productos químicos y a la corrosión.
- Pueden calentar grandes volúmenes de agua con una alta velocidad de circulación.

- Son 50% más baratos que cualquier otro colector plano convencional con cubierta de cristal y aislamiento, también son mucho más livianos.
- No necesitan de mantenimiento, con un mayor tiempo de vida útil.
- Instalación barata y sencilla, mediante tuberías de PVC.
- Según la empresa Hidrosol este colector calienta el agua de la piscina entre 26 – 30°C.



FIGURA 2-6 Colector solar de polipropileno

Fuente: Soletrol

Collectores de polietileno de alta densidad (PEAD)

Las placas colectoras termoplásticas de alta densidad (PEAD) activadas contra la acción de los rayos UV, tienen las siguientes características según sus fabricantes:

- Son resistentes a choques, acciones de la naturaleza (congelamiento, granizo, lluvia),
- De fácil instalación y manutención.
- Resistencia a la corrosión, a aguas agresivas, a productos químicos;
- Resistencia a la formación de depósitos e incrustaciones;
- Bajo peso;
- Excelente relación costo-beneficio;
- Exclusivamente para uso en baja presión (0.5 bar) en termosifón, no posibilitando la utilización de presurizadores y bomba de flujo; flujo elevado, por placa,

- En sistemas de calentamiento de piscinas a 250litros/hora por placa de entrada la eficiencia energética media es de 82%
- Según la empresa Hidrosol este colector calienta el agua de la piscina entre 25 – 27°C.

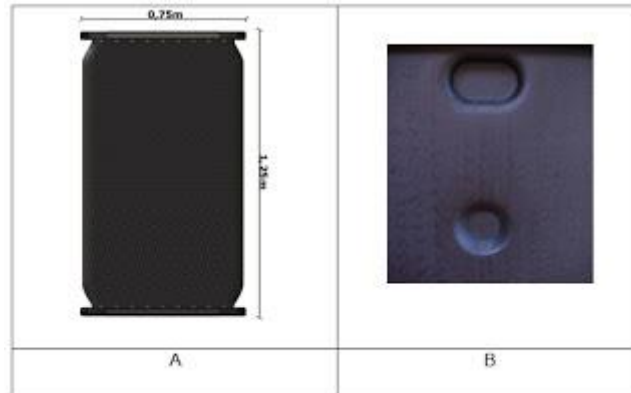


FIGURA 2-7 (A) Colector solar de EPDM, (B) Detalle de la fabricación

Fuente: Alo Solar Alpina

Colectores de EPDM “Monómero Etileno PropilenoDieno”

Los colectores de EPDM tienen las siguientes características:

- Alta resistencia a la intemperie y cambios climáticos.
- Resisten prolongada exposición al ozono y luz solar sin signos de envejecimiento.
- Estable a los rayos ultravioletas, incluso bajo exposición permanente al sol.
- Buena resistencia a la abrasión y poca absorción de agua.
- Bajo condiciones normales, se espera elevar entre 5 ° C a 8 ° C la temperatura del agua de la piscina en la época de primavera/verano, obteniendo de esta forma temperaturas entre 24°C a 31°C.
- Los colectores son flexibles – no son rígidos – lo que les permite tomar la forma de la estructura base.



FIGURA 2-8 Colector solar para piscinas de EPDM

Fuente: Alo Solar Alpina

2.4.3 TIPOS DE AISLAMIENTOS

El vacío es también muy buen aislante, pero es bueno saber que tanto el aire como el agua pueden ser buenos aislantes si están en reposo, o sea, si no existen corrientes de convección, porque su transferencia de calor por conducción es muy poca.

Así, el aislante que se use en la parte superior de un calentador solar, además de servir como aislamiento térmico, dejar pasar la radiación solar, es decir, ser transparente (o, mejor dicho, casi transparente, ya que en la práctica un cuerpo totalmente transparente no existe).

El vidrio es un material con propiedades especiales. Es casi transparente a la radiación solar, tanto visible como infrarroja y sin embargo es opaco a la radiación infrarroja lejana que emite el cuerpo calentado, o sea, actúa como una trampa de calor: el llamado efecto invernadero

Un calentador solar compacto está formado, en esencia, por un recipiente cerrado pintado de negro, con una entrada y una salida de agua, y convenientemente aislado por el fondo y los lados con cualquier material aislante y por arriba (por donde le llega la radiación solar) con un vidrio u otro material transparente.

El recipiente puede tener cualquier forma, pero preferentemente debe hacerse con un tubo de un diámetro adecuado, pues aguanta más presión y es más fácil taponarlo por los extremos. La tubería de salida debe ponerse en el lugar más alto del recipiente captador para evitar acumulación de aire dentro del mismo.



FIGURA 2-9 Colectores Solares de polipropileno

Fuente: Ison21 (2009)

Está cubierta debe sellarse para evitar que entre al calentador agua de lluvia. El recipiente puede ser hecho también con una tubería de aluminio o acero.

Se puede utilizar 2 vidrios separados uno encima del otro, de esta manera, se consigue mejor aislamiento de la cubierta y se conserva el agua caliente por más tiempo.

Un calentador bien construido y aislado, puede conservar el agua caliente incluso por la noche (si no se consume antes, como es natural). Puede observarse también que la cubierta de vidrio está inclinada.

Esto, aunque no es imprescindible, es aconsejable para aprovechar más la radiación solar en los meses de invierno, y tiene que ver con la posición del equipo a la hora del montaje.

Pero esta recomendación no puede ser esquemática. Para la instalación del calentador debe tenerse en cuenta, principalmente, las condiciones de sombra del lugar donde se coloque, así como el uso que se le quiere dar.

Si en la azotea de una casa, le da el sol desde las once de la mañana hasta toda la tarde porque hay un árbol o un edificio al este que da sombra, se debe orientar el calentador hacia la tarde, esto es, hacia el sudoeste, donde reciba más radiación solar durante el día.

Si se quiere instalar un calentador solar en un círculo infantil donde el agua caliente se utiliza desde las diez de la mañana hasta las dos de la tarde, se debe entonces orientar el calentador hacia la mañana, o sea, hacia el sudeste.

Esto es, cada caso debe analizarse teniendo en cuenta tanto las condiciones del lugar como las necesidades de consumo.

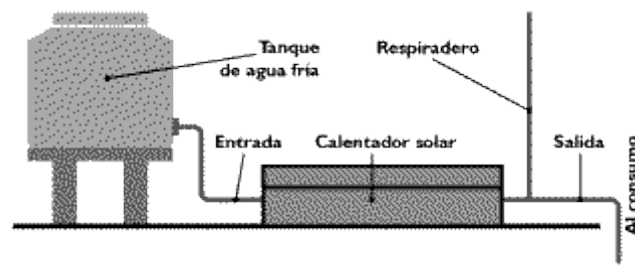


FIGURA 2-10 Esquema de una instalación de un calentador solar

Fuente: Cuba solar (Luis Bértiz)

Cobertura:

La cobertura de vidrio tiene la propiedad de reducir las pérdidas de calor por convección y radiación para el ambiente, lo que provoca el llamado efecto estufa. El vidrio plano es el más utilizado para cobertura de colectores planos, vidrio de 3-4 mm de espesor.

Colectores para las regiones de mayor altitud utilizan el vidrio duplo.

El montaje de vidrio a las diferentes cajas puede ocurrir sobre presión de perfiles metálicos empernados o rebitados. Utilizan el proceso de pegado de vidrio a perfiles de Aluminio por medio de materiales a base de silicona. El pegado del vidrio tiene la finalidad de impedir la entrada de agua, polvo e insectos dentro de la caja colectora.



FIGURA 2-11 Colectores Solares de polipropileno

Fuente: Soliclima Energía Solar.

2.4.4 TRANSFERENCIA DE CALOR

Es el paso de energía térmica desde un cuerpo que posee una mayor temperatura a otro cuerpo que posee menor temperatura. Cuando un cuerpo, por ejemplo, un objeto sólido o un fluido, está a una temperatura diferente de la de su entorno u otro cuerpo, la transferencia de energía térmica, también conocida como transferencia de calor o intercambio de calor, ocurre de tal manera que el cuerpo y su entorno alcancen equilibrio térmico. La transferencia de calor siempre ocurre desde un cuerpo más caliente a uno más frío, como resultado de la Segunda ley de la termodinámica. Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos en proximidad uno del otro, la transferencia de calor no puede ser detenida; solo puede hacerse más lenta.

2.4.4.1 CALOR

El **calor** es el proceso de transferencia de energía térmica entre diferentes cuerpos o diferentes zonas de un mismo cuerpo que se encuentran a distintas temperaturas. Este flujo de energía siempre ocurre desde el cuerpo de mayor temperatura hacia el cuerpo de menor temperatura, ocurriendo la transferencia hasta que ambos cuerpos se encuentren en equilibrio térmico (ejemplo: una bebida fría dejada en una habitación se entibia).

La energía puede ser transferida por diferentes mecanismos de transferencia, estos son la radiación, la conducción y la convección, aunque en la mayoría de los procesos reales todos se encuentran presentes en mayor o menor grado. Cabe resaltar que los cuerpos no tienen calor, sino energía interna.

La energía existe en varias formas. En este caso nos enfocamos en el calor, que es el proceso mediante el cual la energía se puede transferir

Los modos son los diferentes tipos de procesos de transferencia de calor. Hay tres tipos:

- **Conducción:** transferencia de calor que se produce a través de un medio estacionario -que puede ser un sólido o un fluido- cuando existe un gradiente de temperatura.
- **Convección:** transferencia de calor que ocurrirá entre una superficie y un fluido en movimiento cuando están a diferentes temperaturas.
- **Radiación:** en ausencia de un medio, existe una transferencia neta de calor por radiación entre dos superficies a diferentes temperaturas, debido a que todas las superficies con temperatura finita emiten energía en forma de ondas electromagnéticas.

2.4.4.2 CONDUCCIÓN

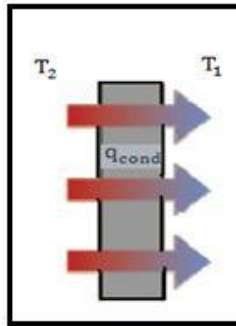


FIGURA 2-12 Proceso de conducción

Fuente: Cecilia Pacheco Lima (Mar 13, 2011)

La **conducción de calor** es un mecanismo de transferencia de energía térmica entre dos sistemas basado en el contacto directo de sus partículas sin flujo neto de materia y que tiende a igualar la temperatura dentro de un cuerpo o entre diferentes cuerpos en contacto por medio de transferencia de energía cinética de las partículas.

- El principal parámetro dependiente del material que regula la conducción de calor en los materiales es la conductividad térmica, una propiedad física que mide la capacidad de conducción de calor o capacidad de una sustancia de transferir el movimiento cinético de sus moléculas a sus propias moléculas adyacentes o a otras sustancias con las que está en contacto. La inversa de la conductividad térmica es la resistividad térmica, que es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor.

$$q_x = k * A * \left(\frac{T_2 - T_1}{L} \right) \quad \text{Ecuación (2.1)}$$

Dónde:

q_x : es la rapidez de conducción de calor en el sentido del eje x [W]

K : es la conductividad térmica del material [W/m °C]

A : es el área [m^2]

$T_2 - T_1$: es la diferencia de temperatura entre dos puntos separados por una distancia [$^{\circ}\text{C}$].

2.4.4.3 CONVECCIÓN

Es el modo de transferencia de calor que ocurre entre una superficie y un fluido (líquido o gas) en movimiento cuando están a diferentes temperaturas. La convección se compone de dos mecanismos: transferencia de energía debida al *movimiento molecular aleatorio (difusión)* y transferencia por el *movimiento global, o macroscópico* del fluido. Se acostumbra utilizar el término *convección* para referirse a la transferencia por el movimiento aleatorio de las moléculas *convección* al movimiento global o volumétrico del fluido.

La transferencia de calor por convección se clasifica de acuerdo con la naturaleza del flujo. Hablamos de *convección forzada* cuando el flujo es causado por medios externos, como un ventilador, una bomba o vientos atmosféricos. En cambio, en la *convección libre (o natural)* el flujo es inducido por fuerzas de empuje que surgen a partir de diferencias de densidad ocasionadas por variaciones de temperatura en el fluido.

Por lo general, la energía que se transfiere es la *energía sensible* o energía térmica interna del fluido. Sin embargo, hay procesos de convección en los que existe, además, intercambio de calor *latente*. Éste generalmente se asocia con un cambio de fase entre los estados líquido y vapor del fluido. Dos casos especiales de interés son la *ebullición* y la *condensación*.

Independiente de la naturaleza del flujo por convección, la ecuación a emplear para el fenómeno de la transferencia de calor por convección es:

$$q'' = h(T_s - T_{\infty}) \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

Dónde:

q'' , es el *flujo de calor* por convección [W/m^2], que es proporcional a la diferencia entre las temperaturas de la superficie y del fluido, T_s y T_∞ , respectivamente. Esta expresión se conoce como la *ley de enfriamiento de Newton* si la temperatura de la superficie es mayor que la del fluido y como *ley de calentamiento de Newton* si la temperatura de la superficie es menor que la del fluido. La constante de proporcionalidad h [$W/m^2.K$] se denomina *coeficiente de transferencia de calor por convección* (depende de las condiciones en la capa límite, en las que influyen la geometría de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido y una variedad de propiedades termodinámicas del fluido y de transporte).

En síntesis cualquier estudio de la convección se reduce a un estudio de los medios por los que es posible determinar h . Sin embargo, si el problema a resolver no requiere demasiada exactitud se puede considerar el valor del coeficiente de convección tomando los valores típicos presentados en tablas según el modo en que ocurre el fenómeno.



FIGURA 2-13 Movimiento por convección

Fuente: Ciencia Tecnología Y Ambiente (S.A N° 07 "Termodinámica")

2.4.4.4 RADIACIÓN TÉRMICA

Se denomina **radiación térmica** o **radiación calorífica** a la emitida por un cuerpo debido a su temperatura. Todos los cuerpos emiten radiación electromagnética, siendo su intensidad dependiente de la temperatura y de la longitud de onda considerada. En lo que respecta a la transferencia de calor la radiación relevante es la comprendida en el rango de longitudes de onda de $0,1\mu\text{m}$ a $100\mu\text{m}$, abarcando por tanto parte de la región ultravioleta, la visible y la infrarroja del espectro electromagnético.

La materia en un estado condensado (sólido o líquido) emite un espectro de radiación continuo. La frecuencia de onda emitida por radiación térmica es una densidad de probabilidad que depende solo de la temperatura.

Los cuerpos negros emiten radiación térmica con el mismo espectro correspondiente a su temperatura, independientemente de los detalles de su composición. Para el caso de un cuerpo negro, la función de densidad de probabilidad de la frecuencia de onda emitida está dada por la ley de radiación térmica de Planck, la ley de Wien da la frecuencia de radiación emitida más probable y la ley de Stefan-Boltzmann da el total de energía emitida por unidad de tiempo y superficie emisora (esta energía depende de la cuarta potencia de la temperatura absoluta).

A temperatura ambiente, vemos los cuerpos por la luz que reflejan, dado que por sí mismos no emiten luz. Si no se hace incidir luz sobre ellos, si no se los ilumina, no podemos verlos. A temperaturas más altas, vemos los cuerpos debido a la luz que emiten, pues en este caso son luminosos por sí mismos. Así, es posible determinar la temperatura de un cuerpo de acuerdo a su color, pues un cuerpo que es capaz de emitir luz se encuentra a altas temperaturas.

La relación entre la temperatura de un cuerpo y el espectro de frecuencias de su radiación emitida se utiliza en los pirómetros.

La radiación que emite una superficie se origina a partir de la energía térmica de la materia limitada por la superficie, y la velocidad a la que libera energía por unidad de área [W/m²] se denomina la potencia emisiva superficial E. Hay un límite superior para la potencia emisiva, que es establecida por la ley de Stefan-Boltzmann:

$$Eb = \sigma T_s^4 \quad \text{Ecuación (2.3)}$$

Dónde:

T_s es la temperatura absoluta [K] de la superficie y σ es la constante de Stefan Boltzmann (σ = 5.67×10⁻⁸ [W/m²·K⁴]). Dicha superficie se llama radiador ideal o cuerpo negro. El flujo de calor emitido por una superficie real es menor que el de un cuerpo negro a la misma temperatura y está dado por:

$$E = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad \text{Ecuación (2.4)}$$

Dónde:

ε es una propiedad radiativa de la superficie denominada emisividad. Un cuerpo negro **b** es un objeto teórico o ideal que absorbe toda la luz y energía radiante que incide sobre él y es capaz de emitir toda la energía absorbida. A pesar de su nombre, el cuerpo negro emite luz y constituye un modelo ideal para el estudio de la emisión de radiación electromagnética. El sol al comportarse como tal tiene un gran poder emisor de energía.

2.4.4.5 IRRADIACIÓN

El estudio de la dirección con la cual incide la irradiación solar sobre los cuerpos situados en la superficie terrestre, es de especial importancia cuando se desea conocer su comportamiento al ser reflejada. La dirección en que el rayo salga reflejado dependerá del incidente.

Con tal fin se establece un modelo que distingue entre **dos componentes de la irradiación** incidente sobre un punto: la irradiación solar directa y la irradiación solar difusa.

- *Irradiación Solar Directa* es aquella que llega al cuerpo desde la dirección del Sol.
- *Irradiación Solar Difusa* es aquella cuya dirección ha sido modificada por diversas circunstancias (densidad atmosférica, partículas u objetos con los que choca, reemisiones de cuerpos, etc.). Por sus características esta luz se considera **venida de todas direcciones**. En un día nublado, por ejemplo, sólo tenemos radiación difusa.

La suma de ambas *es la irradiación total* (o global) incidente. La superficie del planeta está expuesta a la radiación proveniente del Sol. La tasa de irradiación depende en cada instante del ángulo que forma la normal a la superficie en el punto considerado y la dirección de incidencia de los rayos solares. Por supuesto, dada la lejanía del Sol respecto de nuestro planeta, podemos suponer, con muy buena aproximación, que los rayos del Sol inciden esencialmente paralelos sobre el planeta.

No obstante, en cada punto del mismo, localmente considerado, la inclinación de la superficie respecto a dichos rayos depende de la latitud y de la hora del día para una cierta localización en longitud. Dicha inclinación puede definirse a través del ángulo que forman el vector normal a la superficie en dicho punto y el vector paralelo a la dirección de incidencia de la radiación solar.

Debemos evitar la exposición prolongada al sol puesto que esta representa una agresión contra la piel que puede producir el envejecimiento de la misma, la aparición de manchas o arrugas y es la responsable de la aparición de melanomas o cánceres de piel. Una exposición moderada al sol, especialmente los primeros días una protección del sol con la ropa adecuada, o el uso de cremas solares es la mejor prevención contra quemaduras producidas por el sol.”

2.4.5 PARÁMETROS AMBIENTALES Y FÍSICOS

2.4.5.1 LONGITUD DE ONDA

Tomado de El estudio del ESPECTRO DE IRRADIACIÓN realizado por el Ingeniero Byron Toalombo. La longitud de una onda es una longitud λ . La distancia que recorre la onda en el intervalo de tiempo transcurrido entre dos máximos consecutivos de una de sus propiedades. La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia de la onda. Una longitud de onda larga como que una longitud de onda corta corresponde a una frecuencia alta. Generalmente se mide en micras, nanómetros o angstrom.

La aplicación de la Ley de Planck al Sol con una temperatura superficial de unos 6000 K nos lleva a que el 99% de la radiación emitida está en un rango de 150 nm (nanómetros) hasta 4000 nm y el máximo ocurre a 475 nm. La luz visible se extiende desde 380 nm a 740 nm. La radiación ultravioleta u ondas cortas irían desde los 150 nm a los 380 nm y la radiación infrarroja u ondas largas desde las 0,74 micras a 4 micras.

2.4.5.2 RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

Tomado de El estudio del ESPECTRO DE IRRADIACIÓN realizado por el Ingeniero Byron Toalombo. El contenido de radiación ultravioleta dentro del espectro de la radiación solar, es aproximadamente el 7% y se clasifica en tres regiones espectrales de acuerdo a su longitud de onda, así:

UVC, región comprendida entre longitudes de onda de 200 a 290 nm

UVB, región comprendida entre longitudes de onda de 290 a 320 nm

UVA, región comprendida entre longitudes de onda de 320 a 400 nm.

La división de la radiación ultravioleta en A, B y C se ha realizado convencionalmente considerando los efectos en los organismos.

La UV-A representa el 6.3% de la energía total emitida por el sol, causa el envejecimiento de la piel, arrugas y cataratas.

La UV-B representa aproximadamente el 1.5% de la energía total emitida por el sol, es parcialmente absorbida por la capa de ozono, por eso, su destrucción es notoriamente perjudicial. Produce el cáncer de la piel en los humanos, afecta al desarrollo de las plantas y produce efectos negativos en la salud de los animales salvajes y domésticos, altera la vida acuática, deteriora los plásticos y las pinturas.

La UV-C no llega a la superficie de la tierra porque es absorbida por el oxígeno y el ozono de la atmósfera, la cual se comporta como un filtro gigantesco.

En Mecánica cuántica la radiación se describe como haces de paquetes aislados de energía, conocidos como cuantos o fotones.

La emisión solar difiere de la de un cuerpo negro, sobre todo en el ultravioleta. En el infrarrojo se corresponde mejor con la temperatura de un cuerpo negro de 5779°C y en el visible con 6090 K . Ello nos habla de que la radiación solar no se produce en las mismas capas y estamos observando la temperatura de cada una de ellas donde se reduce la energía.

Es decir que, la Tierra es un cuerpo opaco, pues solamente capta una parte de la radiación solar. No obstante, a partir de consideraciones termodinámicas es posible estimar la radiación solar instantánea sobre una región determinada. De otra parte, *la energía aprovechable de la radiación solar proviene de la región del espectro visible e infrarrojo cercano*, que son las ondas electromagnéticas que producen el incremento de la energía interna del cuerpo.

En las consideraciones termodinámicas se tienen en cuenta las pérdidas de energía por reflexión de los materiales del medidor y por transmisión del calor de estos mismos materiales.

La atmósfera es diatérmica, es decir que no es calentada directamente por la radiación solar, sino de manera indirecta a través de la reflexión de dicha radiación en el suelo y en la superficie de mares y océanos.

2.4.5.3 TEMPERATURA

Es la magnitud física que mide el calor de los cuerpos, del ambiente y de materia en general, se mide con los **Termómetros**, aunque también puede ser determinado con otros instrumentos como los **Anemómetros**, cuya función principal no es precisamente medir temperatura. Generalmente para efectos de cálculo se trabaja en grados absolutos (Kelvin K y Rankine Rk).

2.4.5.4 VELOCIDAD DEL VIENTO

El viento es una corriente de aire que se origina en la atmósfera por las diferencias de temperatura y presión entre diversos puntos. Este movimiento de aire puede ocurrir a diferentes velocidades. La velocidad del viento puede ser aprovechable para generar una forma de energía renovable, conocida como eólica. A mayor velocidad del viento mayor será la cantidad de energía disponible. La velocidad del viento se mide con el *Anemómetro* y su dirección con las *Veletas*, *Mangas* y *Catavientos* tomándose como dirección del viento aquella de donde procede.

La intensidad el viento es una cantidad vectorial que tiene dirección y magnitud, esta es considerada en términos de tres componentes, ubicándose dos de ellas en un plano paralelo a la superficie de la Tierra, y la tercera perpendicular a ese plano. Con fines meteorológicos la componente vertical es despreciada, considerándose por lo tanto el viento en superficie como una cantidad vectorial en dos dimensiones.

Las variaciones del viento están sujetas a variaciones tanto en período como en amplitud. Esto se debe a que el flujo del aire conocido como viento no es laminar. El viento sobre la superficie de la tierra es *turbulento*. La orografía de la Tierra es el principal factor que determina la estructura turbulenta del viento.

2.4.5.5 TIEMPO

Es una magnitud variable que interviene en la descripción de los medidos en el mundo de la experiencia física. Determina el transcurrir de uno o varios acontecimientos físicos. Es una de las magnitudes físicas más importantes puesto que

influye directamente en el comportamiento de otras magnitudes y en la presencia de los fenómenos naturales. Es generalmente la variable independiente alrededor de la cual se comportan las otras variables, elementos o fenómenos. El patrón de medida del tiempo es el *día solar medio*, promedio de los días solares (lapso que transcurre entre dos pasos del Sol por el meridiano terrestre) durante el período de un año. El día solar medio se divide en 24 horas, la hora en 60 minutos y está en 60 *segundos*, ésta última es la unidad de medida del tiempo.

2.4.5.6 HUMEDAD

La humedad está determinada por el porcentaje de vapor de agua retenida en el ambiente o en los cuerpos. Puede ser humedad absoluta (específica) o relativa.

2.4.6 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

2.4.6.1 ANEMÓMETRO

Es un instrumento diseñado para *medir la velocidad* o fuerza *del viento* y lo hace tomando valores de velocidad a ciertos intervalos de tiempo, está diseñado para trabajar a determinadas frecuencias. Puede ser digital o análogo e incluir o no sensores. El tipo más común es el de cazoletas, que consta de tres o cuatro cazoletas hemisféricas montadas como si estuvieran en los extremos de los radios de una rueda horizontal (estas se desplazan con una velocidad proporcional a la del viento).

En la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato se dispone de un anemómetro digital Testo 410-2 que mide la velocidad de viento, temperatura ambiental y humedad relativa como otros valores más los cuales no intervienen en el tema de investigación.

2.4.6.2 PIRANÓMETRO

Es un instrumento diseñado para *medir la irradiación solar* que emana de todo un hemisferio. Se trata de un sensor diseñado para medir la densidad de fluido de irradiación solar [W/m^2] en un campo de 180 grados.

Generalmente se utilizan tres medidas de radiación: semiesférica total, difusa y directa. El principio físico utilizado generalmente en la medida es un termopar sobre el que incide la radiación a través de dos cúpulas semiesféricas de vidrio. Para medir la radiación difusa es necesario tapar el sensor de radiación directa mediante una pantalla parasol o una banda metálica, midiendo entonces la irradiación solar difusa (piranómetro de difusa).

Los piranómetros miden la irradiación solar global (directa y difusa) en un plano horizontal. El elemento receptor debe estar horizontal y libremente expuesto al hemisferio celeste, pero protegido de la irradiación que regresa del suelo.

Al encontrarse expuesto a todo tipo de condiciones ambientales, el piranómetro debe ser robusto en su estructura y resistir la corrosión del aire húmedo, además, su elemento receptor debe encontrarse debidamente aislado (herméticamente cerrado) por un domo de vidrio y ser de fácil desmonte para su desecación, por ello se recomienda la revisión diaria del instrumento.

Los piranómetros normalmente usan sensores termoelectrónicos, fotoelectrónicos, piroelectrónicos o elementos bimetálicos; sus propiedades en relación a su grado de precisión y confiabilidad son: sensibilidad, estabilidad, tiempo de respuesta, respuesta cosenoidal, respuesta azimutal, linealidad, respuesta de temperatura y respuesta espectral.

En la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato contamos con un Foto-radiómetro Delta OHM modelo HD 2102.2 que cumple la función de Piranómetro datalogger con sonda de irradiación de 0.1 a 2000 W/m², cubre las regiones de longitud de onda de 400 nm a 1050 nm a través de la sonda de medida de irradiación LP 471RAD.

2.4.7 MISCELÁNEA DE FÓRMULAS.

Para el cálculo de la resistencia por conducción en el tubo de polipropileno se lo hará mediante la siguiente fórmula.

$$R_{conduccion} = \frac{\ln(r_2-r_1)}{2*\pi*k*L} \quad \text{Ecuación (2.5)}$$

Dónde:

r_2 : Radio externo [m]

r_1 : Radio interno [m]

k : Conductividad térmica [W/m °C]

L : Longitud [m]

Las pérdidas de calor por convección en el exterior que están expuestas a la velocidad de viento se da por una expresión dimensional obtenida del libro “Energía Solar Fundamentos y Aplicaciones Fototérmica” de Manrique José, la cual fu dada por Mc Adams, esta relaciona el coeficiente de transferencia de calor en [W/m² °C] a la velocidad de viento [m/s].

$$h_{conv-ext} = 5,7 + 3,8V_v \quad \text{Ecuación (2.6)}$$

Dónde:

V_v = Velocidad de viento

Tabla 2-1 Valores de convecciones

Proceso	h (W/m ² .K)
Convección Libre	
Gases	2 - 25
Líquido	50 - 1000
Convección Forzada	
Gases	25 - 250
Líquido	50 - 20000

Fuente: Incropera y David P. De Witt.

Para el cálculo de las áreas utilizaremos las siguientes ecuaciones:

$$A_C = \frac{1}{4}\pi D^2 \quad \text{Ecuación (2.7)}$$

$$A_S = \pi DL \quad \text{Ecuación (2.8)}$$

Dónde:

A_C = Área sección transversal, en $[m^2]$

A_S = Área de la superficie de transferencia de calor, en $[m^2]$

D = Diámetro del tubo, en $[m]$

L = Longitud del tubo, en $[m]$

Para el cálculo del gasto volumétrico utilizaremos la siguiente ecuación.

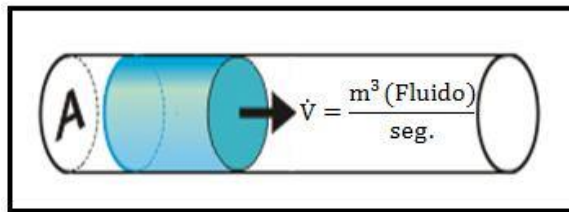


FIGURA 2-14 Velocidad de flujo de volumen

Fuente: Ricardo Cabrera (junio 06)

$$V = \frac{\dot{W}_{BOMBA}}{\Delta P} \quad \text{Ecuación (2.9)}$$

Dónde:

V = Gasto volumétrico del agua $[m^3/s]$

\dot{W}_{BOMBA} = Potencia de la bomba de agua $[W]$

ΔP = Incremento de Presión $[Pa]$

Para realizar el cálculo de flujo másico total lo realizaremos con la ecuación.

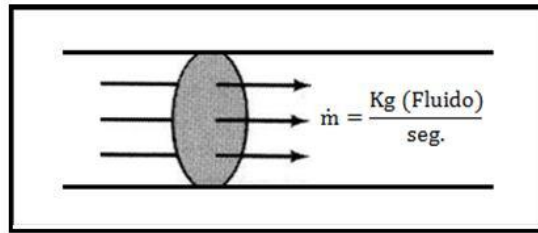


FIGURA 2-15 Velocidad de flujo másico

Fuente: Gresiq

$$\dot{m}_{TOTAL} = \rho * V \quad \text{Ecuación (2.10)}$$

Dónde:

\dot{m}_{TOTAL} = Flujo másico total, en [Kg/s]

ρ = Densidad del agua [Kg/m³]

V = Gasto volumétrico, en [m³/s]

Para calcular de flujo másico por tubo en el sistema utilizaremos la ecuación.

$$\dot{m} = \frac{\dot{m}_{TOTAL}}{N_{tubos}} \quad \text{Ecuación (2.10 a)}$$

V_{TOTAL} = Velocidad Total en el sistema [m/s]

N_{tubos} = Numero de tubos

Para realizar el cálculo de la velocidad promedio del agua se hará mediante la ecuación.

$$V_{PROM} = \frac{\dot{m}}{\rho A_c} \quad \text{Ecuación (2.11)}$$

V_{PROM} = Velocidad promedio del agua [m/s]

ρ = densidad del agua [Kg/m³]

$A_c = \text{Área de sección transversal [m}^2\text{]}$

Para calcular la temperatura promedio del agua lo realizamos con la ecuación.

$$T_{f-int} = \frac{(T_i + T_e)}{2} \quad \text{Ecuación (2.12)}$$

Dónde:

$T_i = \text{Temperatura final del agua [}^\circ\text{C]}$

$T_e = \text{Temperatura inicial del agua [}^\circ\text{C]}$

Para calcular el número de Reynolds utilizaremos la ecuación.

$$Re = \frac{V_{PROM} D \rho}{\mu} \quad \text{Ecuación (2.13)}$$

Dónde:

Re = Numero de Reynolds

$\rho = \text{Densidad del agua [Kg/m}^3\text{]}$

$\mu = \text{Viscosidad Dinámica [Kg/m s]}$

Para calcular el número de Nusselt para el agua emplearemos la ecuación.

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad \text{Ecuación (2.14)}$$

Dónde:

Nu = Numero de Nusselt

Pr = Número de Prandtl

Para calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección utilizaremos la ecuación.

$$h_{conveccion} = \frac{k}{D} Nu \quad \text{Ecuación (2.15)}$$

k = Conductividad térmica [W/m°C]

D = Diámetro del tubo [m]

Para calcular la resistencia térmica por convección utilizaremos la ecuación.

$$R_{convección} = \frac{1}{h 2 \pi r_1 Lt} \quad \text{Ecuación (2.16)}$$

Dónde:

h = Coeficiente de transferencias de calor por convección [W/m °C]

r_1 = Radio interno del tubo [m]

Lt = Longitud del tubo [m]

Para el cálculo de la resistencia térmica por convección en el exterior se lo realiza con la ecuación.

$$R_{conv-ext} = \frac{1}{h_{conv-ext} A_s} \quad \text{Ecuación (2.17)}$$

Para calcular la resistencia total o equivalente del sistema lo realizamos con la ecuación.

$$R_T = R1 + R2 + R3 + \dots \quad \text{Ecuación (2.18)}$$

Para el cálculo de las pérdidas de calor lo realizaremos con la ecuación.

$$q = \frac{T_{\alpha 1} - T_a}{R_T} \quad \text{Ecuación (2.19)}$$

Dónde:

$T_{\alpha 1}$ = Temperatura final del agua, en [°C]

T_a = Temperatura ambiental, en [°C]

R_T = Resistencia Total o Equivalente del sistema, en [°C/W]

Para el cálculo de las temperaturas deseadas se lo realiza con la siguiente ecuación.

$$T = T_{\alpha 1} - (q * R + \dots) \quad \text{Ecuación (2.20)}$$

Para calcular el área transversal del aislante térmico en la cubierta lo realizaremos con la ecuación.

$$A_{sp} = l * A_n \quad \text{Ecuación (2.21)}$$

Dónde:

A_{sp} = Área de la superficie de transferencia de calor del aislante térmico en la cubierta, en [m²]

l = Longitud del aislante térmico en la cubierta, en [m]

A_n = Ancho del aislante térmico en la cubierta, en [m]

Para el cálculo de la resistencia térmica por conducción en el aislante se empleara la ecuación.

$$R_{conduccion} = \frac{L}{k_{aislante} A_{sp}} \quad \text{Ecuación (2.22)}$$

Dónde:

L = la distancia que existe entre el tubo de polipropileno y el aislante térmico en la cubierta, en [m]

$k_{aislante}$ = Conductividad térmica del aislante térmico [W/m °C]

Para el cálculo del número de Rayleigh par convección natural se lo realiza con la ecuación.

$$R_{AD} = \frac{g \cdot \beta (T_{sp} - T_p) D^3}{\nu^2} Pr \quad \text{Ecuación (2.23)}$$

Dónde:

R_{AD} = Numero de Rayleigh

g = Gravedad, en $[m/s^2]$

T_{sp} = Temperatura de la superficie del tubo de polipropileno, en $[^\circ C]$

T_p = Temperatura del aislante térmico de la cubierta, en $[^\circ C]$

ν = Viscosidad Cinemática, en $[m^2 /s]$

Pr = Numero de Prandtl

Para el cálculo del número de Nusselt para convección natural se lo realizara con la ecuación.

$$Nu = \left[0,6 + \frac{0.387 R_{AD}^{1/6}}{[1+(0,559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right]^2 \quad \text{Ecuación (2.24)}$$

Dónde:

R_{AD} = Numero de Rayleigh

Pr = Numero de Prandtl

Calculo del área de la superficie total de transferencia de calor se lo realizar con la ecuación.

$$A_{ST} = \frac{A_S \cdot N_{TUBOS}}{2} \quad \text{Ecuación (2.25)}$$

A_{ST} = Área de la superficie total de transferencia de calor, en [m²]

A_S = Área de la superficie de transferencia de calor del tubo, en [m²]

N_{TUBOS} = Numero de tubos que constituye el panel solar

Para calcular la masa de agua en los tubos de calentamiento lo realizaremos con la ecuación.

$$m_{tubos} = \frac{\pi}{4} D^2 L_t \rho N_{TUBOS} \quad \text{Ecuación (2.26)}$$

Dónde:

m_{tubos} = La masa de agua en los tubos de calentamiento, en [Kg]

D = Diámetro del tubo de calentamiento, en [m]

L_t = Longitud del tubo de calentamiento, en [m]

ρ = Densidad del agua, en [Kg/m³]

N_{TUBOS} = Numero de tubos que constituye el panel solar

Para calcular la eficiencia térmica del panel solar de polipropileno se lo realizara con la ecuación.

$$\eta_T = \frac{m_{tubos} C_p \Delta T}{t A_{ST} G_s} * 100 \quad \text{Ecuación (2.27)}$$

Dónde:

m_{tubos} = La masa de agua en los tubos de calentamiento, en [Kg]

C_p = Calor especifico del fluido de transferencia de calor, en [J]

ΔT = Variación de temperaturas inicial y final del tubo, en [°C]

t= Tiempo para calentamiento de agua, en [s]

A_{ST} = Área de la superficie total de transferencia de calor, en [m²]

G_s= Irradiación Solar, en [W/m²]

Para el cálculo del calor útil se empleara la ecuación

$$Q_{UTIL} = \frac{\dot{m} C_p \Delta T}{t} \quad \text{Ecuación (2.28)}$$

C_p= Calor específico del fluido de transferencia de calor, en [J]

ΔT= Variación de temperaturas inicial y final del tubo, en [°C]

t= Tiempo, en [s]

\dot{m}_T = flujo másico del agua, en [Kg/s]

2.5 HIPÓTESIS.

Ho: No existe diferencia significativa en la temperatura de salida de agua con y sin aislamiento.

H1: Si existe diferencia significativa en la temperatura de salida de agua con y sin aislamiento.

2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES.

2.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.

Aislamiento térmico en cubierta

2.6.2. VARIABLE DEPENDIENTE.

Eficiencia de los paneles solares plásticos

2.6.3 TÉRMINOS DE RELACIÓN.

Para incrementar

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE.

En el presente proyecto se trabajó con variables cuantitativas de tipo continuas, gracias a la experimentación se pudo obtener datos de temperatura ambiente, temperatura de entrada y salida de agua, la irradiación y velocidad de viento que fuero comparados con y sin el uso del aislante térmico en la cubierta.

3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.

3.2.1 MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN.

Dentro de las modalidades a utilizar en el presente proyecto tenemos: Investigación bibliográfica, documental e experimental.

Bibliografía: Para la realización del presente proyecto utilizaremos las fuentes de consulta de la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Documental: Los documentos a utilizarse serian revistas, archivos de internet, relacionados al tema de investigación.

Experimental: Efectuaremos pruebas comparativas de funcionamiento en el lugar mismo de los hechos.

3.2.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.

El tipo de investigación a utilizarse en el mencionado proyecto es exploratoria, descriptiva y explicativa.

- **Exploratorio.**- Se realiza cuando no se tiene una idea precisa de lo que se desea estudiar o cuando el problema es poco conocido por el investigador, este tipo de investigación nos enseña cual es la manera correcta de abordar el problema de investigación, con el fin que los estudios que se realicen no sean una pérdida de recursos y pérdida de tiempo.

- **Descriptivo.**- Se expondrá todas las pruebas realizadas en los laboratorios de la Facultad, logrando así un nivel óptimo en la capacidad de aprendizaje de los estudiantes.

- **Explicativa.**- Explica los fenómenos y el estudio de sus relaciones para conocer las causas de los aspectos ocurridos, para poder responder a preguntas como: ¿por qué ocurre? ¿En qué condiciones ocurre?

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 POBLACIÓN

El universo de estudio del presente proyecto está constituido por los tipos de aislamiento que nos permita la medición del parámetro físico que está relacionado directa o indirectamente con el fenómeno de la irradiación solar. El cual es muy variable según las distintas épocas del año y de acuerdo a la hora del día.

Las magnitudes medidas y cuantificadas serán las siguientes: temperatura, tiempo y condición climática.

La evaluación de los datos que obtendremos nos permitirá generalizar o promediar valores, que con la aplicación de fórmulas que involucran ciertas constantes nos permita conocer los resultados deseados en nuestra investigación.

La población en referencia al número de mediciones de campo que se pueden hacer en un intervalo de tiempo determinado.

El proyecto de investigación desarrollado está dirigido a satisfacer las necesidades en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica por tal razón no existe población ni muestra. Sin embargo para tener una visualización clara del proyecto se utilizara la

técnica de observación directa, mediante el cual se podrá medir los datos necesarios para la realización de nuestra investigación con el empleo de una ficha de campo se tabularan los datos obtenidos experimentalmente durante la realización del ensayo.

3.3.2 MUESTRA

Se realizó mediciones en diferentes días soleados desde las horas comprendidas entre las 10:30 am hasta las 14:15 utilizando aislamiento térmico en la cubierta como son los polímeros (plástico de invernadero) fabricado de polietileno con aditivos (sílice, silicatos o boratos), tiene vida útil de 5 años, para alcanzar la máxima temperatura en nuestro panel solar plástico como también mediremos la irradiación de cada día ya que la irradiación es de 700 W/m^2 en el país y la irradiación absorbida estimada será de 300 W/m^2 que nos permita mejorar su eficiencia en calentamiento de agua.

Se tomaron medidas cada 15 minutos de la temperatura ambiental, temperatura del agua a la salida del panel, de la irradiación como también de la velocidad de viento.

3.3.2.1 MEDICIÓN DE LA IRRADIANCIA

Para la medición de la irradiación se empleó el equipo detallado en el numeral 2.4.6.2 que cumple con la función de adquisición y almacenamiento de datos



FIGURA 3-1 Foto-radiómetro Delta OHM modelo HD 2102.2

Fuente: Catalogo DELTA OHM



FIGURA 3-2 Sonda de medidas de irradiación LP 471RAD

Fuente: Catalogo DELTA OHM

3.3.2.2 MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL, HUMEDAD RELATIVA Y VELOCIDAD DE VIENTO

Para la medición de la temperatura ambiental, velocidad de viento y humedad relativa se utilizó el equipo detallado en el numeral 2.4.6.1 que nos permite cuantificar dichos parámetros en unidades del Sistema Internacional de Unidades y también en unidades del Sistema Británico



FIGURA 3-3 Anemómetro Digital Testo 410-2

Fuente: Autor

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Aislamiento térmico en cubierta

CONCEPTUALIZACION	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TECNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Aislamiento térmico Es la capacidad de los materiales para aprovechar al máximo la energía solar. Se evalúa por la resistencia térmica que tienen</p>	Polímeros	<p>-Óptimos</p> <p>Inadecuados</p>	<p>-1mm de espesor</p> <p>-transparente</p> <p>>1mm de espesor</p> <p>-No transparentes</p>	<p>OBSERVACION: De Campo, Fichas Y Formatos</p>

3.4.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Eficiencia de los paneles solares plásticos

CONCEPTUALIZACION	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TECNICAS E INSTRUMENTOS
<p>La eficiencia de un colector solar, por lo general se deduce comparando la cantidad de calor que se obtiene del agua y la cantidad de calor que recibe el Colector de la radiación solar.</p> <p>La eficiencia puede caer bruscamente a medida que aumenta la temperatura, debido naturalmente a las pérdidas térmicas</p>	<p>Energía absorbida</p> <p>Temperatura de salida</p>	<p>.</p> <p>-Baja</p> <p>-Optima</p> <p>-Baja</p> <p>-Adecuada</p>	<p>100W/m²</p> <p>>100W/m²</p> <p><25°C</p> <p>>25°C</p>	<p>OBSERVACION:</p> <p>De Campo, Fichas Y Formatos</p> <p>OBSERVACION:</p> <p>De Campo, Fichas Y Formatos</p>

3.5. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

No se recurrió a encuestas ni entrevistas dadas las características de que la obtención de datos se obtendrá por medición. La técnica de recolección de la información empleada es la *Observación*, que en este caso predomina en las modalidades de Observación de Campo, de Laboratorio, Participante, Estructurada, Directa, Indirecta e Individual, por tratarse de una investigación de carácter técnica, ya que fue necesario apreciar directamente cada uno de los parámetros como son las temperaturas, el tiempo y la radiación solar. Los instrumentos de apoyo utilizados fueron registros, fichas de campo, textos, páginas web y material bibliográfico referente al tema.

3.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

3.6.1 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Para la realización de las pruebas se partió el panel en dos partes cada una de ellas está constituida por 78 tubos de calentamiento una parte con aislamiento térmico en la cubierta y la otra sin aislamiento térmico, lo cual se hizo para tomar las medidas de temperatura a la salida del panel con la misma irradiación, el mismo tiempo, la misma velocidad de viento y la misma temperatura ambiente.

Luego del registro de la información necesaria, se realizó una tabulación de resultados y la representaremos en forma gráfica con la cual podremos observar el comportamiento de los resultados obtenidos en nuestra investigación.

Las gráficas que utilizaremos par nuestro análisis son las siguientes:

- Temperatura Ambiente vs Tiempo
- Irradiación vs Tiempo
- Temperatura del agua vs Radiación
- Temperatura del agua vs Tiempo

Una vez representados los resultados obtenidos se verificó la hipótesis planteada inicialmente en nuestro estudio.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A continuación se presenta los valores obtenidos en las pruebas realizadas experimentalmente entre las 10:30 y 14:15.

Los ensayos se realizaron utilizando un calentador de tubos de polipropileno con y sin aislamiento para calentamiento de agua mediante el aprovechamiento de la energía solar.

De los anexos 7 a 15 de las pruebas realizadas durante 8 días entre el 24 de junio hasta el 5 de julio con el calentador solar de tubos de polipropileno con aislamiento y sin aislamiento se sacó un promedio de la radiación solar, temperatura inicial, temperatura ambiental, temperatura de salida con aislamiento, temperatura de salida sin aislamiento, humedad relativa y de la velocidad de viento.

Una vez obtenidos los datos anteriores se procedió a la obtención de ΔT entre T_{CA} (Temperatura con aislamiento) menos T_{SA} (Temperatura sin aislamiento) y la eficiencia del calentador de agua con tubos de polipropileno, como se observa en los gráficos 4.1 hasta 4.32

Con los resultados obtenidos se procede a realizar la gráfica de doble variable para poder tener una mejor visualización e interpretación de los resultados alcanzados.

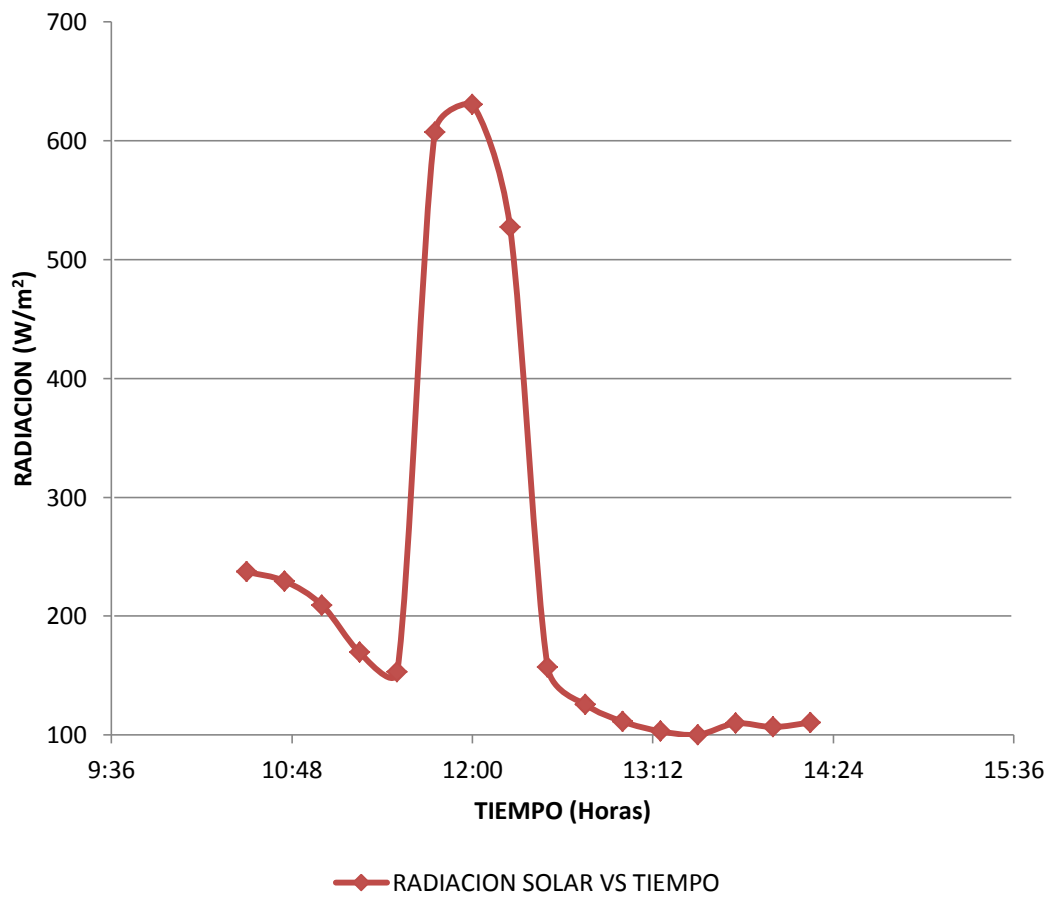
Los datos de las pruebas de los 6 primeros días se tomaron simultáneamente con y sin aislamiento con la misma irradiación, temperatura ambiental, y velocidad de viento.

Mientras que el día séptimo se tomaron los datos solamente con aislante térmico en la cubierta.

Finalmente en el día octavo se tomaron los datos sin el aislante térmico en la cubierta.

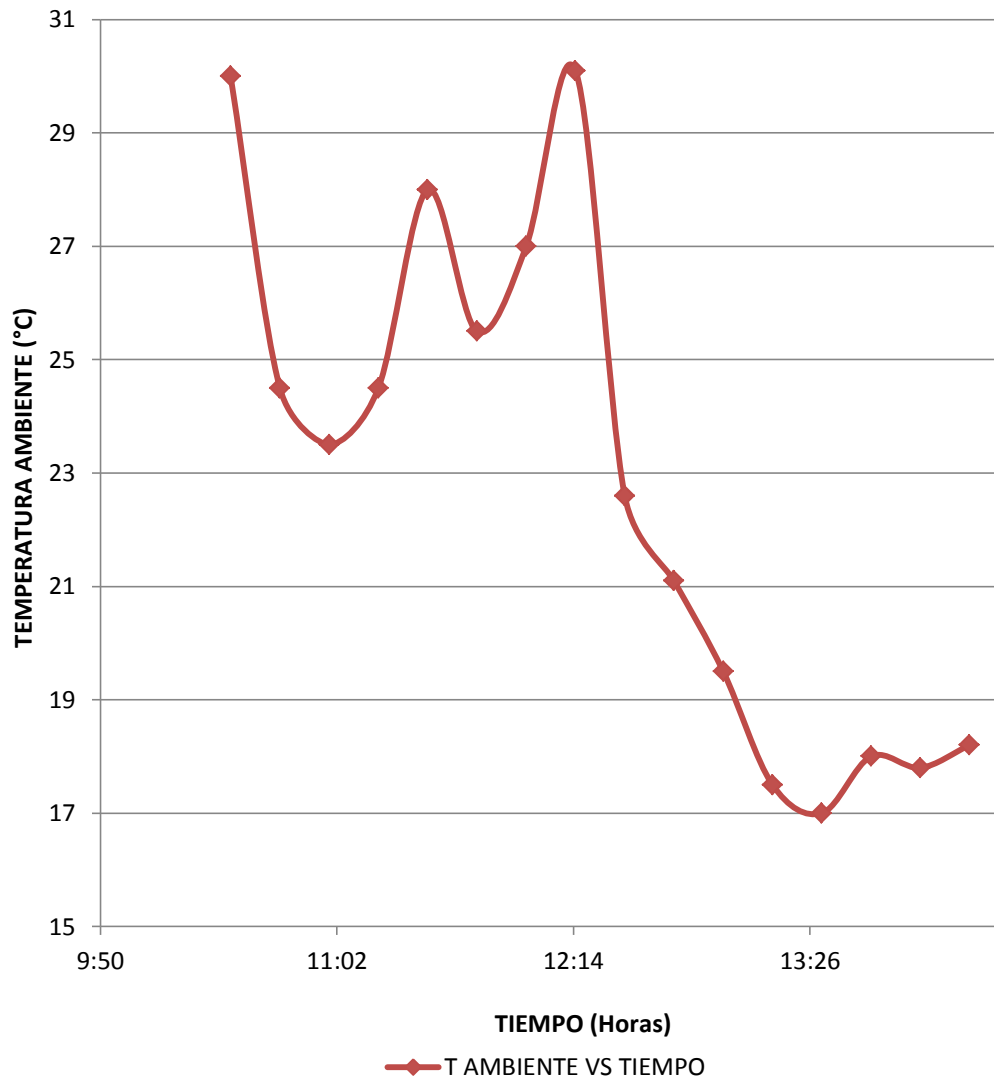
4.1.1 PRIMER DÍA

GRÁFICA 4-1 Radiación solar vs Tiempo



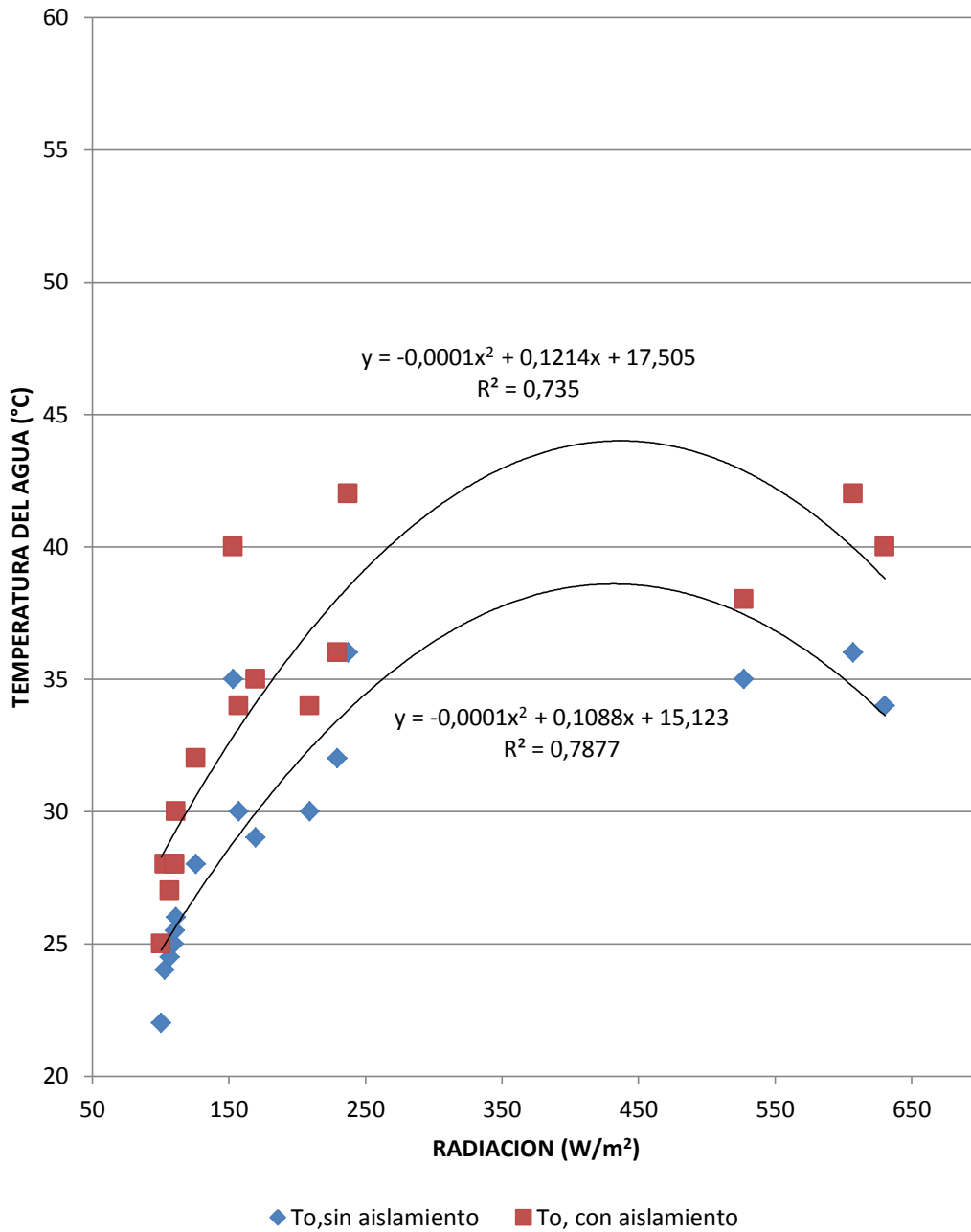
En la gráfica observamos que la radiación tiene el pico más alto al medio día, mientras transcurre el tiempo la radiación va aumentando y disminuyendo hasta que al final del día de pruebas llega a ser baja.

GRÁFICA 4-2 Temperatura ambiental vs Tiempo



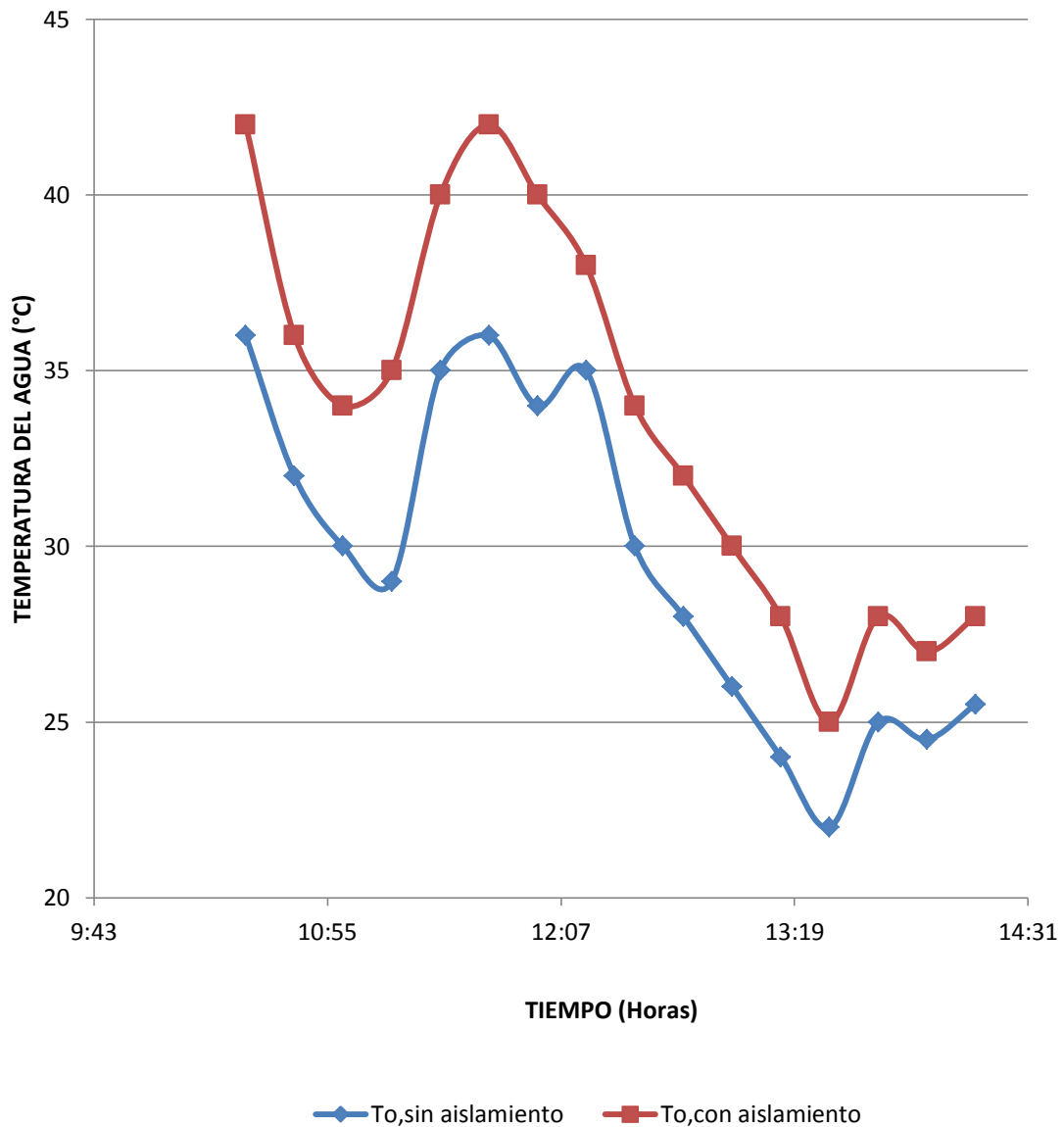
En la gráfica observamos que la temperatura ambiente tiene dos picos más altos a las 10 y al medio día, mientras transcurre el tiempo la temperatura ambiental va disminuyendo hasta que al final del día de pruebas llega a 18°C.

GRÁFICA 4-3 Temperatura de salida de agua vs Radiación



Las temperaturas de salida de agua T_s tienen una tendencia polinómica creciente con respecto al aumento de la radiación con ajuste de 78,77% sin aislamiento y con ajuste de 73,5% con aislamiento.

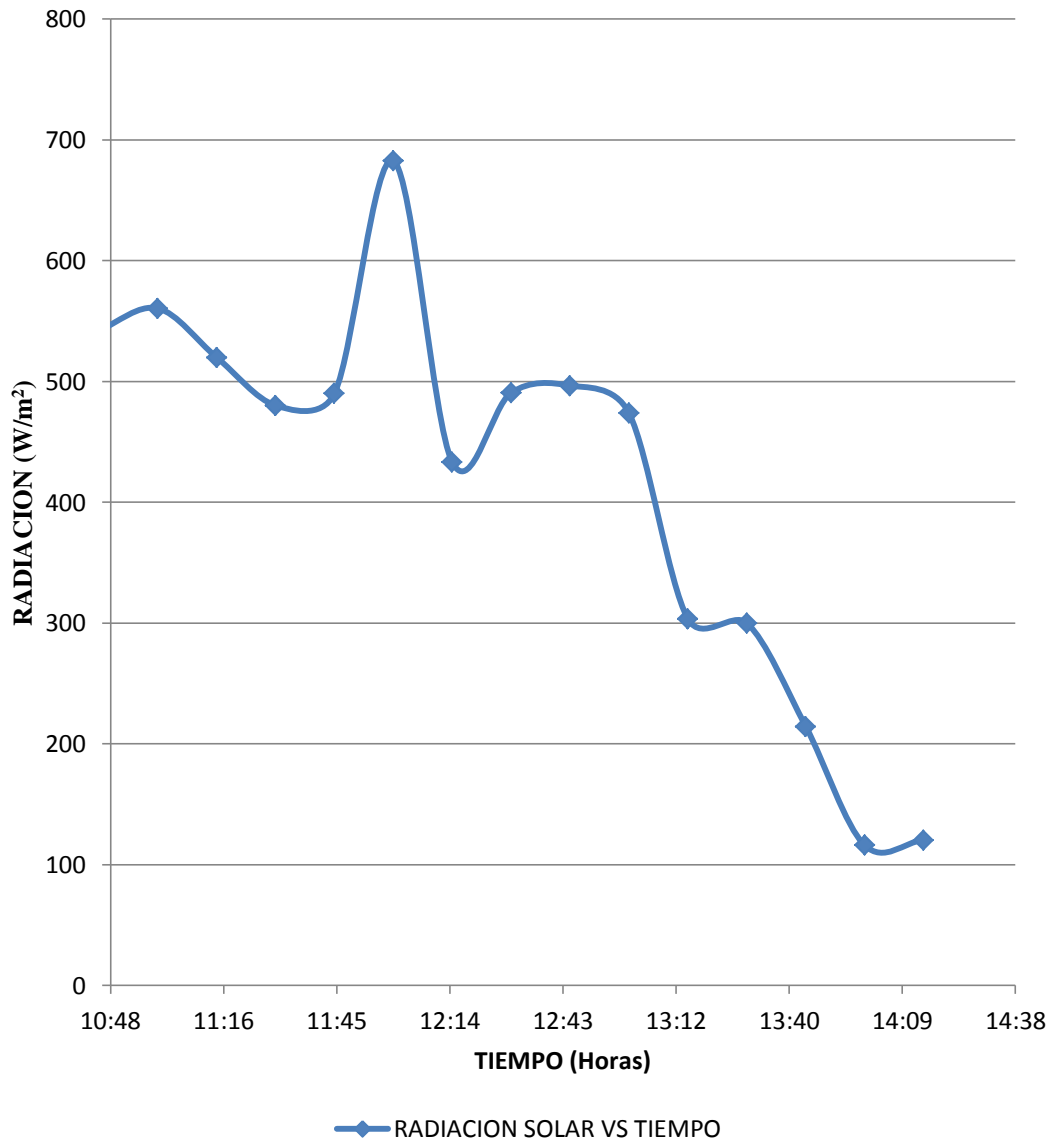
GRÁFICA 4-4 Temperatura de salida de agua vs Tiempo



Las temperaturas de salida de agua T_s en la gráfica azul se observa que los picos más altos tiene a las 10 y al medio día llegando a 36 °C mientras que en la gráfica roja se observa que los picos más altos tiene a las 10 y al medio día llegando a 43°C y mientras aumenta las horas la temperatura baja.

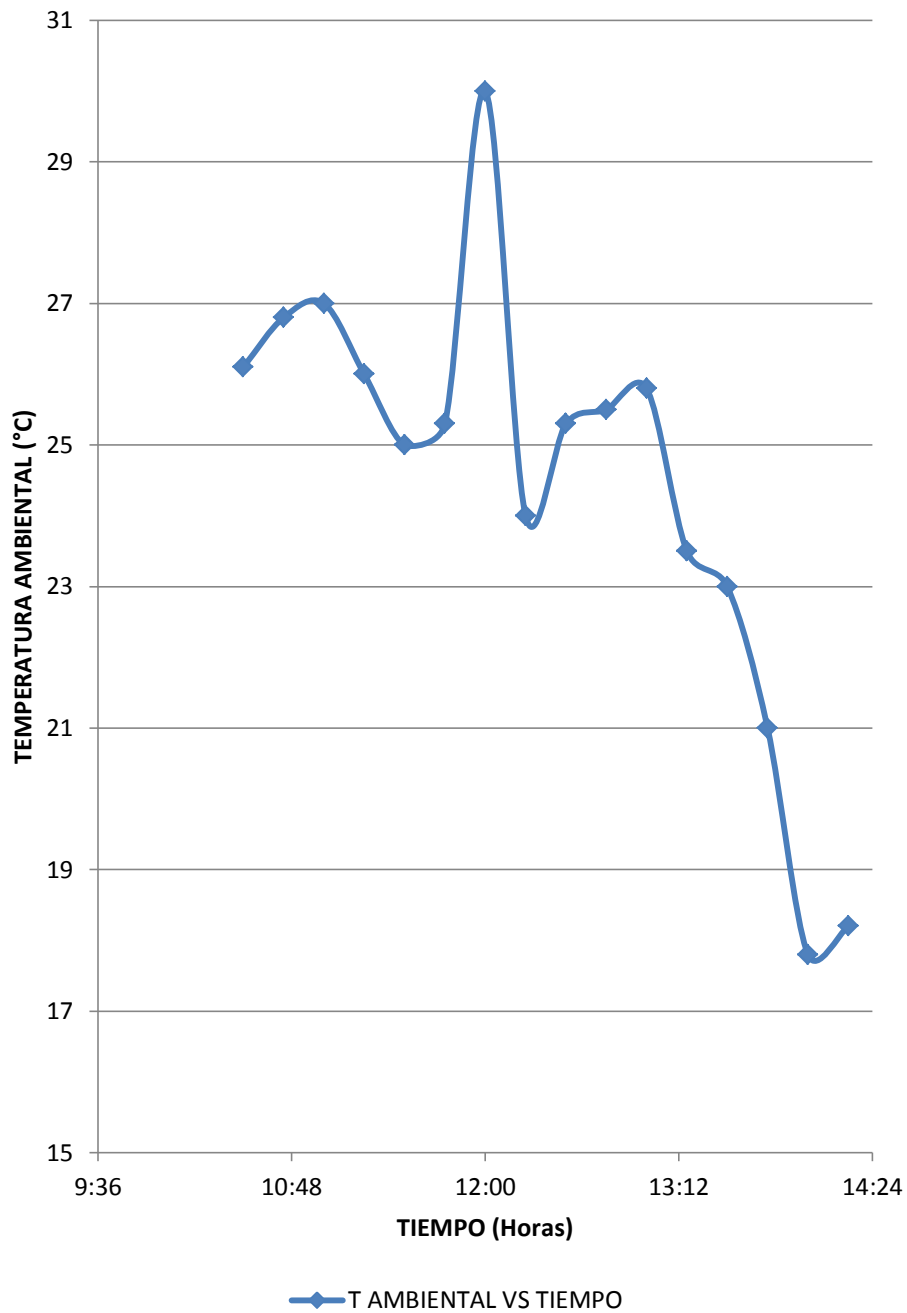
4.1.2 SEGUNDO DÍA

GRÁFICA 4-5 Radiación solar Vs Tiempo



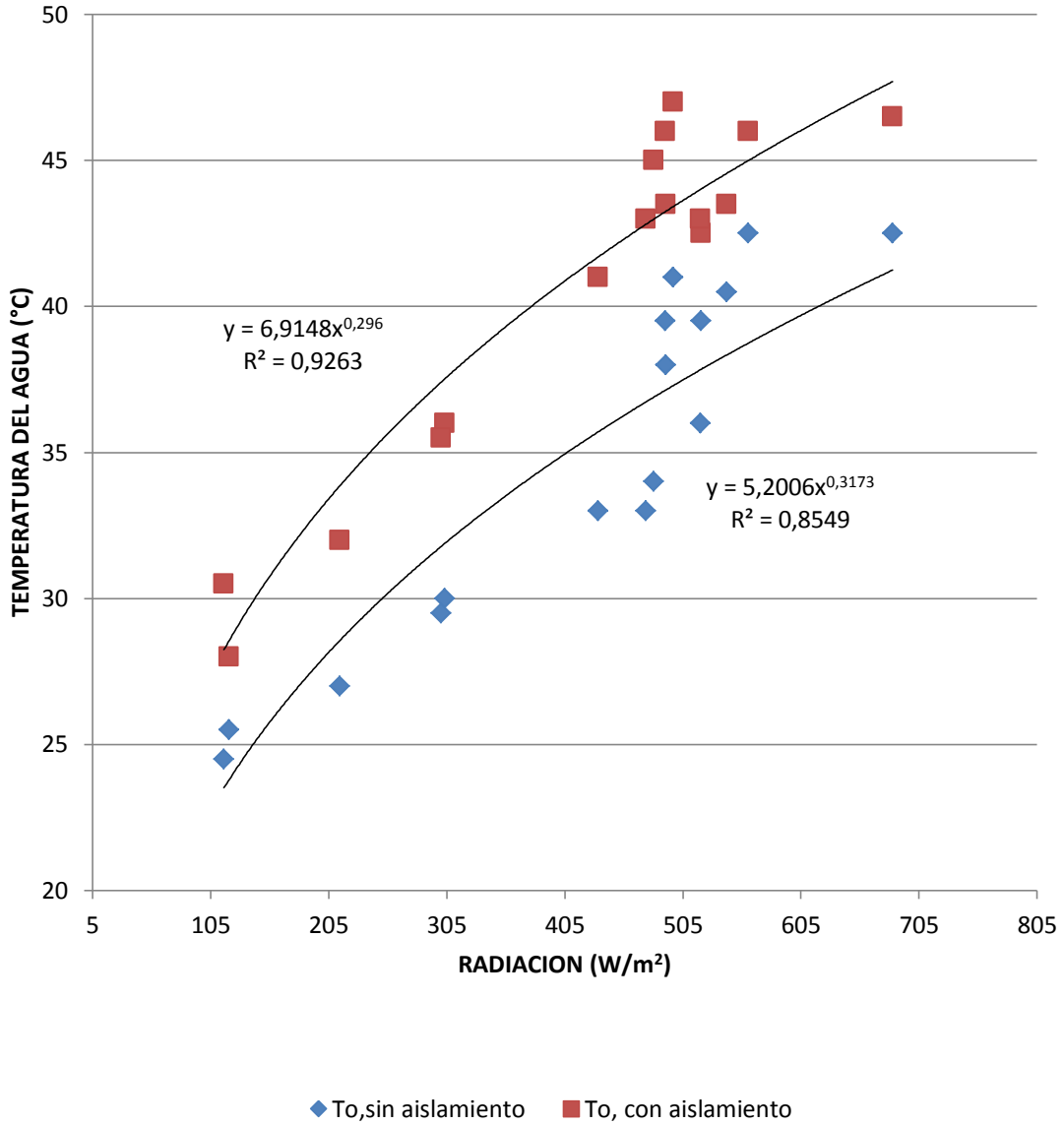
En la gráfica observamos que la radiación tiene el pico más alto al medio día, mientras transcurre el tiempo la radiación va aumentando y disminuyendo hasta que al final del día de pruebas llega a ser baja.

GRÁFICA 4-6 Temperatura ambiental vs Tiempo



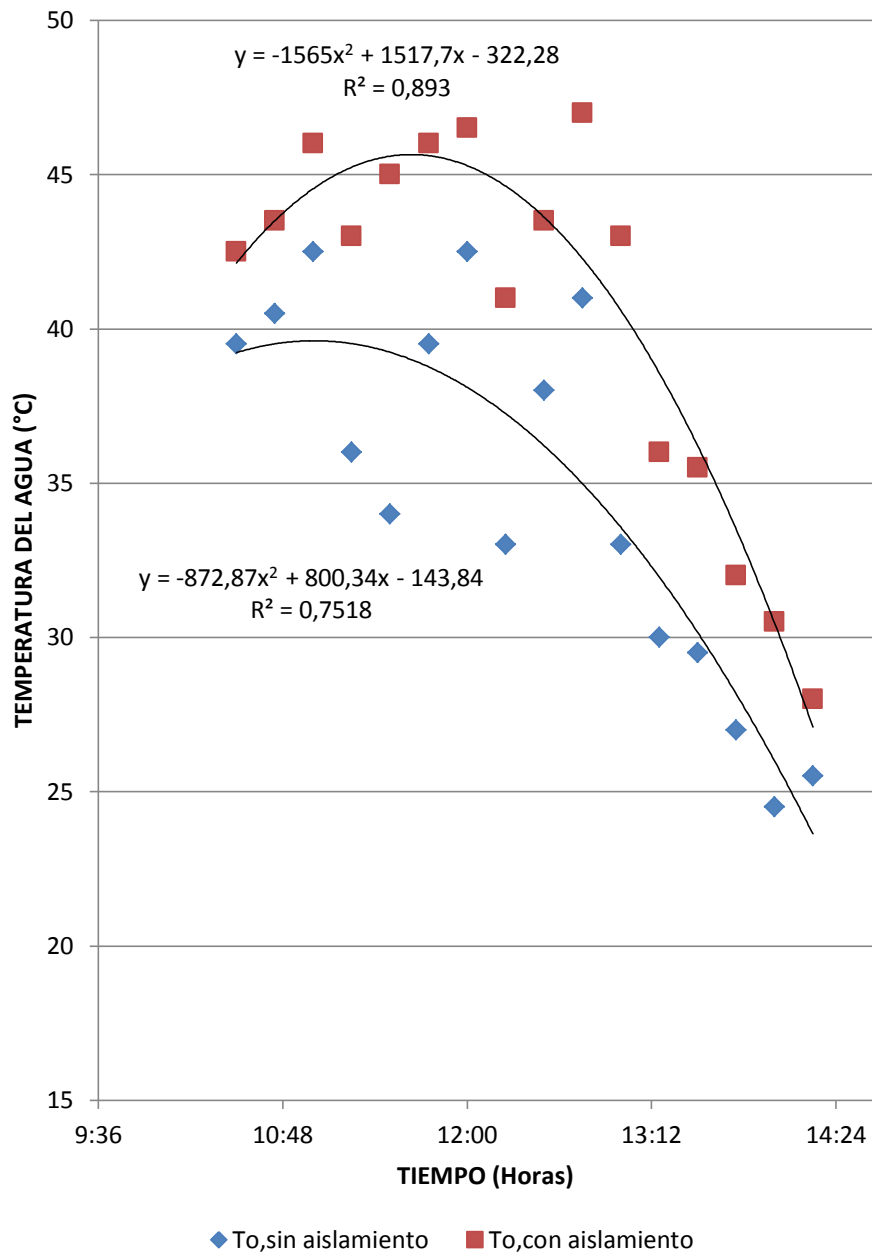
En la gráfica observamos que la temperatura ambiental tiene el pico más alto al medio día, mientras transcurre el tiempo la temperatura ambiental va disminuyendo hasta que al final del día de pruebas llega a ser baja.

GRÁFICA 4-7 Temperatura de salida de agua vs Radiación



Las temperaturas de salida de agua T_s tienen una tendencia potencial creciente con respecto al aumento de la radiación con ajuste de 92,63% y con un ajuste de 85,49% con aislamiento.

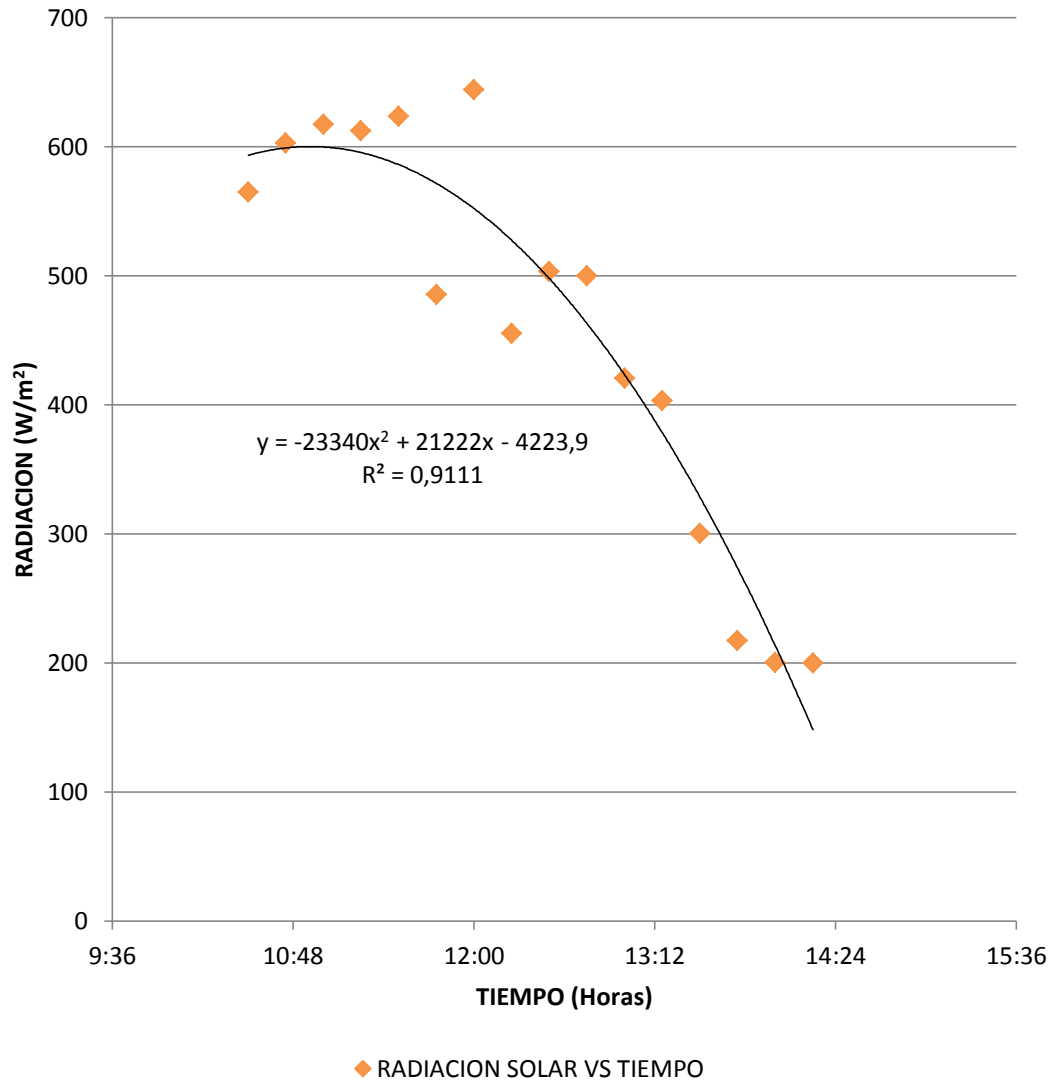
GRÁFICA 4-8 Temperatura de salida de agua vs Tiempo



Las temperaturas de salida de agua T_s tienen una tendencia polinómica decreciente con respecto al avance del tiempo con ajuste de 75,18% sin aislamiento y una tendencia polinómica decreciente con respecto al avance del tiempo con ajuste de 89,3% con aislamiento.

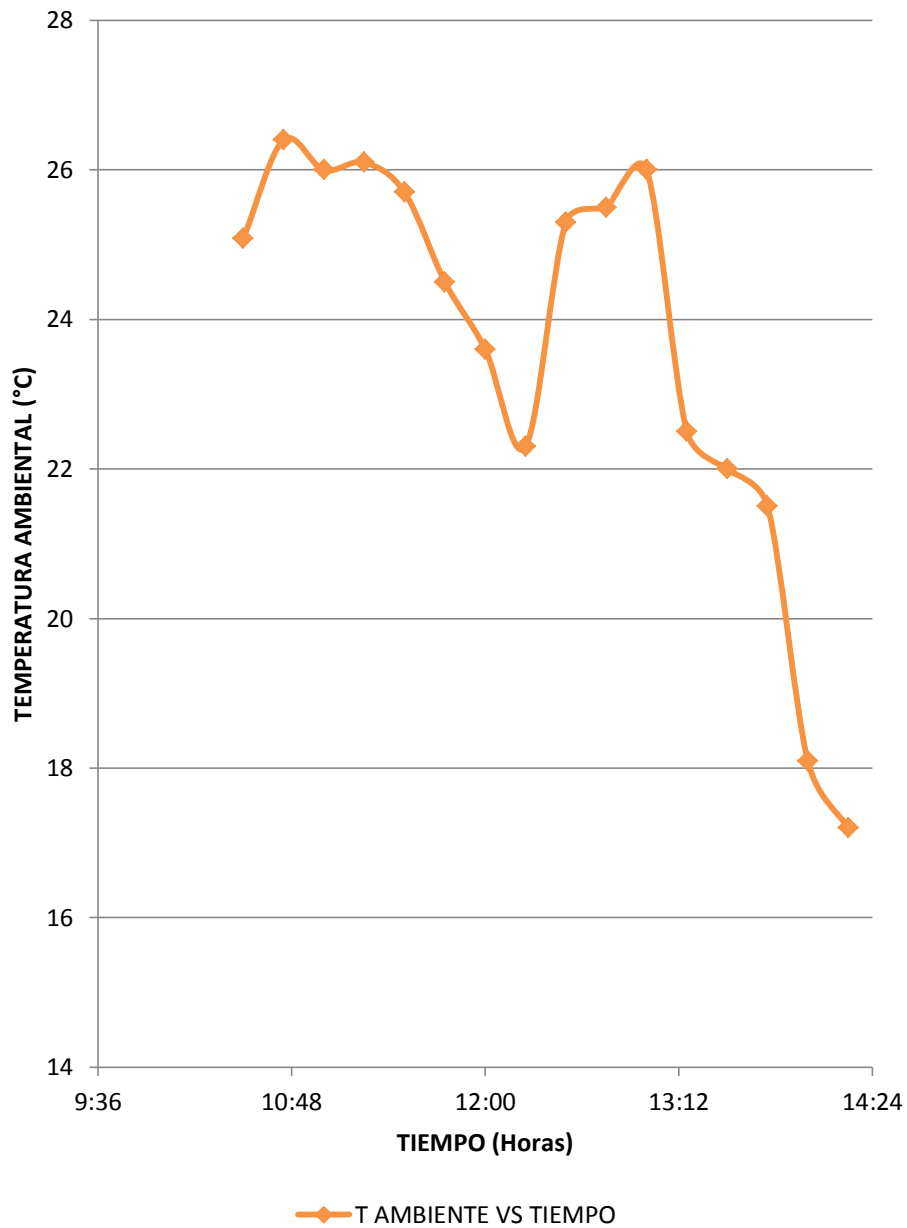
4.1.3 TERCER DÍA

GRÁFICA 4-9 Radiación solar Vs Tiempo



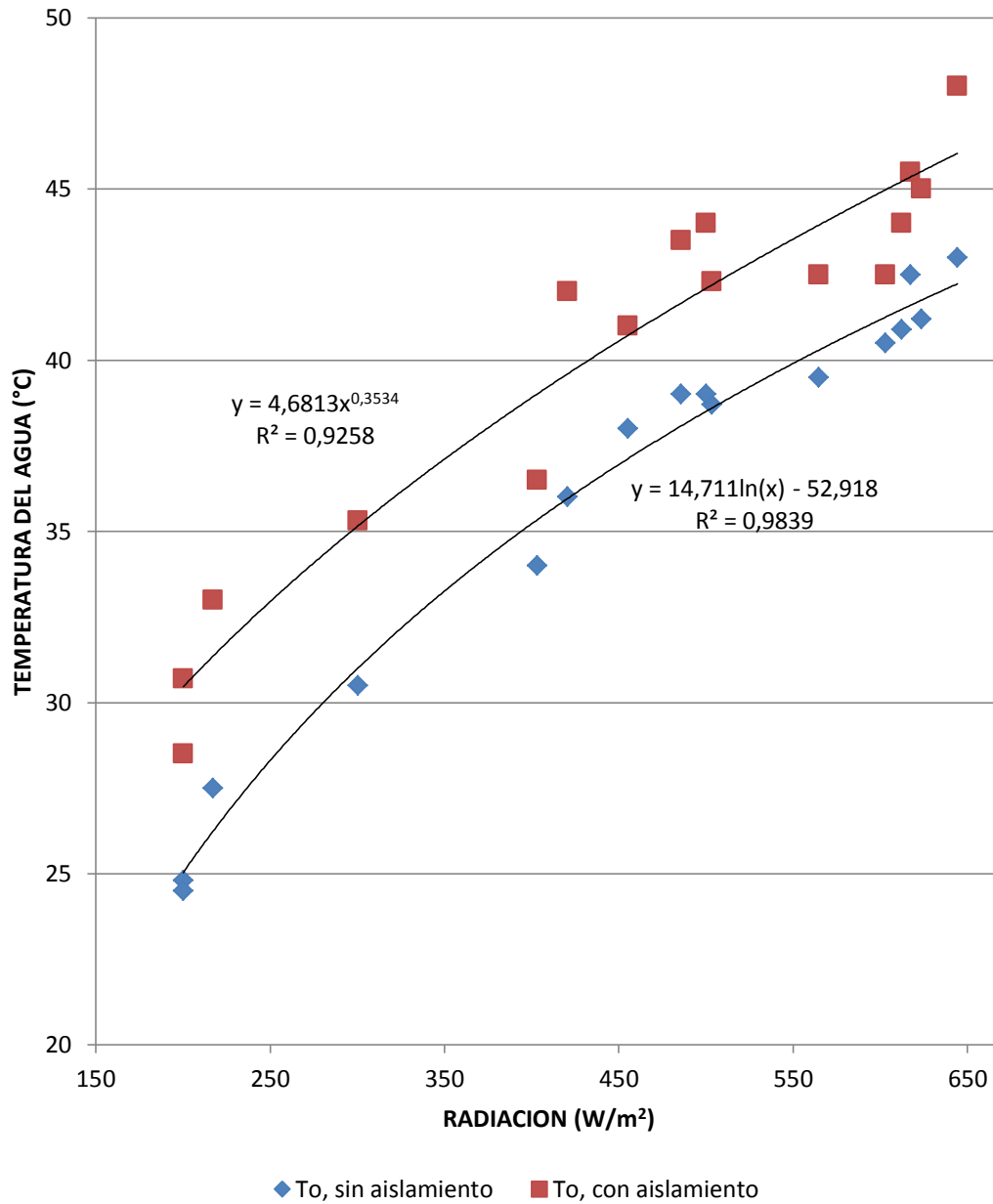
A medida que se va incrementando el tiempo de exposición al sol se va disminuyendo la radiación, como podemos observar en la gráfica se tiene una tendencia polinómica es decir estas variables tienen un coeficiente de determinación del 91,11%.

GRÁFICA 4-10 Temperatura ambiental vs Tiempo



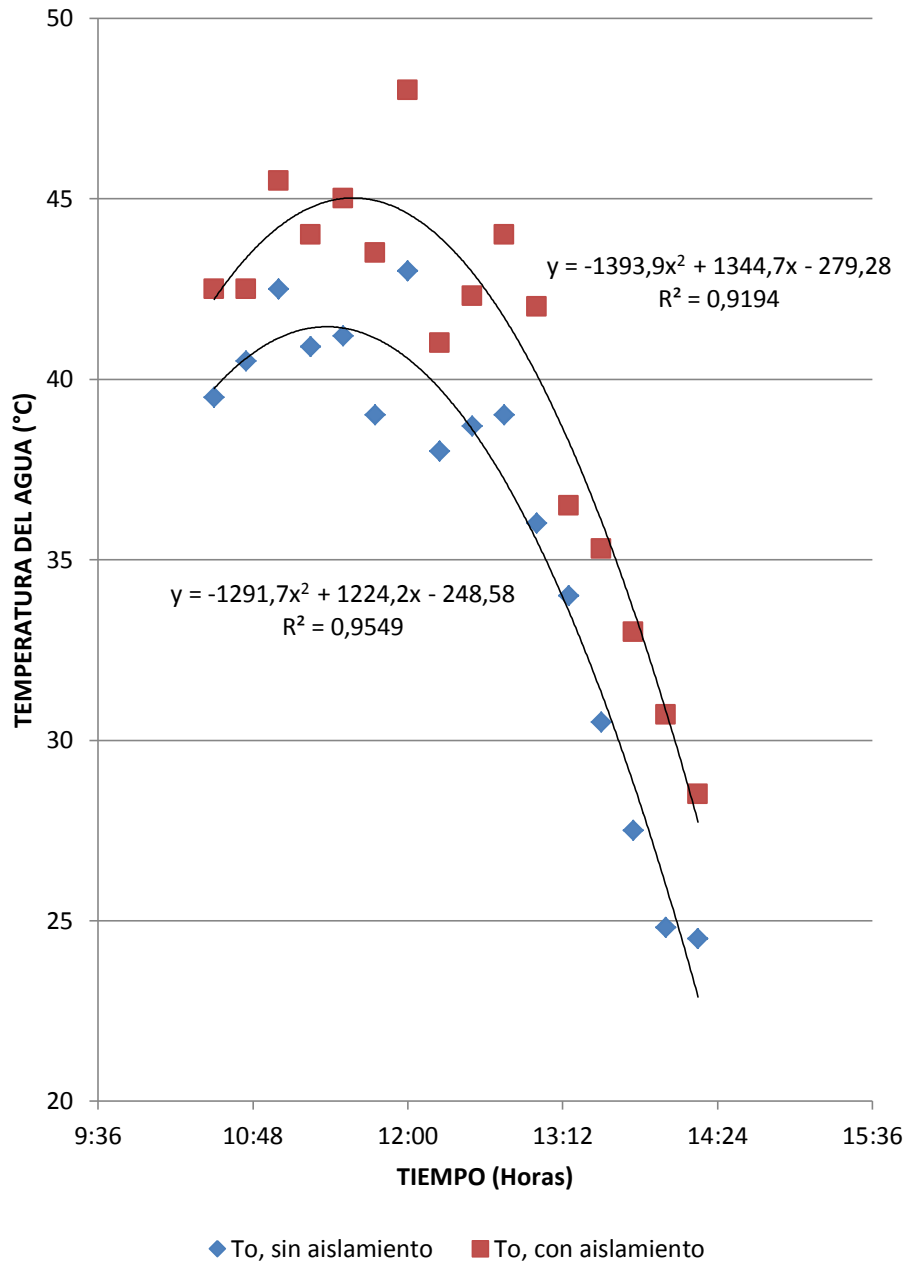
En la gráfica observamos que la temperatura ambiente tiene dos picos más altos a las 10:30 y 13:00, mientras transcurre el tiempo la temperatura ambiental va disminuyendo hasta que al final del día de pruebas llega a 17°C.

GRÁFICA 4-11 Temperatura de salida de agua vs Radiación



Las temperaturas de salida de agua T_s tienen una tendencia logarítmica creciente con respecto al aumento de la radiación con ajuste de 98,39% sin aislamiento y una tendencia potencial con ajuste de 92,58% con aislamiento.

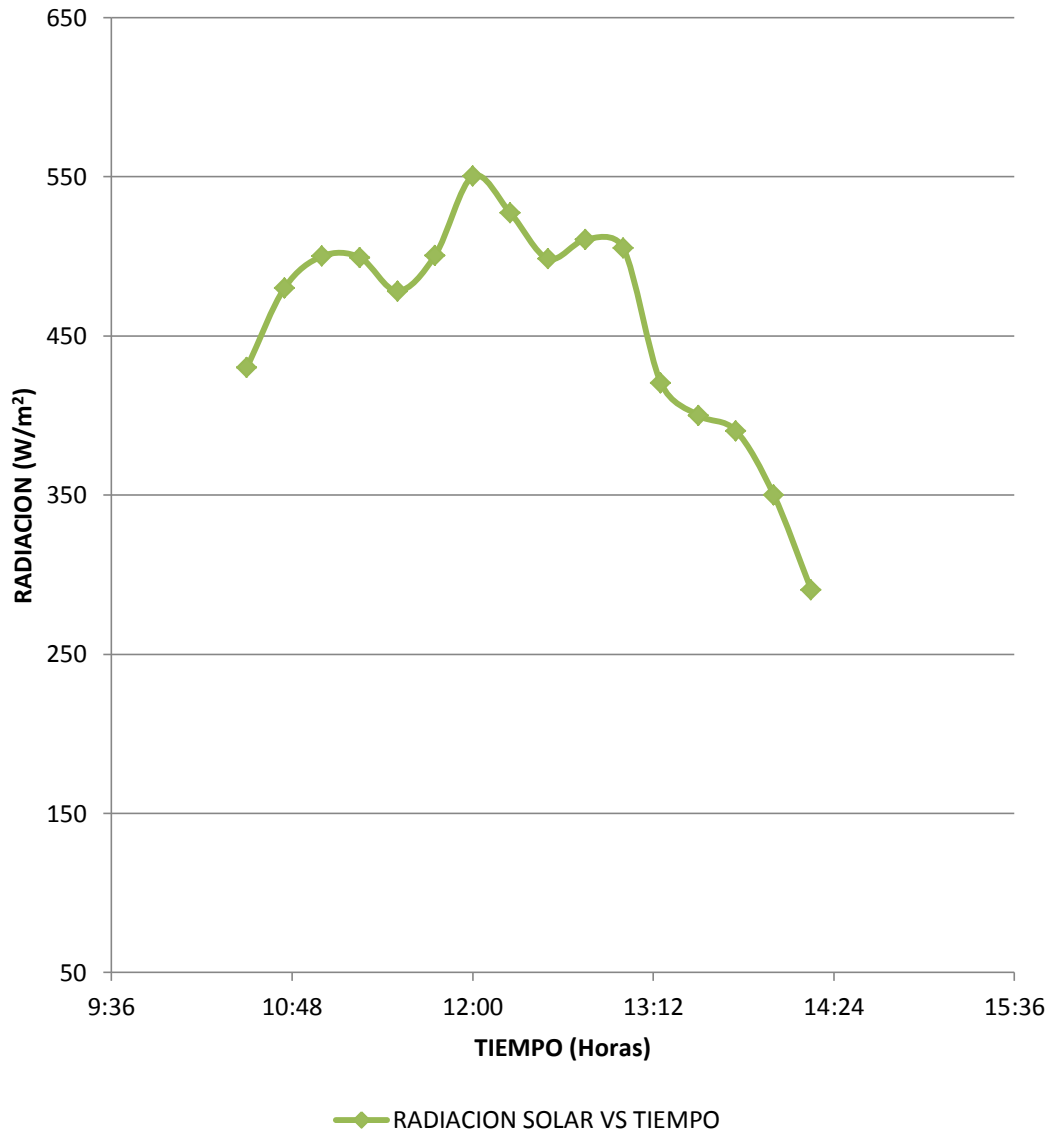
GRÁFICA 4-12 Temperatura de salida de agua vs Tiempo



Las temperaturas de salida de agua T_s tienen una tendencia polinómica decreciente con respecto al avance del tiempo con ajuste de 95,5% sin aislamiento y con ajuste de 91,94% con aislamiento.

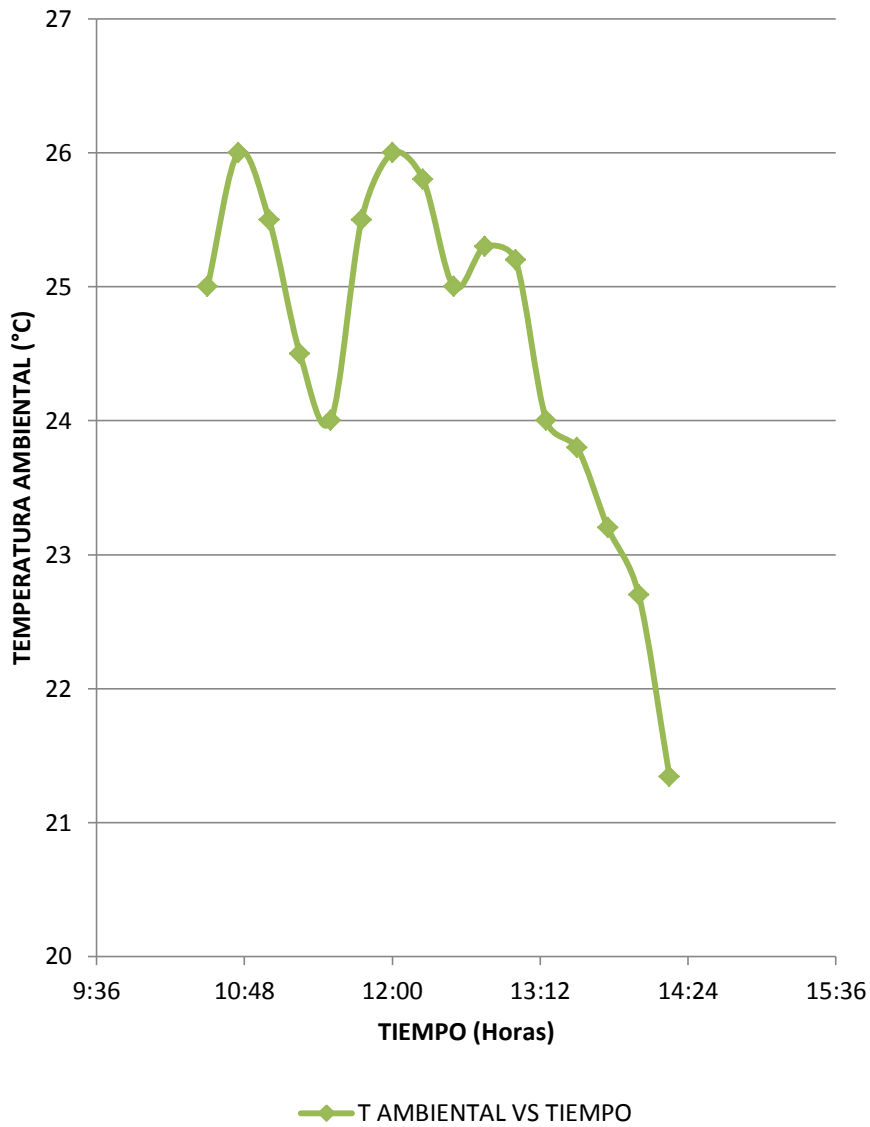
4.1.4 CUARTO DÍA

GRÁFICA 4-13 Radiación solar Vs Tiempo



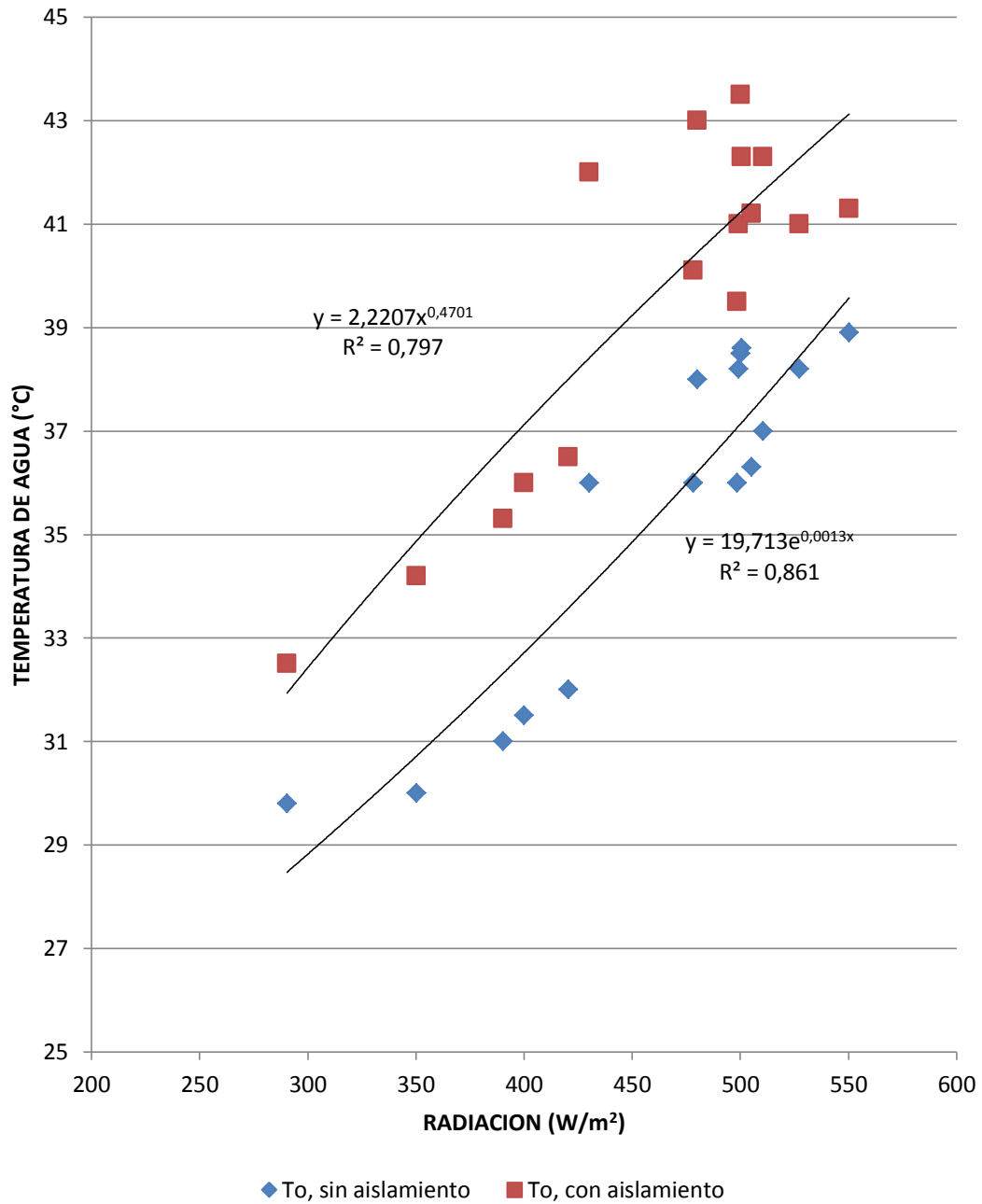
En la gráfica observamos que la radiación tiene el pico más alto al medio día, mientras transcurre el tiempo la radiación va disminuyendo hasta que al final del día de pruebas llega a ser no menos de los 250 W/m^2 .

GRÁFICA 4-14 Temperatura ambiental Vs Tiempo



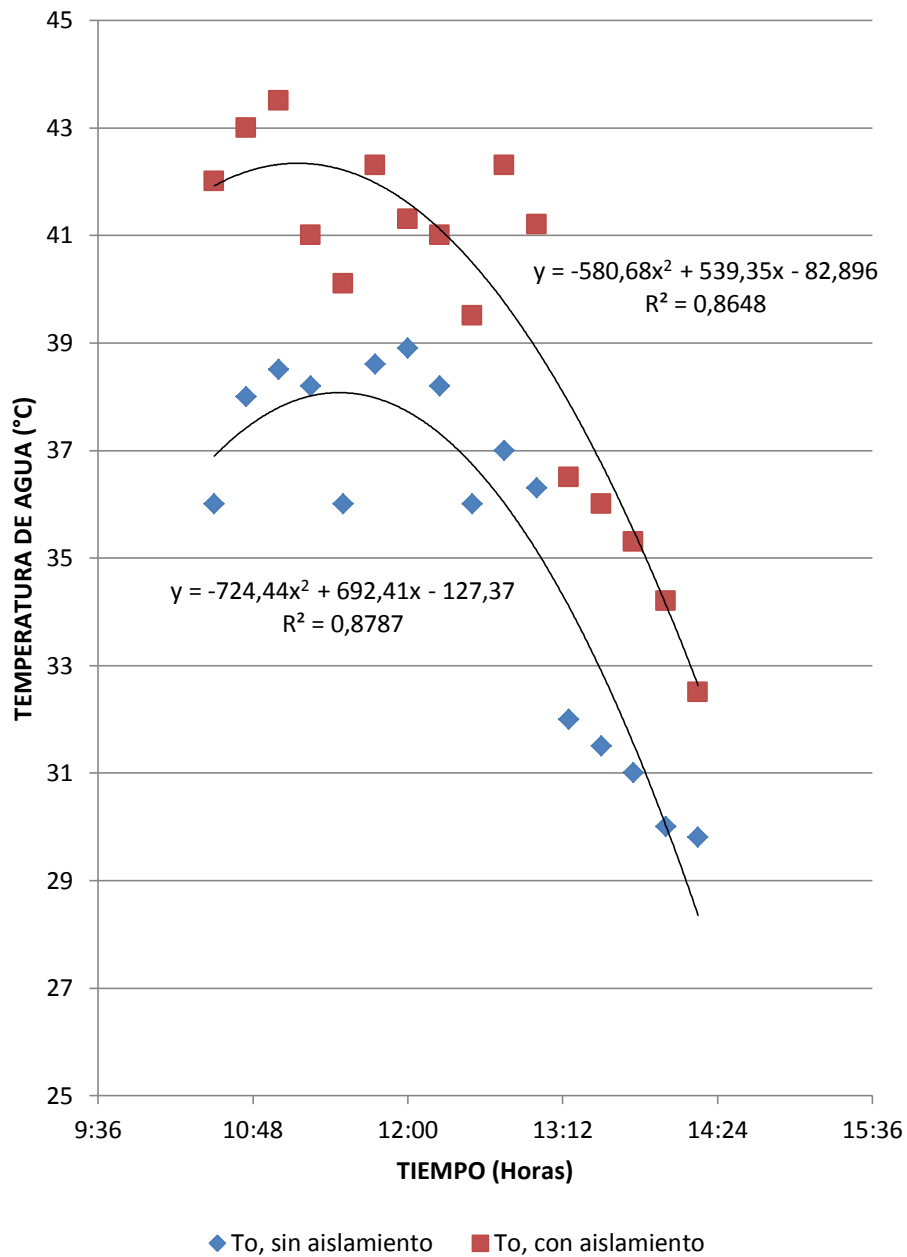
En la gráfica observamos que la temperatura ambiente tiene dos picos más altos a las 10:30 y al medio día, mientras transcurre el tiempo la temperatura ambiental va disminuyendo hasta que al final del día de pruebas llega a 21,5°C.

GRÁFICA 4-15 Temperatura de salida de agua vs Radiación



Las temperaturas de salida de agua T_s tienen una tendencia exponencial creciente con respecto al aumento de la radiación con ajuste de 86,1% sin aislamiento y una tendencia potencial con ajuste de 79,7% con aislamiento.

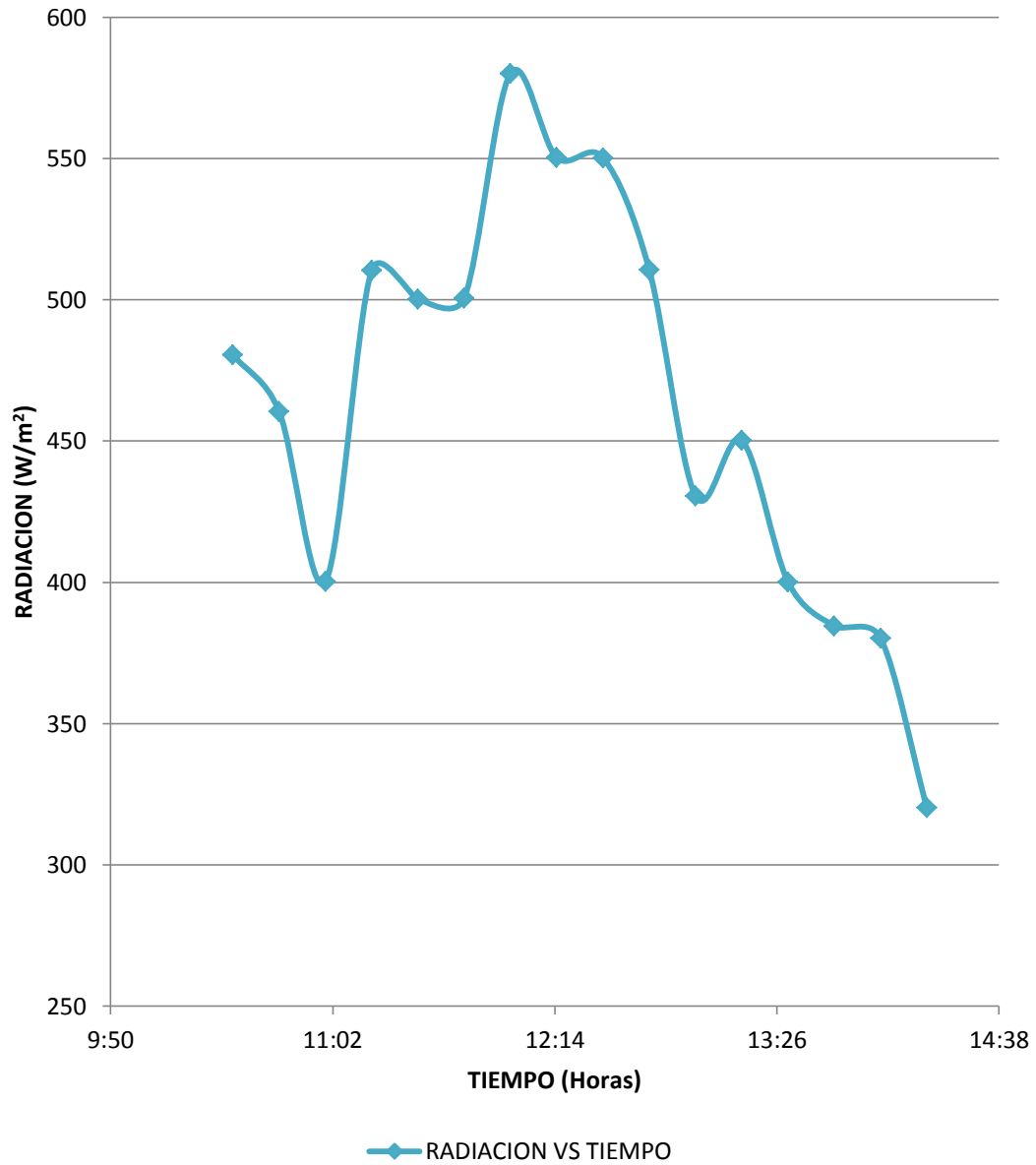
GRÁFICA 4-16 Temperatura de salida de agua vs Tiempo



Las temperaturas de salida de agua T_s tienen una tendencia polinómica decreciente con respecto al avance del tiempo con ajuste de 87,87% sin aislamiento y una tendencia polinómica decreciente con respecto al avance del tiempo con ajuste de 86,48% con aislamiento.

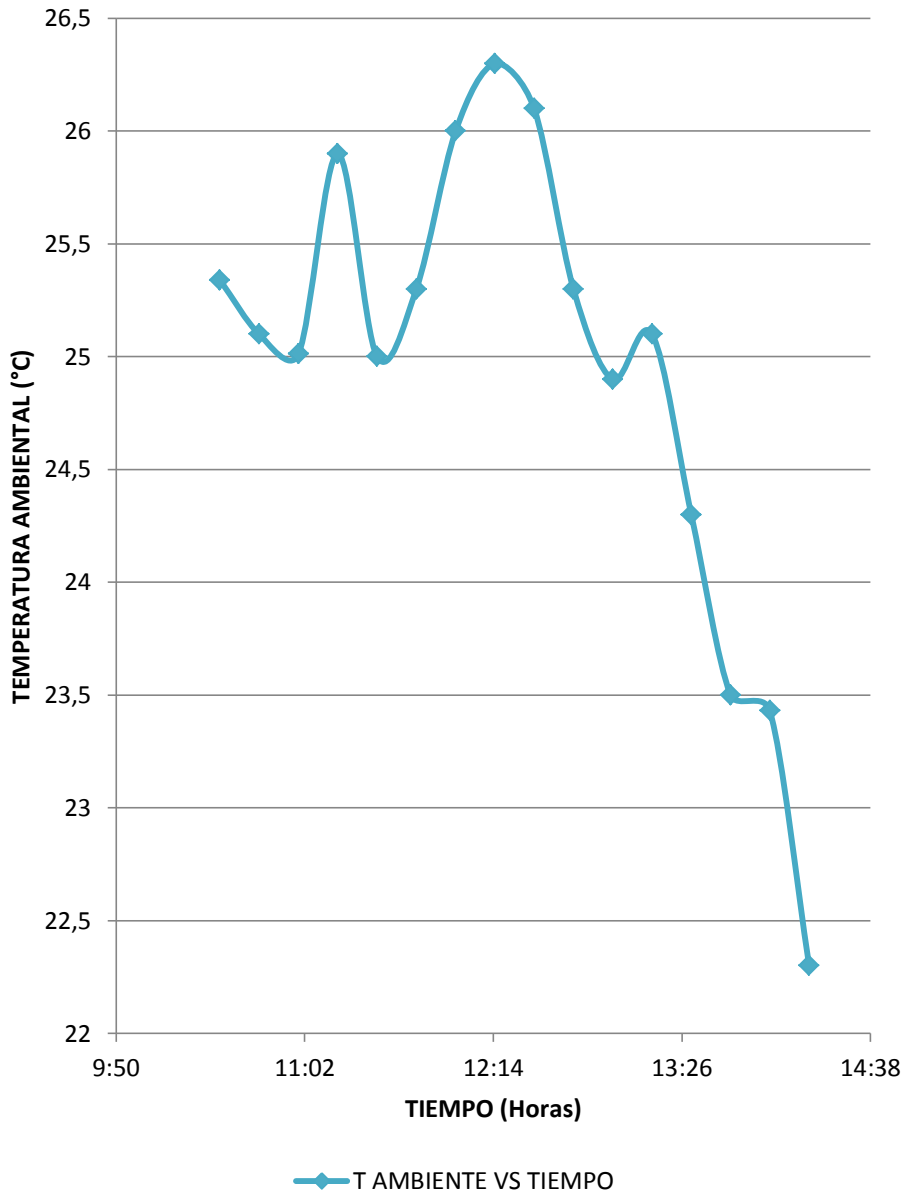
4.1.5 QUINTO DÍA

GRÁFICA 4-17 Radiación solar Vs Tiempo



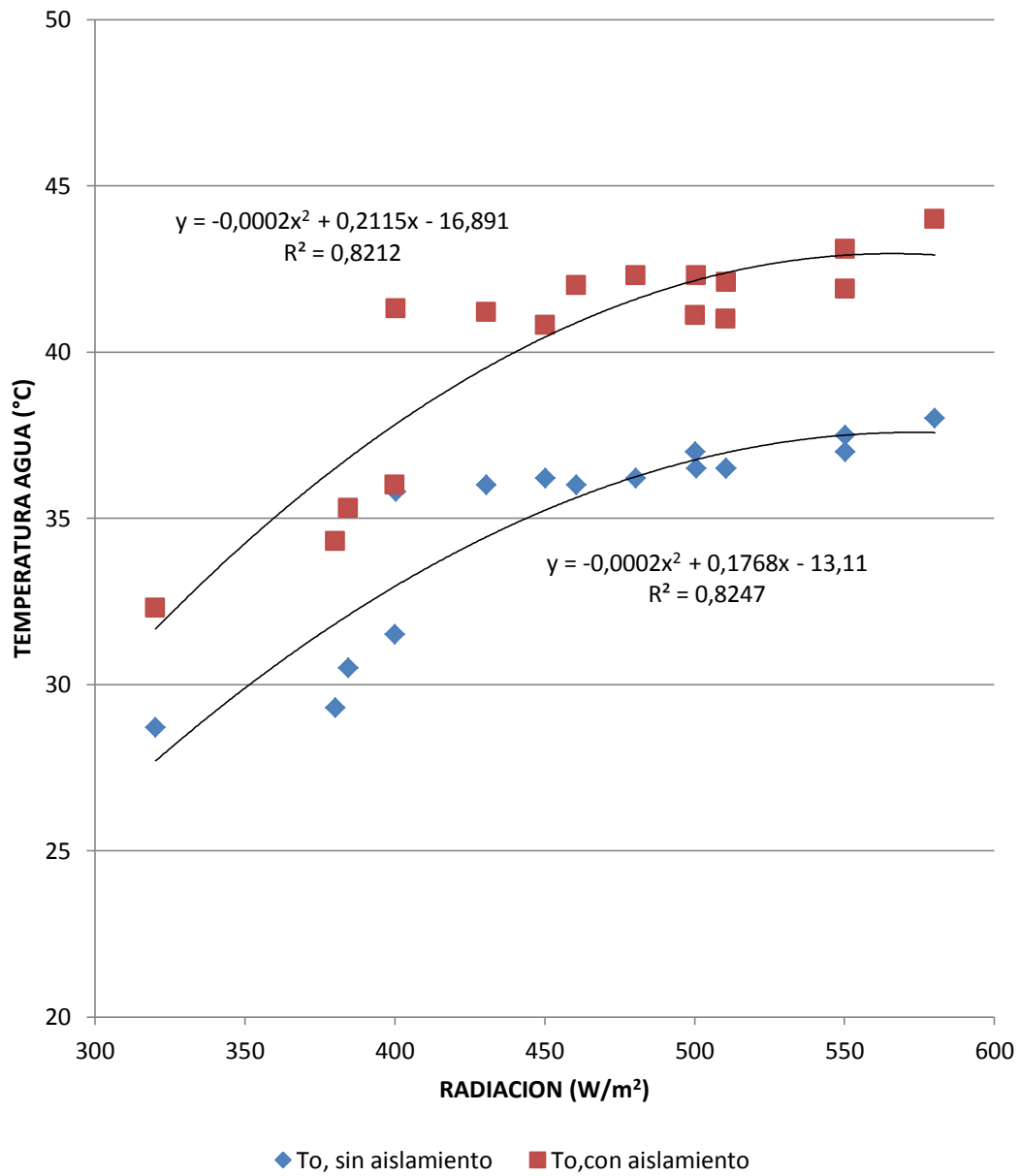
A medida que se va incrementando el tiempo de exposición al sol se va disminuyendo la radiación, como podemos observar en la gráfica se tiene una radiación máxima al medio día llegando a tener una radiación no menor a los $300 W/m^2$.

GRÁFICA 4-18 Temperatura ambiental Vs Tiempo



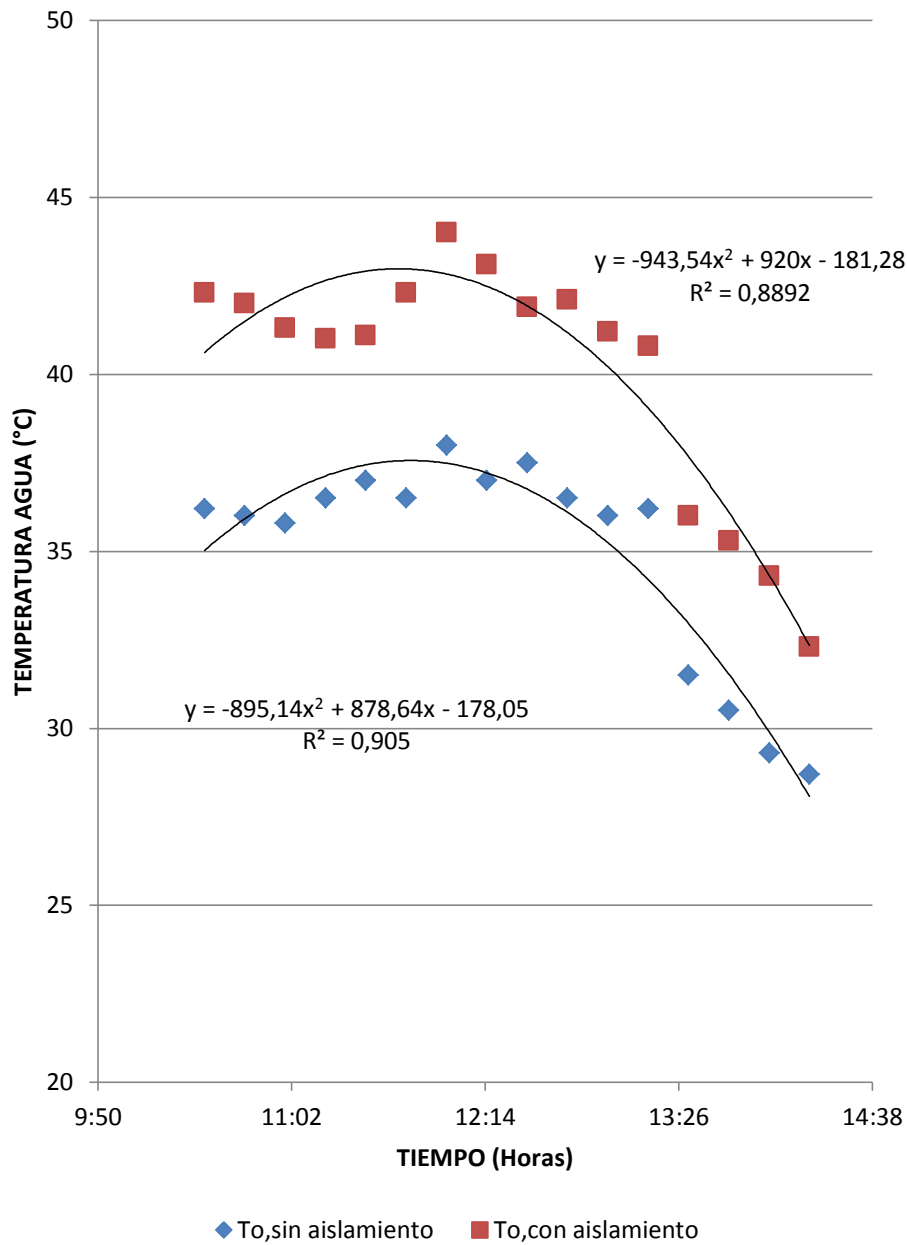
A medida que se va incrementando el tiempo la temperatura ambiental va disminuyendo, como podemos observar en la gráfica se tiene una temperatura ambiental máxima al medio día.

GRÁFICA 4-19 Temperatura de salida de agua vs Radiación



Las temperaturas de salida de agua T_s tienen una tendencia polinómica creciente con respecto al aumento de la radiación con ajuste de 82,47% sin aislamiento y con ajuste de 82,12% con aislamiento.

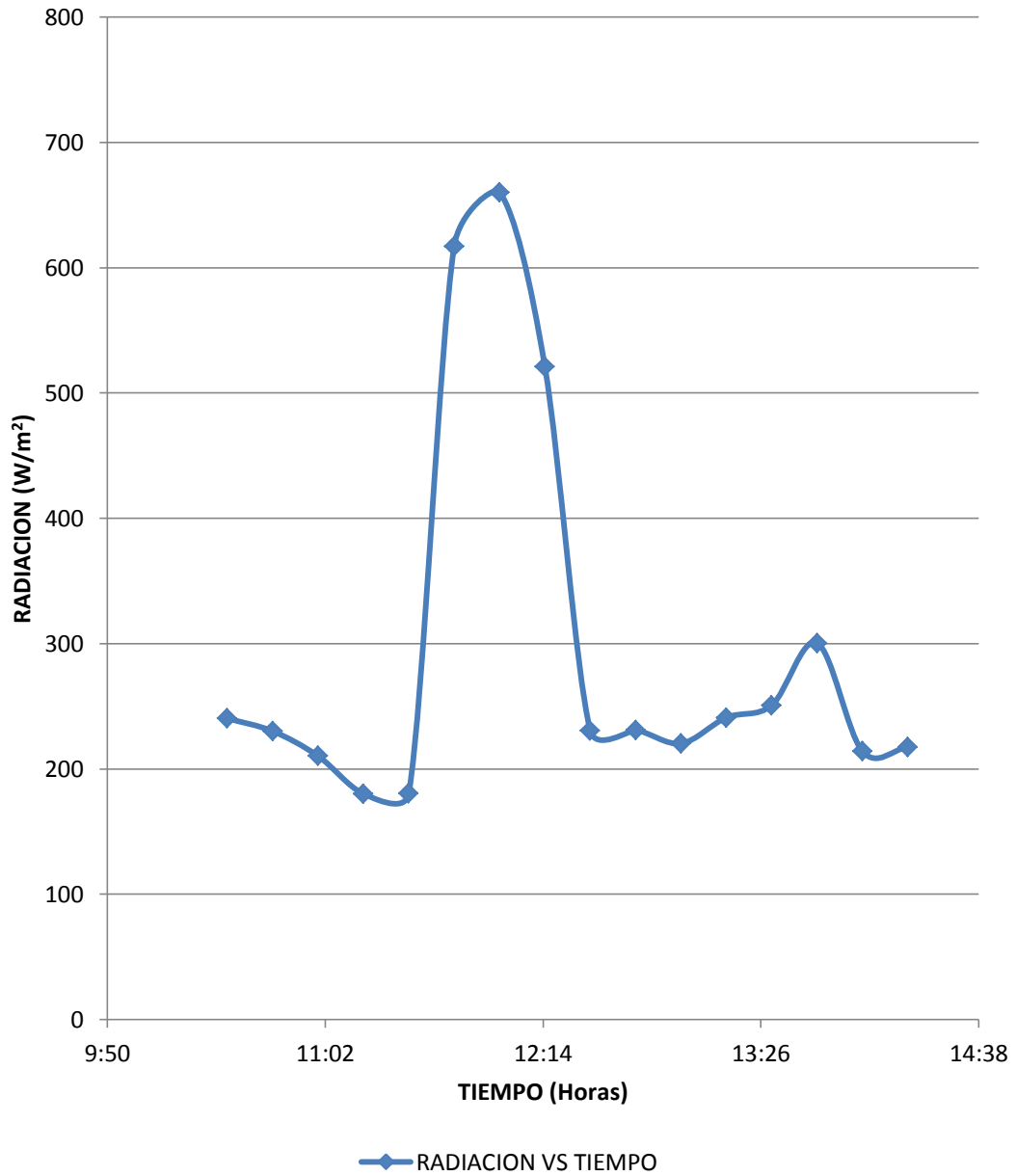
GRÁFICA 4-20 Temperatura de salida de agua vs Tiempo



Las temperaturas de salida de agua T_s tienen una tendencia polinómica decreciente mínima con respecto al avance del tiempo con ajuste de 90,5% sin aislamiento y con ajuste de 88,9% con aislamiento.

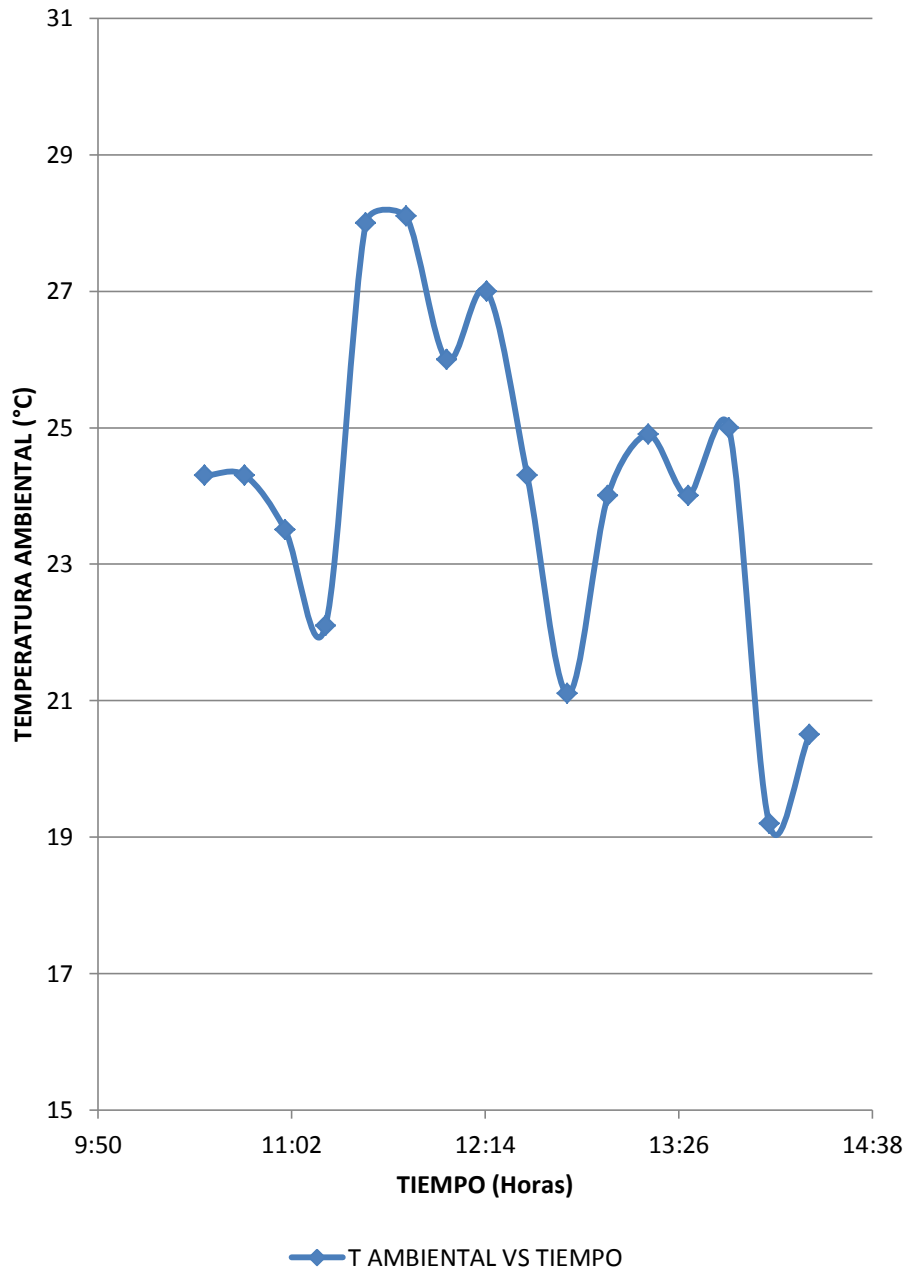
4.1.6 SEXTO DÍA

GRÁFICA 4-21 Radiación solar Vs Tiempo



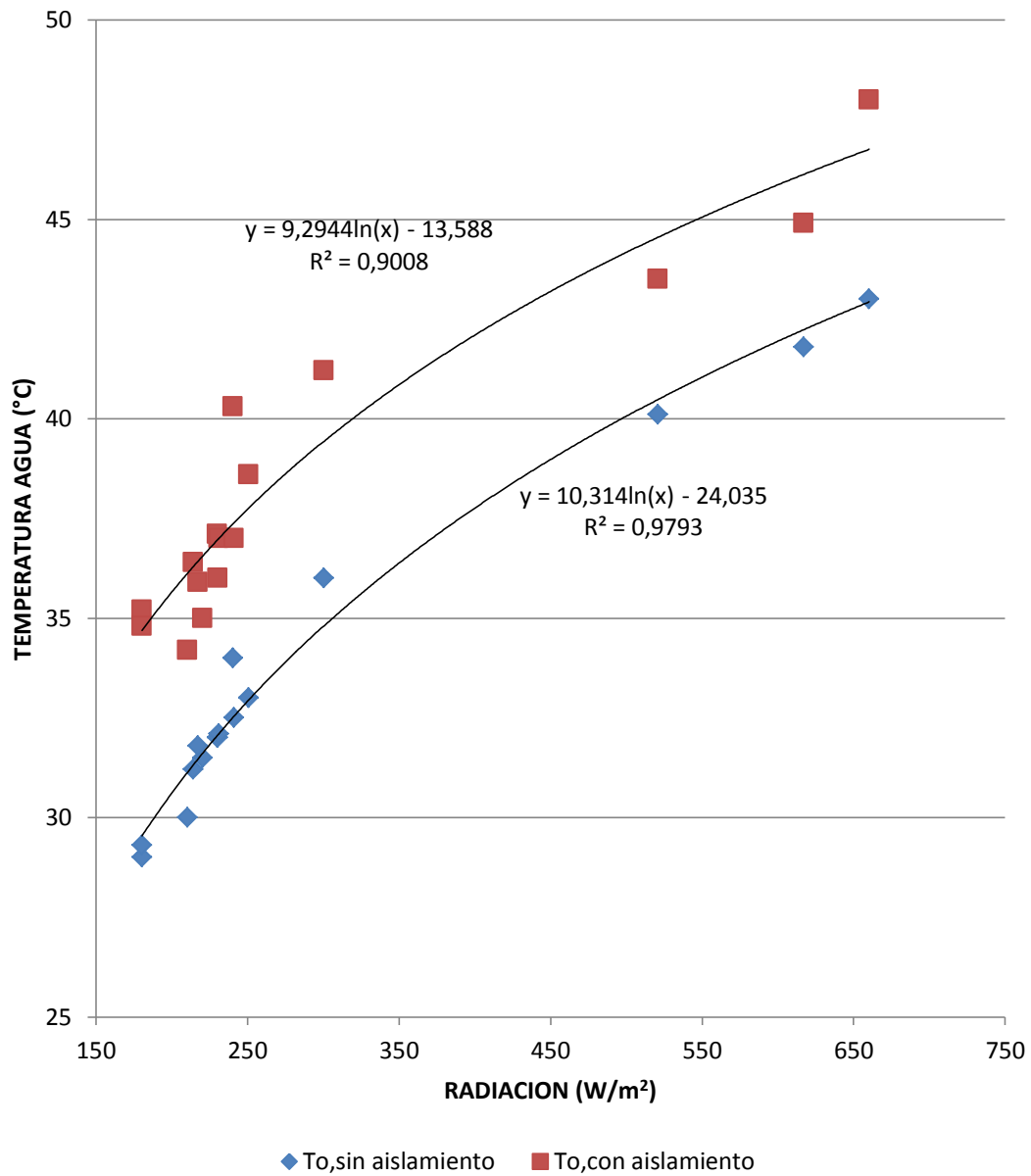
En la gráfica podemos observar que las medidas de radiación son bajas, llegando a alcanzar una radiación máxima al medio día la cual es la única medida alta en ese día.

GRÁFICA 4-22 Temperatura ambiental Vs Tiempo



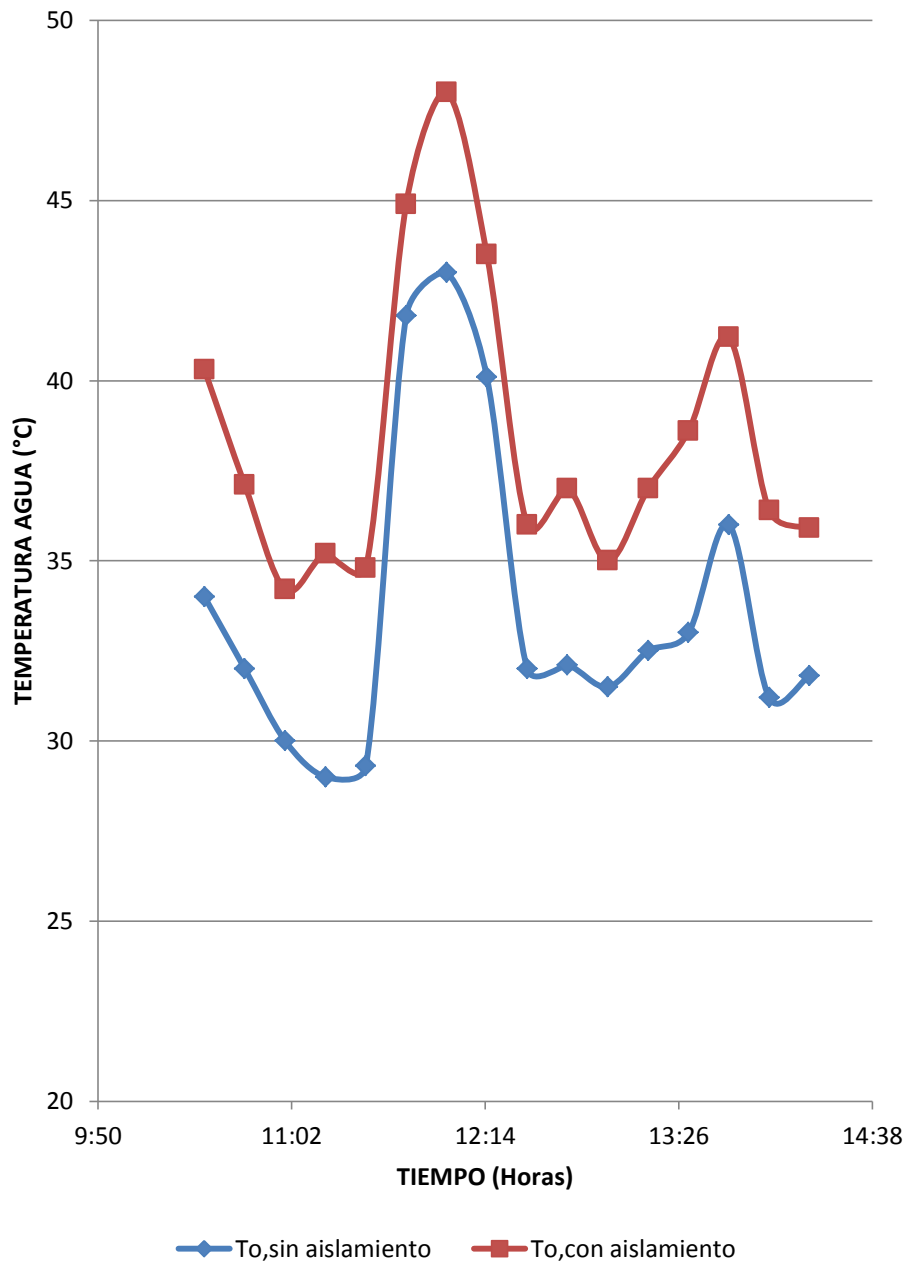
Como se observa en la gráfica las medidas de temperatura ambiente son inestables alcanzando el pico más alto de radiación al medio día.

GRÁFICA 4-23 Temperatura de salida de agua vs Radiación



Las temperaturas de salida de agua T_s tienen una tendencia logarítmica creciente con respecto al aumento de la radiación con ajuste de 97,93% sin aislamiento y con ajuste de 90% con aislamiento.

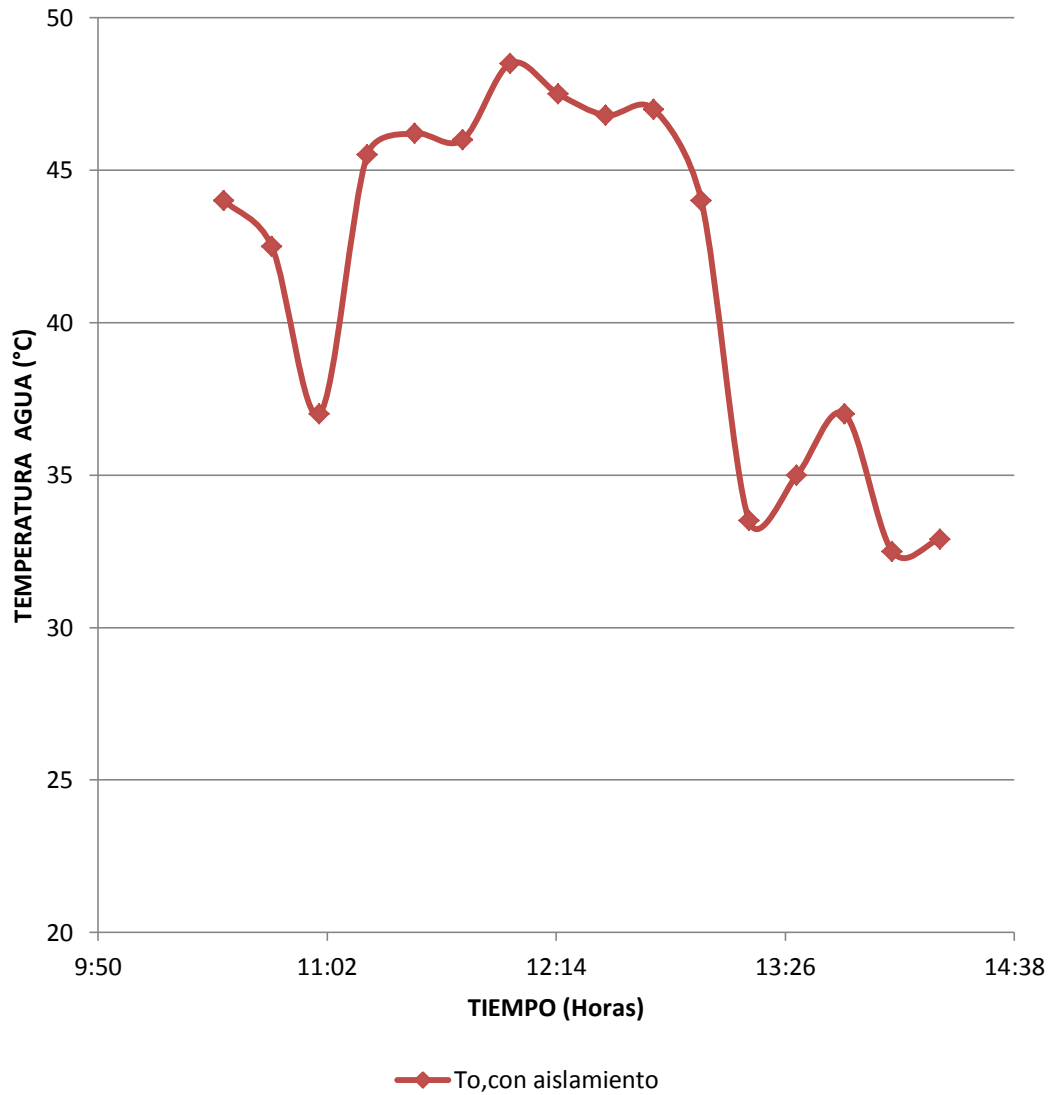
GRÁFICA 4-24 Temperatura de salida de agua vs Tiempo



Como se observa en la gráfica las medidas de temperatura del agua a la salida del panel son inestables alcanzando el pico más alto de radiación al medio día, como también podemos observar que con la utilización del aislante color rojo alcanzamos mayores temperaturas.

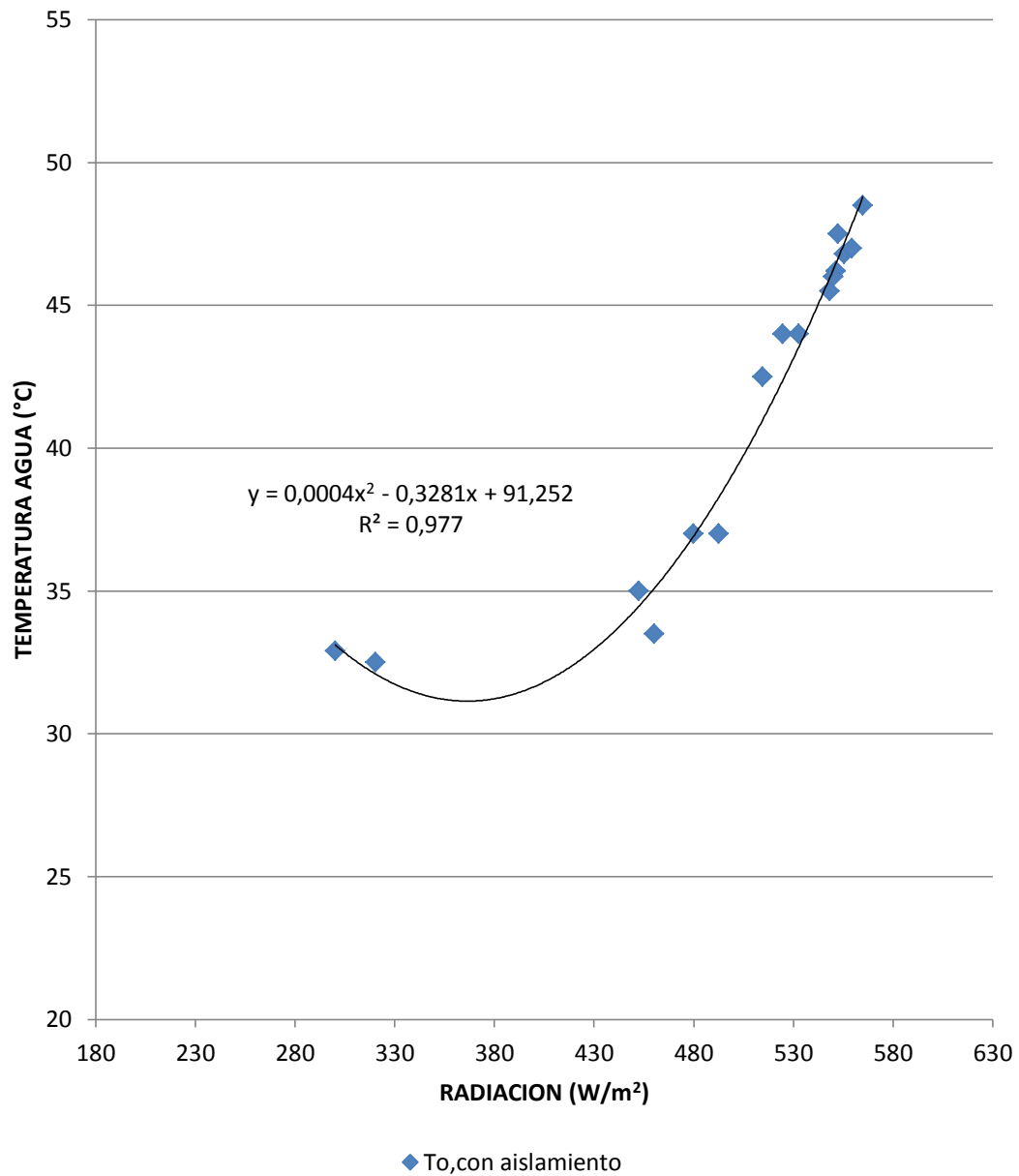
4.1.7 SÉPTIMO DÍA

GRÁFICA 4-25 Temperatura con aislamiento vs Tiempo



A medida que se va incrementando el tiempo de exposición al sol también va disminuyendo la temperatura con aislamiento en la salida de agua del panel, como podemos observar en la gráfica se tiene una temperatura máxima alcanzada al medio día.

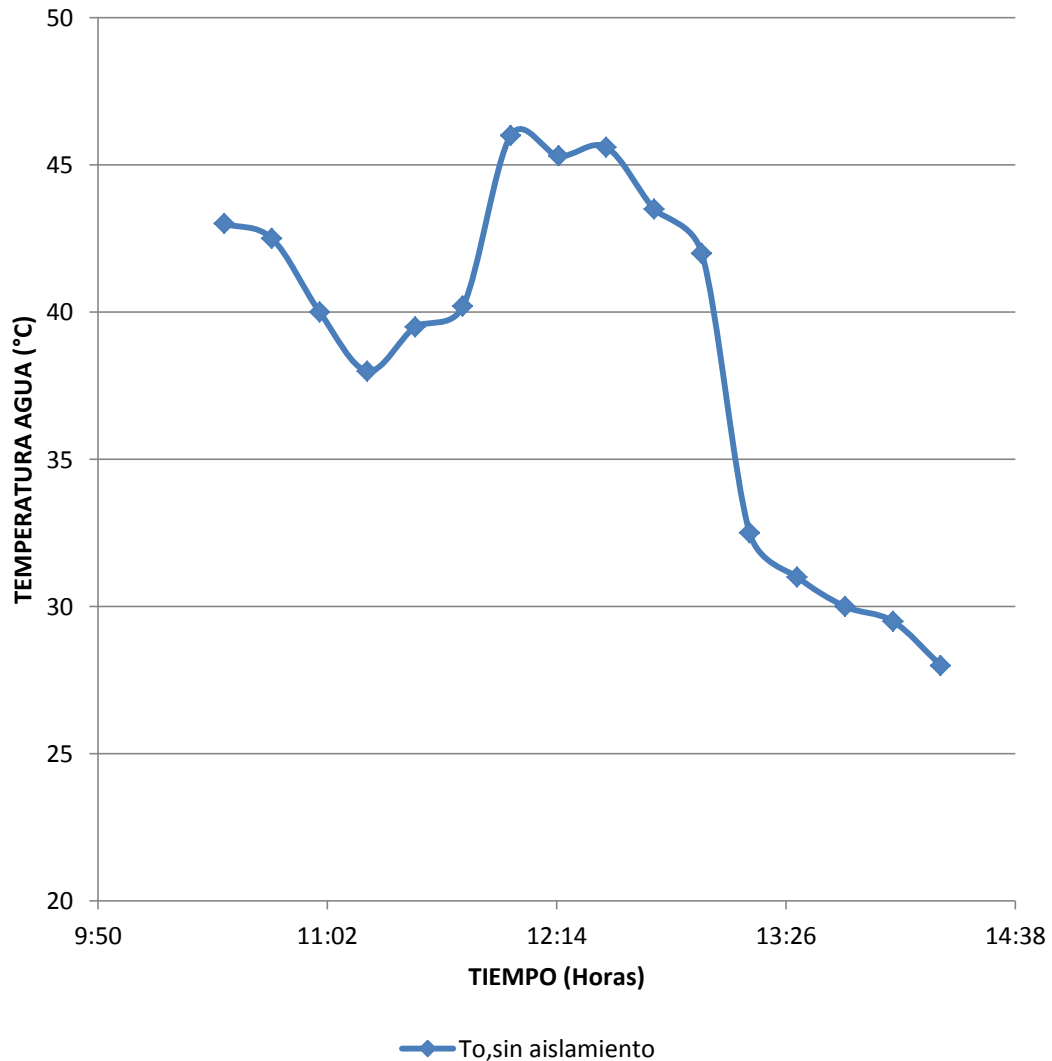
GRÁFICA 4-26 Temperatura con aislamiento vs Radiación



A medida que se va incrementando la radiación también va aumentando la temperatura con aislamiento en la salida de agua del panel, como podemos observar en la gráfica se tiene una tendencia polinómica creciente es decir estas variables tienen un coeficiente de determinación del 97,7%.

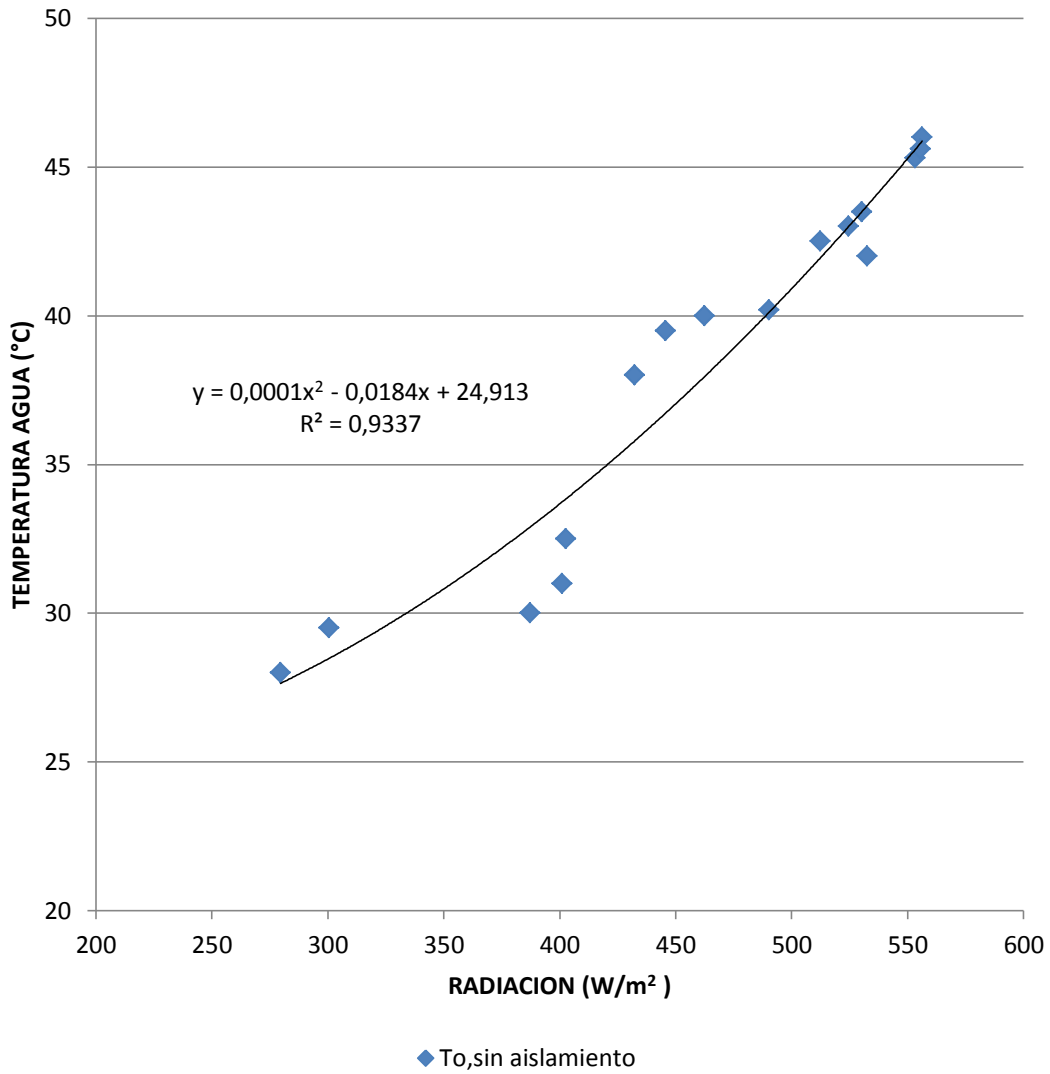
4.1.8 OCTAVO DÍA

GRÁFICA 4-27 Temperatura sin aislamiento vs Tiempo



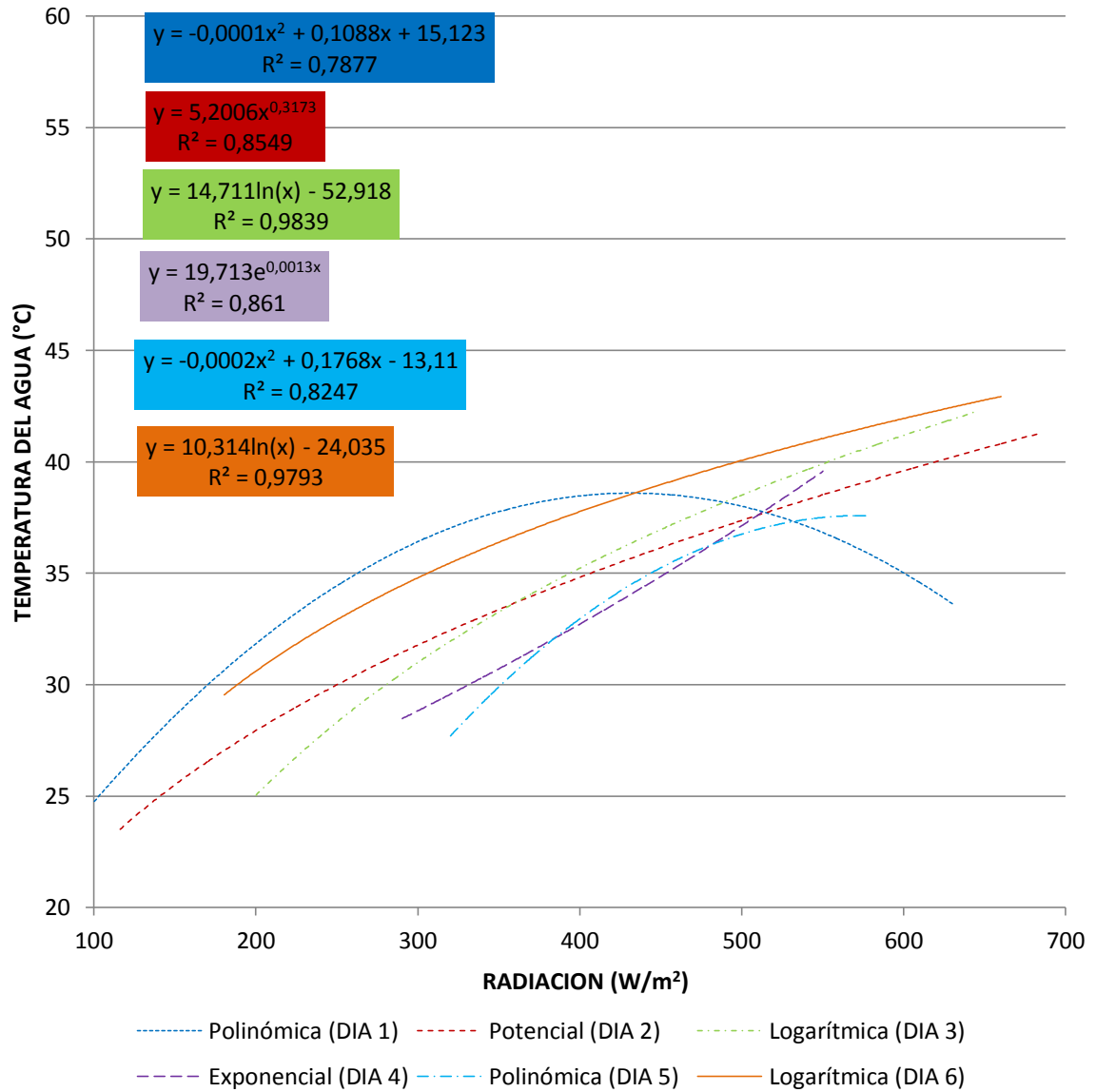
A medida que se va incrementando el tiempo de exposición al sol también va disminuyendo la temperatura sin aislamiento en la salida de agua del panel, como podemos observar en la gráfica se tiene una temperatura máxima alcanzada al medio día

GRÁFICA 4-28 Temperatura sin aislamiento vs Radiación



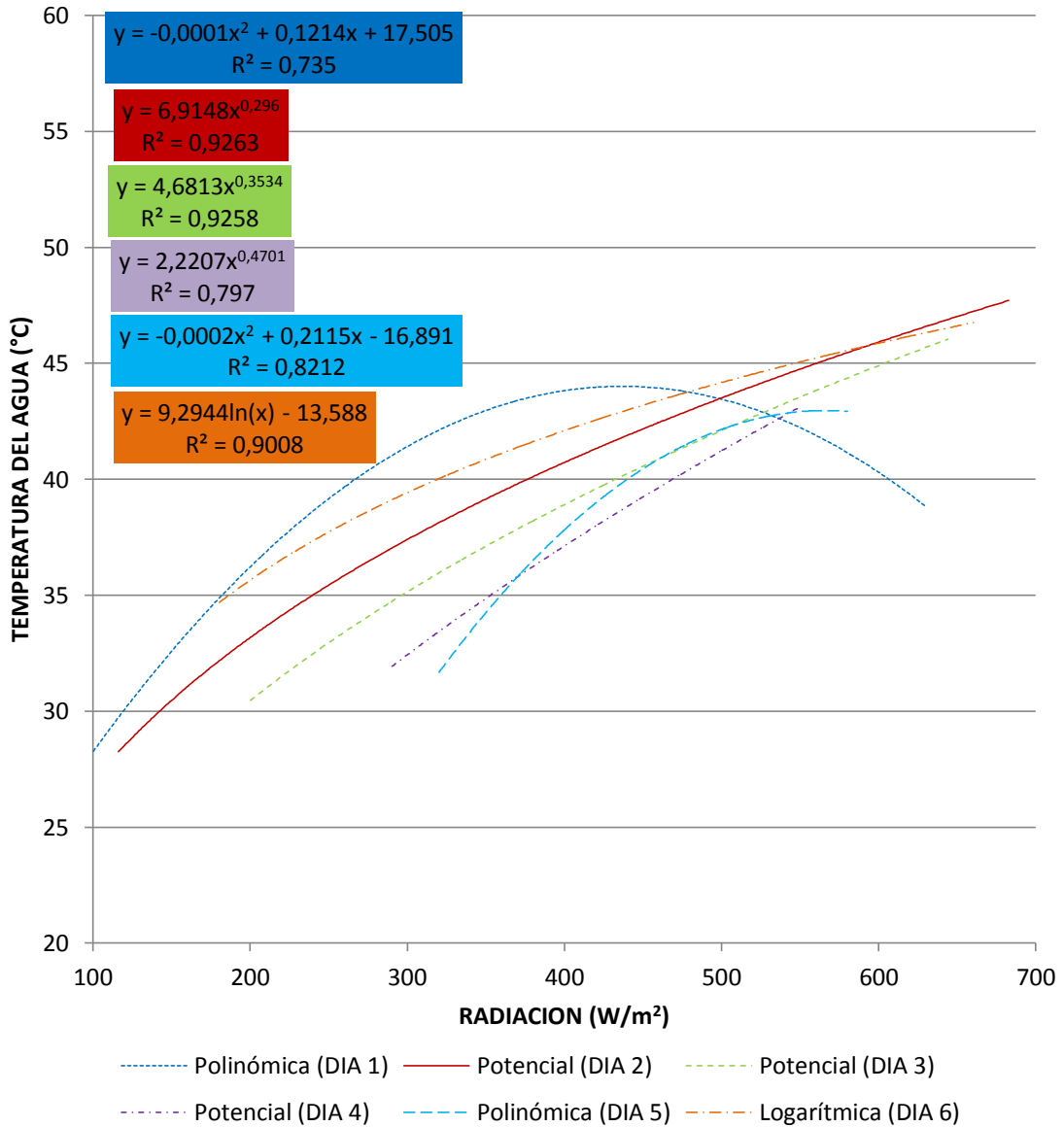
A medida que se va incrementando la radiación también va aumentando la temperatura sin aislamiento en la salida de agua del panel, como podemos observar en la gráfica se tiene una tendencia exponencial creciente es decir estas variables tienen un coeficiente de determinación del 93,37%

GRÁFICA 4-29 Temperatura de salida de agua sin aislamiento vs Radiación de los seis días



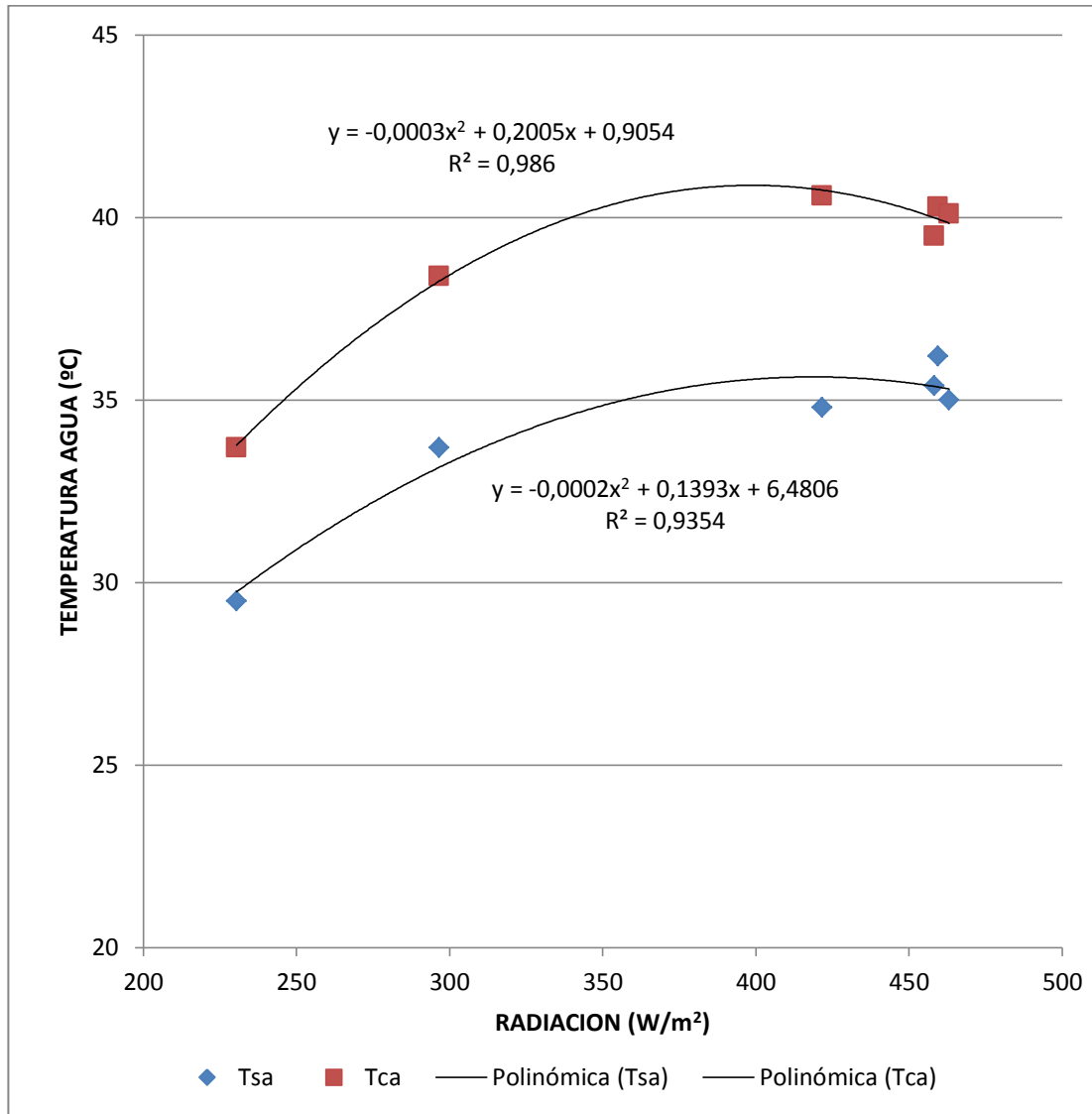
En esta gráfica podemos observar las correlaciones de los seis días de pruebas entre Temperatura a la salida del panel sin aislamiento con las radiaciones de los seis días de pruebas, la cual permite tomar como alternativa la correlación del sexto día que es la mayor ya que tiene una tendencia logarítmica creciente con un coeficiente de determinación del 97,93 % de color naranja.

GRÁFICA 4-30 Temperatura de salida de agua con aislamiento vs Radiación de los seis días



En esta gráfica podemos observar las correlaciones de los seis días de pruebas entre Temperatura a la salida de agua del panel con aislamiento con las radiaciones de los seis días de pruebas, la cual permite tomar como alternativa la correlación del segundo día que es la mayor ya que tiene una tendencia polinómica creciente con un coeficiente de determinación del 93,02 % de color rojo.

GRAFICA 4-31 Temperaturas de Agua Promedio vs Radiaciones Promedio



En esta gráfica está representada los valores promedios tanto de la Temperatura del agua a la salida con y sin aislamiento del panel con respecto a las Radiaciones de los seis días de pruebas realizadas lo cual observamos una tendencia polinómica creciente con un coeficiente de determinación de 98,6 % con aislamiento mientras tanto tenemos una tendencia polinómica creciente con un coeficiente de determinación de 93,5% sin aislamiento.

4.2 INTERPRETACIÓN DE DATOS.

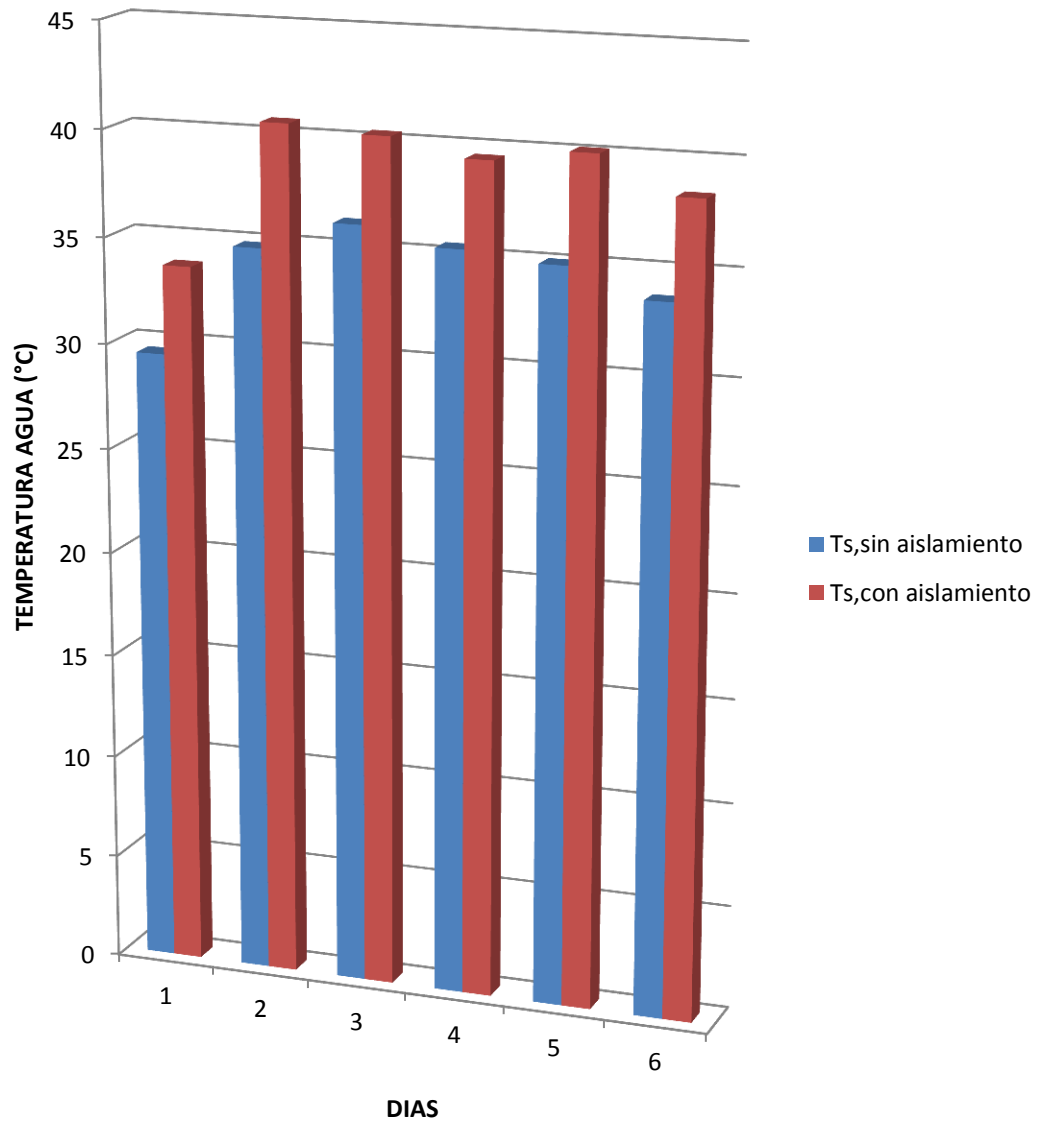
A continuación detallaremos una tabla de datos con variación de temperaturas con y sin aislamiento con respecto al número de días realizados las pruebas con presencia del sol utilizando la ecuación $\Delta t = \overline{T_{CA}} - \overline{T_{SA}}$

Tabla 4-1 Diferencia de temperaturas entre el tubo sin aislamiento y con aislamiento

.DIAS	DELTA
1	4,2
2	5,8
3	4,1
4	4,1
5	5,1
6	4,7
PROMEDIO	4,7
MAX	5,8
MIN	4,1

En esta tabla detallamos las diferencias de temperatura a la salida del panel con aislamiento y sin aislamiento de cada uno de los seis días que tomamos las pruebas pertinentes con relación a nuestro tema de investigación.

GRÁFICA 4-32 Temperatura agua vs Numero días



En este gráfico de barras se detalla la diferencia de temperatura que existe entre la Temperatura a la salida del agua sin aislamiento de color azul con la Temperatura a la salida del agua con aislamiento de color rojo graficada con respecto al número de días de realización de las pruebas.

4.2.1 CONSIDERACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE SALIDA DEL AGUA SOBRE LA EFICIENCIA.

$$\eta_T = \frac{m_{tubos} C_p \Delta T}{t A_{ST} G_s} * 100$$

Para el cálculo de la eficiencia con y sin aislamiento térmico se lo realizó tomando en consideración que los valores de Masa de Agua en tubos, el Calor Especifico del Agua, el Tiempo, el Área y la Irradiación Solar son los mismos valores, únicamente cambiando el valor de temperatura a la salida del agua es decir la eficiencia del colector es directamente proporcional con el valor de ΔT .

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Hipótesis

Ho, No existe diferencia significativa en la temperatura de salida de agua con y sin aislamiento.

H1, Si existe diferencia significativa en la temperatura de salida de agua con y sin aislamiento.

La siguiente tabla tiene relación a la medición de temperaturas en un día simultáneo con la misma irradiación, temperatura de viento y velocidad de viento.

TABLA 4-2 Diferencia de temperaturas entre el panel sin y con aislamiento

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO		
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA		
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA		
Presion Entrada: 50 Psi		Presion Salida: 40 Psi
Condiciones Atmosfericas Cielo despejado con presencia de sol		
CALENTADOR SOLAR DE POLIPROPILENO		
Tiempo (horas)	Temperatura sin Aislamiento (°C)	Temperatura con Aislamiento (°C)
10:30	39,5	42,5
10:45	40,5	43,5
11:00	42,5	46
11:15	36	43
11:30	34	45
11:45	39,5	46
12:00	42,5	46,5
12:15	33	41
12:30	38	43,5
12:45	41	46,5
13:00	33	43
13:15	30	36
13:30	29,5	35,5
13:45	27	32
14:00	24,5	30,5
14:15	25,5	28
PROMEDIO	34,8	40,5
MINIMO	24,5	28
MAXIMO	42,5	46,5

Comprobación:

Considerando un día con irradiación promedio se verifico la significancia al **5%** de variación de datos de temperatura del agua a la salida del panel solar con la utilización del aislamiento térmico en la cubierta y la temperatura del agua sin el empleo del aislante térmico aplicando la prueba t, (en valor absoluto).

Logrando verificar que la **t calculada** es mayor que la **t tabulada** con la cual se rechaza la hipótesis nula al **5%** por tanto apreciamos la diferencia existente de la temperatura del agua a la salida del panel utilizando el aislante térmico en la cubierta, logrando comprobar nuestra hipótesis.

TABLA 4-3 Tabla de significancia al 5%

PRUEBA t PARA DOS MUESTRAS SUPONIENDO VARIANZAS IGUALES		
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	34,75	40,53125
Varianza	37,13333333	37,415625
Observaciones	16	16
Varianza agrupada	37,2744792	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	30	
Estadístico t	-2,67831067	CALCULADO
P(T<=t) una cola	0,00594411	
Valor crítico de t (una cola)	1,69726089	TABULADO
P(T<=t) dos colas	0,01188822	
Valor crítico de t (dos colas)	2,04227246	TABULADO

t calculado > t tabulado (2,67>2,04)

Se rechaza Ho al 5% de significancia.

Es decir sí existe una diferencia significativa entre las temperaturas de salida de agua con aislamiento y sin aislamiento a la salida del panel solar

Y considerando la significancia al **1%** con la variación de datos de temperatura del agua a la salida del panel solar con la utilización del aislamiento térmico en la cubierta y la temperatura del agua sin el empleo del aislante térmico aplicando la prueba t.

Logrando confirmar también que la **t calculada** es mayor que la **t tabulada** con la cual se rechaza la hipótesis nula al **1%** por tanto apreciamos la diferencia existente de la temperatura del agua a la salida del panel utilizando el aislante térmico en la cubierta, logrando comprobar nuestra hipótesis.

TABLA 4-4 Tabla de valores de significancia al 1%

PRUEBA t PARA DOS MUESTRAS SUPONIENDO VARIANZAS IGUALES		
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	34,75	41,3666667
Varianza	37,1333333	28,1238095
Observaciones	16	15
Varianza agrupada	32,783908	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	30	
Estadístico t	-3,21539009	CALCULADO
P(T<=t) una cola	0,00159521	
Valor crítico de t (una cola)	2,46202136	TABULADO
P(T<=t) dos colas	0,00319041	
Valor crítico de t (dos colas)	2,7563859	TABULADO

t calculado > t tabulado (3,21 > 2,75)

Se rechaza H_0 al 1%

Es decir sí existe una diferencia significativa entre las temperaturas de salida de agua con y sin aislamiento a la salida del panel solar.

Por tanto se rechaza la hipótesis nula tanto al 1% y 5% de significancia, entonces si existe un incremento de temperatura a la salida del agua al usar aislante térmico en la cubierta, en nivel de hasta un 99% de confiabilidad.

También considerando los datos de la tabla 4-1 y grafica 4-32 se observa que la temperatura de salida de agua con aislamiento es mayor que la temperatura de salida de agua sin aislamiento en la cubierta con diferencia entre 3,5 °C hasta 5,9 °C obteniendo un promedio de 4,7 °C por día de pruebas, con lo cual se puede verificar la hipótesis considerando una temperatura de entrada de agua 17,5 °C, se presenta incrementos de temperaturas entre el 21% y 26%, para lo cual utilizamos el empleo

de los equipos que posee los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil –
Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Las pruebas se realizaron en los meses de junio y julio del 2013 cuando existía cielo despejado y buena presencia de sol, correspondiente a los meses de más irradiación.
- Se han podido tener incrementos entre 4,1 °C y 5,8 °C con el empleo del aislante térmico plástico en la cubierta, con una irradiación promedio de 511,35 W/m², con la temperatura inicial promedio del agua de 17,5 °C y con una temperatura ambiental promedio de 24,5 °C.
- Se han podido obtener temperaturas de salida para el agua entre 25 °C y 49 °C con aislamiento y entre 22 °C y 46 °C sin aislamiento, a partir de una temperatura de entrada de agua de 17,5 °C.
- Con la utilización del aislante térmico en la cubierta se logró obtener un incremento del 26% en la temperatura de salida de agua del panel.
- Se rechaza la hipótesis nula tanto al 1% y 5% de significancia, entonces si existe un incremento de temperatura considerable a la salida del agua al usar aislante térmico en la cubierta.
- De los diversos tipos de polímeros se selecciona el plástico de invernadero (polietileno con aditivos), porque su costo es bajo, facilita su instalación, disponibilidad en el mercado y su peso no es significativo.
- La eficiencia del calentador solar es directamente proporcional al valor de ΔT es decir mientras más aumenta la temperatura de salida del agua aumentará nuestra eficiencia.

5.2 RECOMENDACIONES

- Las pruebas de calentamiento de agua se deben realizar en días despejados y con presencia de sol.
- Realizar la instalación del panel solar en un lugar despejado sin obstáculos que hagan sombra, permitiendo que el contacto con el sol sea completamente bueno de 10:30 am hasta 14:15
- Para tener una buena captación de la energía solar al momento de la ubicación debemos tomar en cuenta la trayectoria del sol durante el transcurso del día con la cual damos una orientación adecuada.
- Tapar nuestro panel solar cuando no vayamos a utilizar más de dos días evitando así daños en el panel solar.
- Al realizar la instalación demos hacerlo con cuidado procurando no romper ningún tubo del panel para que no exista fuga de temperatura interna ya que los tubos son muy delgados.
- Calibrar los equipos a utilizar con las normas INEN existentes para dicha función.

CAPITULO VI

6. PROPUESTA

Análisis de la ventaja energética al usar aislante térmico transparente en la cubierta de los paneles de polipropileno para calentamiento de agua.

6.1 DATOS INFORMATIVOS

Tabla 6-1 Datos Generales de la Propuesta

Ejecutor	Santiago Ramiro Peña Valencia
Descripción	Calentador Solar de Tubos de Polipropileno
Lugar de Construcción	Taller particular
Lugar de Ensayos	FICM
Beneficiarios	Estudiantes de la FICM
Tiempo de Ejecución	Marzo del 2013 hasta Febrero del 2014
Costo	\$ 1224,48

Fuente: Autor.

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

De la investigación realizada, se ha obtenido los siguientes resultados, con una irradiación promedio de $511,35 \text{ w/m}^2$ y con una temperatura inicial del agua de 17°C se logró alcanzar una temperatura final sin aislamiento térmico en la cubierta de 40°C y con la utilización del aislante térmico llegando a alcanzar la temperatura final de 46°C por ende obtuvimos un incremento de temperatura entre $4,1^\circ\text{C}$ a $5,8^\circ\text{C}$ con el empleo del aislante térmico en la cubierta.

6.3 JUSTIFICACIÓN

Es importante la evaluación de pérdidas de calor por convección así como la convección interna del fluido circulado por los tubos de calentamiento, con la finalidad de calcular el calor útil lo cual permitirá evaluar la eficiencia térmica correspondiente a la situación ambiental y el espectro solar específico de la ciudad de Ambato entre las 10:30 y 14:15 horas.

6.4 OBJETIVOS

- Evaluar el aprovechamiento de la energía solar con la utilización del aislante térmico en la cubierta.
- Evaluar las pérdidas de calor por convección con y sin aislante térmico en la cubierta.
- Calcular la eficiencia con el uso del aislante térmico.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

La factibilidad tiene que ver con la posibilidad de que la propuesta sea viable tanto en los aspectos técnicos como económicos.

6.5.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA

Mediante la realización de esta investigación podemos afirmar que al utilizar un aislante térmico en la cubierta en los paneles solares de polipropileno mejoramos la captación solar, aumentamos la temperatura final del agua y por ende mejoramos la eficiencia de nuestro panel solar, es decir la construcción de un panel solar con aislamiento térmico plástico en la cubierta sería viable para optimizar la utilización de paneles solares para el calentamiento de agua.

6.5.2 FACTIBILIDAD ECONÓMICA FINANCIERA

Todos los componentes necesarios para este estudio son: compra de materiales para las estructuras e instalación y la mano de obra.

Tabla 6-2 Costo de materiales para la estructura del panel solar

ESTRUCTURA DEL PANEL SOLAR DE POLIPROPILENO				
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNIDAD	COSTO TOTAL
1	Tubo Cuadrado 30 x 2 H6	2	20	40
2	Electrodo 6011	1	1,95	1,95
TOTAL				41,95

Tabla 6-3 Costo de materiales para la base del tanque de almacenamiento

ESTRUCTURA BASE DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO				
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNIDAD	COSTO TOTAL
1	Tubo Redondo 40 x 2 H6	2	19,9	39,8
2	Electrodos 6011	1	1,95	1,95
3	Platina 1"	2m		3
TOTAL				44,75

Tabla 6-4 Costo de materiales para la caja recolectora

CAJA COLECTORA				
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNIDAD	COSTO TOTAL
1	Plancha de Tol Galvanizada 1.5"	1	42,5	42,5
2	Remaches Pop 5/3	100		0,98
3	Triplex 4x6x09	1	23,65	23,65
4	Plancha Lana de Vidrio	4	3,96	15,84
TOTAL				82,97

Tabla 6-5 Costo de materiales para la estructura del panel solar

TANQUE RESERVORIO				
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNIDAD	COSTO TOTAL
1	Plancha de Tol Galvanizada 1.1''	1	32,4	32,4
2	Plancha de Tol Galvanizada 2''	1	82,85	82,85
3	Electrodos 6011	1	1,95	1,95
4	Silicón Abro 1200 Blanco	1	3,63	3,63
5	Tubo roscado ½ '' x 16''	2	3,95	7,9
6	Plancha de Lana de Vidrio	2	3,96	7,92
TOTAL				136,65

Tabla 6-6 Costo de materiales para las conexiones

MATERIALES PARA CONEXIÓN				
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNIDAD	COSTO TOTAL
1	Panel Solar de Polipropileno H30	1	400	400
2	Válvula Esférica ½’’ Conexión HH	1	4,31	4,31
3	Termopozo Bimetálico	1	25	25
4	Tubo Tricapa de ½’’ x 6m	2	5,47	10,94
5	Universal R de ½’’	3	0,75	2,25
6	Neplo ½’’ Negro	6	0,161	0,966
7	Neplo ½’’ TG	5	0,25	1,25
8	Neplo ¾’’ TG	1	0,26	0,26
9	Codo ½’’ x 90 Rojo	14	0,24	3,36
10	Adaptador BLC Liso H de 2’’	2	0,83	1,66
11	Bushin 2’’ - ¾’’ Roscado Negro	2	1,35	2,7
12	Bushin ¾’’ – ½’’ Rojo	4	0,18	0,72
13	Bushin HG ½’’ x ¼’’	3	0,38	1,14
14	Tee ½’’ Roja	7	0,44	3,08
15	Válvula de Retención Roscable ½’’	3	2,88	8,64
16	Válvula Italiana ½’’	1	2,87	2,87
17	Válvula de globo ½’’	4	2,387	9,548
18	Válvula Compuerta ½’’ MANG N	1	4,5	4,5
19	Unión Reductora de ¾’’ – ½’’	1	0,3	0,3
20	Cruz Roscada ¾’’ TG	1	0,65	0,65
21	Tapa ¾’’ Hembra AK	1	0,25	0,25
22	Tapón ¾’’ Macho Rojo	1	0,2	0,2
23	Tapón ½’’ Macho AK	1	0,18	0,18
24	Tapón M ½’’ Roscada Negra	2	0,162	0,324
25	Pega Americana 705 1/32 Galón	1	5,06	5,06

Continuación De la Tabla 6-6

26	Plástico 3 x 2 Invernadero	1	4,75	4,75
27	Teflón Amarillo Grande	1	1,34	1,34
28	Teflón Blanco	3	0,18	0,54
TOTAL				496,788

Tabla 6-7 Costo de materiales para las conexiones

MANO DE OBRA		
ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL
1	Taller Mecánico	250
TOTAL		250

Tabla 6-8 Costo final del calentador solar de tubos de polipropileno

CALENTADOR DE POLIPROPILENO		
ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL
1	ESTRUCTURA DEL CALENTADOR	41,95
2	ESTRUCTURA BASE TANQUE	44,75
3	CAJA COLECTORA	82,97
4	TANQUE RESERVORIO	136,65
5	MATERIALES DE CONEXIÓN	496,79
SUB TOTAL		803,11

Continuación de la Tabla 6-8

IVA 12%		96,37
TOTAL		899,48
6	MANO DE OBRA	250
7	TRANSPORTE	75
COSTO TOTAL		1224,48

6.6 FUNDAMENTACIÓN:

Los cálculos para el análisis térmico en tubos de polipropileno para el calentamiento de agua están basados en el marco teórico del Capítulo II desarrollado en esta tesis, en el cual contamos con todos los parámetros deseados y el funcionamiento de los equipos a utilizarse.

6.6.1 CÁLCULOS TÉRMICOS

6.6.1.1 CÁLCULO DE PERDIDAS DE CALOR EN LOS TUBOS SIN AISLAMIENTO.

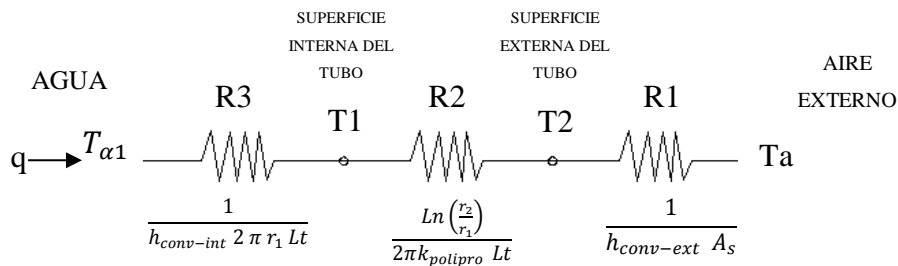


FIGURA 6-1 Esquema de la distribución de las resistencias térmicas

Fuente: Autor.

Tabla 6-9 Datos para pérdidas de calor en el tubo de polipropileno sin aislamiento

Temperatura final de agua	(°C)	40
Temperatura ambiente promedio	(°C)	24,3
Temperatura inicial del agua	(°C)	17
Velocidad de viento promedio	(m/s)	3,6
Diámetro del tubo alimentado	(m)	0,07
Diámetro del tubo calentador	(m)	7E-03
Radio interno - r1	(m)	3,500E-03
Radio externo - r2	(m)	4,00E-03
Conductividad térmica del plástico de invernadero (W/m °C)		0,15
Conductividad térmica del polipropileno	(W/m °C)	0,22
Longitud del tubo	(m)	2,18
Densidad del agua	(Kg/m ³)	996,2
Potencia de la bomba	(W)	745,7
Incremento de Presión (ΔP)	(KPa)	275,8

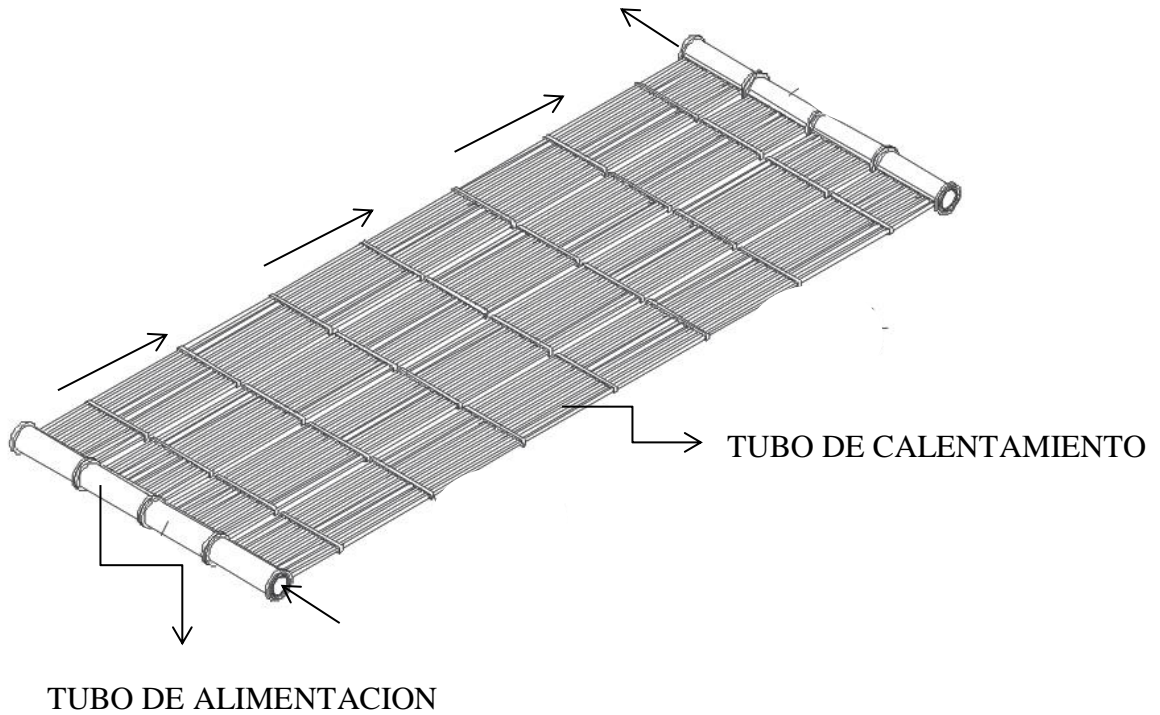


FIGURA 6-2 Ubicación de tuberías en el panel de polipropileno

Fuente: Autor

Cálculo de las áreas del tubo de calentamiento de polipropileno con las ecuaciones (2.7-2.8).

$$A_c = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_c = 5,03 * 10^{-3} m^2$$

$$A_s = \pi DL$$

$$A_s = 0,05 m^2$$

Cálculo del gasto volumétrico del agua con la ecuación (2.9).

$$V = \frac{\dot{W}_{BOMBA}}{\Delta P}$$

$$V = 2,7 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

Cálculo del flujo másico total en el tubo de alimentación de 0,07 m de diámetro lo realizamos con la ecuación (2.10)

$$\dot{m}_T = \rho * V$$

$$\dot{m}_T = 2.68 \text{ Kg/s}$$

Para calcular de flujo másico en el tubo de calentamiento de diámetro 7E-03 m utilizamos la ecuación (2.10 a).

$$\dot{m} = \frac{\dot{m}_{TOTAL}}{N_{tubos}}$$

$$\dot{m} = 0,034 \text{ Kg/s}$$

Cálculo de la velocidad promedio en los tubos de calentamiento lo realizamos con la ecuación (2.11).

$$V_{PROM} = \frac{\dot{m}_T}{\rho A_c}$$

$$V_{PROM} = 0,54 \text{ m/s}$$

Cálculo de Reynolds con la temperatura promedio con las ecuaciones (2.12-2.13).

$$T_{f-tubo} = \frac{(T_i + T_e)}{2}$$

$$T_{f-tubo} = 29 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tabla 6-10 Datos a T_{f-tubo} del agua

Densidad (ρ)	996,2 Kg/m ³
Conductividad térmica (k)	0,6134 W/m°C
Viscosidad dinámica (μ)	8,17*10 ⁻⁴ Kg/m s
Numero de Prandtl (Pr)	5,564
Calor específico (Cp)	4178,4 J/Kg°C

$$Re = \frac{V_{PROM} D \rho}{\mu}$$

$$Re = 5267,54$$

Cálculo del número de Nusselt con la ecuación (2.14).

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$$

$$Nu = 43,367$$

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección interna del tubo con la ecuación (2.15).

$$h_{conv-int} = \frac{k}{D} Nu$$

$$h_{conv-int} = 3325,24 W/m^2°C$$

Cálculo de la resistencia térmica por convección interna en el tubo (2.16).

$$R_3 = \frac{1}{h_{conv-int} 2 \pi r_1 Lt}$$

$$R_3 = 6,27 * 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Cálculo de la resistencia de conducción de tubo de polipropileno mediante la ecuación con la ecuación (2.5)

$$R_2 = \frac{\text{Ln} \left(\frac{r_2}{r_1} \right)}{2\pi k_{\text{polipro}} Lt}$$

$$R_2 = 0,044 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Cálculo del coeficiente de calor por convección externa con la ecuación (2.6).

$$h_{\text{conv-ext}} = 5,7 + 3,8V_v$$

$$h_{\text{conv-ext}} = 19,285 \text{ W/ m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$$

Cálculo de la resistencia térmica por convección en el exterior con la ecuación (2.17).

$$R_1 = \frac{1}{h_{\text{conv-ext}} A_s}$$

$$R_1 = 1,037 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Cálculo de la resistencia térmica total o equivalente con la ecuación (2.18).

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_T = 1,1 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Cálculo de las pérdidas de calor desde el interior del tubo hacia el ambiente con la ecuación (2.19).

$$q = \frac{T_{a1} - T_a}{R_T}$$

$$q = 13,96 \text{ W}$$

Cálculos de las temperaturas del panel solar con la ecuación (2.20).

$$T_1 = T_{\alpha 1} - (q * R3)$$

$$T_1 = 39,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = T_{\alpha 1} - (q * (R3 + R2))$$

$$T_2 = 38,78 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6.6.1.2 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CALOR EN TUBOS CON AISLAMIENTO.

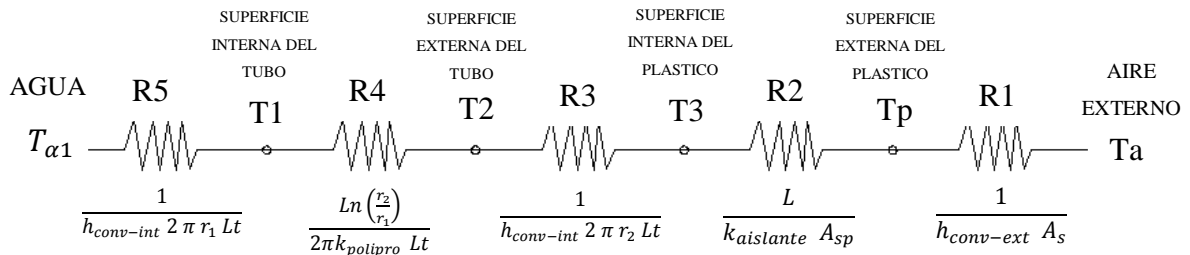


FIGURA 6-3 Esquema de la distribución de las resistencias térmicas

Fuente: Autor.

Tabla 6-11 Datos para pérdidas de calor en el tubo de polipropileno con aislamiento

Temperatura final de agua	(°C)	46
Temperatura ambiente promedio	(°C)	24,3
Temperatura inicial del agua	(°C)	17
Velocidad de viento promedio	(m/s)	3,6
Diámetro del tubo alimentado	(m)	0,07
Diámetro del tubo calentador	(m)	7E-03

Continuación de la Tabla 6-11

Radio interno - r1	(m)	3,500E-03
Radio externo - r2	(m)	4,00E-03
Conductividad térmica del plástico de invernadero (W/m °C)		0,15
Espesor del aislante térmico	(m)	1*10 ⁻³
Conductividad térmica del polipropileno (W/m °C)		0,22
Longitud del tubo	(m)	2,18
Potencia de la bomba	(W)	745,7W
Incremento de Presión (ΔP)	(KPa)	275,8

Cálculo del área superficial del plástico de aislamiento se lo realizó con la ecuación con la ecuación (2.21)

$$A_{sp} = l * A_n$$

$$A_{sp} = 2,8 \text{ m}^2$$

Cálculo del coeficiente de calor por convección externa con la ecuación (2.6).

$$h_{conv-ext} = 5,7 + 3,8V_v$$

$$h_{conv-ext} = 19,285 \text{ W/ m}^2\text{°C}$$

Resistencia térmica para convección es calculada por la ecuación con la ecuación (2.17)

$$R_1 = \frac{1}{h_{conv-ext} A_{sp}}$$

$$R_1 = 0,0185 \text{ °C/W}$$

Cálculo de la resistencia por conducción en el plástico aislante de la cubierta con la ecuación (2.22).

$$R_2 = \frac{L}{k_{aislante} A_{sp}}$$

Dónde:

L = Es la distancia que existe entre el aislante térmico de la cubierta con el panel de polipropileno es de $5E-3$ [m]

$$R_2 = 2,38 * 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Cálculo de la resistencia por convección en el interior entre el plástico aislante y el tubo de polipropileno (2.12).

Asumo las temperaturas para el cálculo

$$T_{sp} = 45^\circ\text{C}$$

$$T_p = 25^\circ\text{C}$$

$$T_{f-int} = \frac{(T_{sp} + T_p)}{2}$$

$$T_{f-int} = 35^\circ\text{C}$$

Tabla 6-12 Datos a T_{f-int} del aire

.Conductividad térmica (k)	0,02625 W/m ^{°C}
Viscosidad cinemática (v)	$1,65 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
Numero de Prandtl (Pr)	0,728
Gravedad	9,81m/s ²

Continuación de la Tabla 6-12

$\beta (1/(T_{f-int} + 273))$	1/308°K
-------------------------------	---------

Cálculo del número de Rayleigh con la ecuación (2.23).

$$R_{AD} = \frac{g * \beta (T_{sp} - T_p) D^3}{\nu^2} Pr$$

$$R_{AD} = 870.93$$

Cálculo del número de Nusselt con la ecuación (2.24).

$$Nu = \left[0,6 + \frac{0.387 R_{AD}^{1/6}}{[1 + (0,559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right]^2$$

$$Nu = 2,54$$

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural interna con la ecuación (2.15).

$$h_{conv-int} = \frac{k}{D} Nu$$

$$h_{conv-int} = 8,34 W/m^2\text{°C}$$

Cálculo de la resistencia en el interior entre el plástico aislante y el tubo de polipropileno con la ecuación (2.16).

$$R_3 = \frac{1}{h_{conv-int} 2 \pi r_2 Lt}$$

$$R_3 = 2,18 \text{°C/W}$$

Cálculo de la resistencia de conducción de tubo de polipropileno mediante la ecuación con la ecuación (2.11)

$$R_4 = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_{polipro} Lt}$$

$$R_4 = 0,044 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Cálculo de la resistencia térmica por convección interna en el tubo con la ecuación (2.16).

$$R_5 = \frac{1}{h_{\alpha 1} 2 \pi r_1 Lt}$$

Cálculo de las áreas del tubo de calentamiento de polipropileno con las ecuaciones (2.7-2.8).

$$A_c = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_c = 5,03 * 10^{-3} m^2$$

$$A_s = \pi DL$$

$$A_s = 0,05 m^2$$

Cálculo del gasto volumétrico del agua con la ecuación (2.9).

$$V = \frac{\dot{W}_{BOMBA}}{\Delta P}$$

$$V = 2,7 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

Cálculo del flujo másico total en el tubo de alimentación de 0,07 m de diámetro lo realizamos con la ecuación (2.10)

$$\dot{m}_T = \rho * V$$

$$\dot{m}_T = 2.68 \text{ Kg/s}$$

Para calcular de flujo másico en el tubo de calentamiento de diámetro 7E-03 m utilizamos la ecuación (2.10 a).

$$\dot{m} = \frac{\dot{m}_{TOTAL}}{N_{tubos}}$$

$$\dot{m} = 0,034 \text{ Kg/s}$$

Cálculo de la velocidad promedio en los tubos de calentamiento lo realizamos con la ecuación (2.11).

$$V_{PROM} = \frac{\dot{m}_T}{\rho A_c}$$

$$V_{PROM} = 0,54 \text{ m/s}$$

Cálculo de Reynolds con la temperatura promedio con la ecuación (2.12-2.13).

$$T_{f-int} = \frac{(T_i + T_e)}{2}$$

$$T_{f-int} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tabla 6-13 Datos a T_{f-int} del agua

Densidad (ρ)	995,2 Kg/m ³
Conductividad térmica (k)	0,6182 W/m ^{°C}
Viscosidad dinámica (μ)	7,67*10 ⁻⁴ Kg/m s
Numero de Prandtl (Pr)	5,564

Continuación de la Tabla 6-13

Calor específico (Cp)	4178,4 J/Kg°K
-----------------------	---------------

$$Re = \frac{V_{PROM} D \rho}{\mu}$$

$$Re = 5543,02$$

Cálculo del número de Nusselt con la ecuación (2.14).

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$$

$$Nu = 45,17$$

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección interna del tubo con la ecuación (2.15).

$$h_{\alpha 1} = \frac{k}{D} Nu$$

$$h_{\alpha 1} = 3490,74 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

Cálculo de la resistencia térmica por convección interna en el tubo con la ecuación (2.16).

$$R_5 = \frac{1}{h_{\alpha 1} 2 \pi r_1 L t}$$

$$R_5 = 5,97 * 10^{-3} \text{ °C/W}$$

Cálculo de la resistencia térmica total o equivalente con la ecuación (2.18).

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

$$R_T = 2,25 \text{ °C/W}$$

Cálculo de las pérdidas de calor desde el interior del tubo hacia el ambiente con la ecuación (2.19).

$$q = \frac{T_{\alpha 1} - T_a}{R_T}$$

$$q = 9,48 \text{ W}$$

Cálculos de las temperaturas del panel solar con la ecuación (2.20).

$$T_1 = T_{\alpha 1} - (q * R5)$$

$$T_1 = 45,9 \text{ °C}$$

$$T_{sp} = T_{\alpha 1} - (q * (R5 + R4))$$

$$T_{sp} = 45,17 \text{ °C}$$

$$T_3 = T_{\alpha 1} - (q * (R5 + R4 + R3))$$

$$T_3 = 24,5 \text{ °C}$$

$$T_p = T_{\alpha 1} - (q * (R5 + R4 + R3 + R2))$$

$$T_p = 24,48 \text{ °C}$$

6.6.1.3 DETERMINACION DEL CALOR ÚTIL DEL COLECTOR SOLAR.

Tabla 6-14 Datos para el cálculo del calor útil del colector de polipropileno

Radiación solar promedio	(W/m ²)	511,35
Temperatura inicial del agua	(°C)	17
Temperatura final del agua con aislamiento	(°C)	46
Temperatura final del agua sin aislamiento	(°C)	40

Continuación de la Tabla 6-14

Tiempo de calentamiento	(s)	1800
Flujo másico total del agua	(Kg/s)	2,68
Calor específico	(J/Kg°K)	4180

Para el cálculo del calor útil sin aislamiento se empleará la ecuación (2.28)

$$Q_{UTIL} = \frac{\dot{m}_T C_p \Delta T}{t}$$

$$Q_{UTIL} = 143,14 \text{ W}$$

Para el cálculo del calor útil con aislamiento se empleara la ecuación (2.28)

$$Q_{UTIL} = \frac{\dot{m}_T C_p \Delta T}{t}$$

$$Q_{UTIL} = 180,48 \text{ W}$$

Dónde:

C_p = Calor específico del fluido de transferencia de calor, en [J/Kg °K]

ΔT = Variación de temperaturas inicial y final del tubo, en [°C]

t = Tiempo, en [s]

\dot{m}_T = flujo másico del agua, en [Kg/s]

6.6.1.4 CALCULO DEL TIEMPO NECESARIO PARA ENFRIAMIENTO DEL AGUA HASTA 17°C EN EL COLECTOR SIN Y CON AISLAMIENTO.

Tabla 6-15 Valores para el enfriamiento del agua

Radiación solar promedio	(W/m ²)	511,35
Temperatura inicial del agua	(°C)	17
Temperatura final del agua con aislamiento	(°C)	46
Temperatura final del agua sin aislamiento	(°C)	40
Perdidas de calor sin aislamiento	(W)	13,96
Perdidas de calor con aislamiento	(W)	9,48
Masa de agua en tubos de calentamiento	(Kg)	6,54
Calor específico	(J/Kg°K)	4180

$$t = \frac{m C_p \Delta T}{q}$$

m_{tubos} = La masa de agua en los tubos de calentamiento, en [Kg]

C_p = Calor específico del fluido de transferencia de calor, en [J/Kg °K]

ΔT = Variación de temperaturas inicial y final del tubo, en [°C]

q = Perdidas de calor desde los tubos hacia el exterior [W]

TIEMPO DE ENFRIAMIENTO SIN AISLAMIENTO.

$$t = \frac{m C_p \Delta T}{q}$$

$$t = 45039,8 \text{ s}$$

$$t = 12 \text{ horas}$$

TIEMPO DE ENFRIAMIENTO CON AISLAMIENTO.

$$t = \frac{m C_p \Delta T}{q}$$

$$t = 83626,5 \text{ s}$$

$$t = 23 \text{ horas}$$

Estos tiempos calculados se suponen agua estancada sin uso y en ausencia de irradiación considerable.

6.6.1.5 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL CALENTADOR DE TUBOS DE POLIPROPILENO CON Y SIN AISLAMIENTO.

Para realizar el cálculo de la eficiencia de nuestro calentador solar se ha utilizado los datos de pruebas de dos meses realizadas por el Ingeniero Byron Toalombo con el tema de tesis ESTUDIO DEL ESPECTRO DE IRRADIACIÓN SOLAR PARA DETERMINAR EL POTENCIAL DE ENERGÍA APROVECHABLE EN LA CIUDAD DE AMBATO con el cual se concluye que el parámetro físico que determina el potencial de energía solar disponible en la ciudad de Ambato excede los 400 [W/m²] que es el 31% de irradiación que llega del 100% que emana el sol perdiéndose el resto en reflejo a la atmosfera, a las nubes, a los océanos, es decir el valor de 511,35 W/m² de irradiación promedio que alcanzo en mi tema de investigación está en el rango necesario para los cálculos de la eficiencia.

Tabla 6-16 Datos para el cálculo de la eficiencia del colector de polipropileno

Radiación solar promedio	(W/m ²)	511,35
Temperatura inicial del agua	(°C)	17

Continuación de la Tabla 6-16

Temperatura final del agua con aislamiento	(°C)	46
Temperatura final del agua sin aislamiento	(°C)	40
Tiempo de calentamiento	(s)	1800
Área superficial de transferencia de calor del tubo de calentamiento	(m ²)	0,05
Numero de tubos		78
Diámetro del tubo de calentamiento	(m)	7E-03
Longitud del tubo de calentamiento	(m)	2,18
Densidad el agua	(Kg/m ³)	1000
Calor especifico	(J/Kg°K)	4180

Cálculo del área de la superficie total de transferencia de calor se lo realizar con la ecuación (2.25)

$$A_{ST} = \frac{A_S * N_{TUBOS}}{2}$$

$$A_{ST} = 1.95 \text{ m}^2$$

A_{ST} = Área de la superficie total de transferencia de calor, en [m²]

A_S = Área de la superficie de transferencia de calor del tubo, en [m²]

N_{TUBOS} = Numero de tubos que constituye el panel solar

Para calcular la masa de agua en los tubos de calentamiento lo realizaremos con la ecuación (2.26)

$$m_{tubos} = \frac{\pi}{4} D^2 L_t \rho N_{TUBOS}$$

$$m_{tubos} = 6,54 \text{ Kg}$$

m_{tubos} = La masa de agua en los tubos de calentamiento, en [Kg]

D = Diámetro del tubo de calentamiento, en [m²]

L_t = Longitud del tubo de calentamiento, en [m]

ρ = Densidad del agua, en [Kg/m³]

N_{TUBOS} = Numero de tubos que constituye el panel solar

CÁLCULO DE LA EFICIENCIA TÉRMICA CON AISLAMIENTO

Para calcular la eficiencia térmica del panel solar de polipropileno se lo realizara con la ecuación (2.27)

$$\eta_T = \frac{m_{tubos} Cp \Delta T}{t A_{ST} G_s} * 100$$

$$\eta_T = 44\%$$

CÁLCULO DE LA EFICIENCIA TÉRMICA SIN AISLAMIENTO

Para calcular la eficiencia térmica del panel solar de polipropileno se lo realizara con la ecuación (2.27)

$$\eta_T = \frac{m_{tubos} Cp \Delta T}{t A_{ST} G_s} * 100$$

$$\eta_T = 35\%$$

Dónde:

m_{tubos} = La masa de agua en los tubos de calentamiento, en [Kg]

Cp= Calor especifico del fluido de transferencia de calor, en [J]

ΔT = Variación de temperaturas inicial y final del tubo, en [°C]

t= Tiempo para calentamiento de agua, en [s]

A_{ST} = Área de la superficie total de transferencia de calor, en [m²]

G_s= Irradiación Solar, en [W/m²]

6.6.1.6 COMPARACIÓN ENTRE LOS TUBOS CON Y SIN AISLAMIENTO.

Tabla 6-17 Datos para cálculo de comparaciones

Pérdida de calor con aislamiento (W)	9,48
Pérdida de calor sin aislamiento (W)	13,96
Temperatura final con aislamiento (°C)	46
Temperatura final sin aislamiento (°C)	40
Temperatura de la superficie del tubo con aislamiento (°C)	45,17
Temperatura de la superficie del tubo sin aislamiento (°C)	38,78
Calor útil sin aislamiento (W)	143,14
Calor útil con aislamiento (W)	180,48
Eficiencia térmica sin aislamiento	35%
Eficiencia térmica con aislamiento	44%

$$\Delta q_T = q_{SIN AISLAMIENTO} - q_{CON AISLAMIENTO}$$

$$\Delta q_T = 4,48 W$$

$$\Delta T_{SALIDA} = T_{F-CON AISLAMIENTO} - T_{F-SIN AISLAMIENTO}$$

$$\Delta T_{SALIDA} = 6^{\circ}C$$

$$\Delta T_{SUPERFICIAL-TUBO} = T_{S-CON AISLAMIENTO} - T_{S-SIN AISLAMIENTO}$$

$$\Delta T_{SUPERFICIAL-TUBO} = 6,39^{\circ}C$$

$$\Delta Q_{UTIL} = Q_{UTIL-CON AISLAMIENTO} - Q_{UTIL-SIN AISLAMIENTO}$$

$$\Delta Q_{UTIL} = 37,34 W$$

$$\Delta \eta = \eta_{CON AISLAMIENTO} - \eta_{SIN AISLAMIENTO}$$

$$\Delta \eta = 9 \%$$

Con los datos obtenidos podemos analizar que con una perdidas de calor mínimo de 4,48 W alcanzamos un calor útil en nuestro panel solar con aislamiento de 37,34 W por ende hemos aumentado una eficiencia térmica en 9% con el aumento de la temperatura a la salida del agua de 6°C y con un aumento en la temperatura en la parte de la superficie del tubo de polipropileno de 6,39°C logrando llegar a nuestro propósito de aumentar tanto la temperatura como el calor útil necesario para el colector como también la eficiencia de nuestro panel en un intervalo de tiempo.

6.7 METODOLOGÍA

Las pruebas se realizaron en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.



FIGURA 6-4 Calentador solar de tubos de polipropileno

Fuente: Autor



FIGURA 6-5 Salida del agua del panel a la temperatura deseada al final del ensayo.

Fuente: Autor.

Las especificaciones técnicas del colector solar son las siguientes:

Tabla 6-18 Especificaciones Técnicas del Colector Solar y sus partes

DETALLE	COLECTOR SOLAR DE POLIPROPILENO
Peso Total aproximado	90 Kg
Dimensiones	Largo: 3m, Ancho: 1.4m, Altura: 1.5
Fluido	Agua
Tipo de circulación	Circulación Forzada
Alimentación	Red de Agua Potable
Potencia de la bomba	745,7 W

DETALLE	PANEL
Peso Total	20 Kg
Dimensiones	Largo: 2.20 m, Ancho: 1.3 m, Altura: 0.7 m
Fluido	Agua
Alimentación	Red de agua potable
Inclinación	18°
Temperatura máxima registrada	60 °C
Cubierta	Plástico Invernadero

DETALLE	TANQUE DE ALMACENAMIENTO
Peso Total	44,2 Kg
Dimensiones	longitud: 1 m, Diámetro: 0.46m
Fluido	Agua
Tipo de circulación	Circulación Forzada
Alimentación	Red de agua potable
Volumen del tanque exterior	167.3 lt
Volumen máximo del tanque	118 lt o 31 gal
Aislante	Lana de vidrio
Material	Tol Galvanizado
Otras	Herméticamente sellado

El presente colector solar se destina para los laboratorios de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, por eso los responsable del mismo serán las personas encargadas de dichas instalaciones.

6.8 ADMINISTRACIÓN

6.8.1 PLANIFICACIÓN Y MANTENIMIENTO

6.8.1.1 INSTALACIÓN

Para el buen funcionamiento del colector se requiere hacer una correcta instalación de las partes y accesorios, evitan que existan fugas en cualquier parte del sistema para que no fluya líquido y para evitar pérdidas de calor que originarían que exista descenso de temperatura como pérdidas de calor.

Para una fácil transportación el sistema es desmontable en sus partes principales: tanque de almacenamiento, estructura de soporte del panel y tanque, el panel y conexiones de tuberías (el cual está constituido por universales para separar y armar las conexiones).

Se realizaron ensayos de exposición a la radiación solar en ocho días diferentes y no se observó que exista daño ni degradación de sus componentes.

Para la toma de medición de las temperaturas tanto de entrada como salida se utilizaron porta termómetros de mercurio.

6.8.1.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

- Mensualmente se recomienda limpiar la cubierta para evitar la acumulación de polvo que impediría la libre incidencia de los rayos solares. El tanque debe ser vaciado periódicamente.
- Es muy importante en los periodos prolongados de no utilización del panel, vaciarla y cubrir el colector.

6.8.1.3 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

En caso de que exista fugas se puede reemplazar los accesorios y tuberías, si existen danos en los mismos utilizando teflón y pasta selladora que impida las fugas de líquido.

En general el sistema tiene una vida útil prolongada, debido a que los medios deteriorantes son el agua y el ambiente.

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

El propósito de la realización de ensayos está centrado en verificar su correcto funcionamiento, lo cual es tangible por el calentamiento que experimenta el agua.

Las pruebas se deben realizar en días completamente despejados y con los valores de irradiación más elevados efectuando varias pruebas para comprobar de mejor manera la hipótesis.

Es necesario observar que no existan fugas para que al realizar el ensayo no tengamos pérdidas de calor y las mediciones no serían reales.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

BIBLIOGRAFÍA:

- INCROPERA, F. – DEWITT, P. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ª Edición, Edit. Prentice Hall Hispanoamericana, México.
- YUNUS, C. (2004). Transferencia de Calor. 2ª Edición, Edit. Mc. Graw-Hill, México D.F.
- LEMVIGH-MÜLLER, R. (2003). Energía Solar Térmica. 2ª Edición, Edit. Neografis, S.L. Impresores, España.
- MANRIQUE J. (1984). Energía Solar - Fundamentos y Aplicaciones Fototérmicas. México.
- YUNUS, C. – CIMBALA, J. (2006). Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones. Edit. Mc. Graw- Hill, México D.F.
- INEN. (1981). Código de Dibujo Técnico – Mecánico, Quito.
- HERRERA, L. – MEDINA, A. - NARANJO, G. (2008). Tutoría de la Investigación Científica, Ambato.
- ANSI /ASHRAE 93, (1986- RA91). Methods of Testing to Determinate the Thermal Performance of Solar Collectors. Atlanta-Georgia-USA.
- ESPI ENRIQUE,(Julio 2012). Materiales de cubierta para invernadero.

PÁGINAS WEB

- Páez I. (s.f) Heliocol, de <file:///G:/panel/panel-solar-heliocol-p-920.html>
- Quintana E. [file:/// Universidad De Panama EL 21 DE Junio del 2013, de G:/panel/6-colectores-de-placa-plana-sin.html](file:///G:/panel/6-colectores-de-placa-plana-sin.html)

ANEXOS

Anexos 1

Propiedades del agua

Propiedades en los puntos de ebullición y de congelación

Sustancia	Datos para la ebullición a 1 atm		Datos para la congelación		Propiedades del líquido		
	Punto normal de ebullición, °C	Calor latente de vaporización, h_{fg} , kJ/kg	Punto de congelación, °C	Calor latente de fusión, h_{ff} , kJ/kg	Temp., °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , kJ/kg · K
Amoniaco	-33.3	1357	-77.7	322.4	-33.3	682	4.43
					-20	665	4.52
					0	639	4.60
					25	602	4.80
Argón	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6	1394	1.14
Benceno	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
Salmuera (20% de cloruro de sodio por masa)	103.9	—	-17.4	—	20	1150	3.11
<i>n</i> -Butano	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5	601	2.31
Bióxido de carbono	-78.4*	230.5 (a 0°C)	-56.6	—	0	298	0.59
Etanol	78.2	838.3	-114.2	109	25	783	2.46
Etilico, alcohol	78.6	855	-156	108	20	789	2.84
Etilenglicol	198.1	800.1	-10.8	181.1	20	1109	2.84
Glicerina	179.9	974	18.9	200.6	20	1261	2.32
Helio	-268.9	22.8	—	—	-268.9	146.2	22.8
Hidrógeno	-252.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8	70.7	10.0
Isobutano	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7	593.8	2.28
Queroseno	204-293	251	-24.9	—	20	820	2.00
Mercurio	356.7	294.7	-38.9	11.4	25	13560	0.139
Metano	-161.5	510.4	-182.2	58.4	-161.5	423	3.49
					-100	301	5.79
Metanol	64.5	1100	-97.7	99.2	25	787	2.55
Nitrógeno	-195.8	198.6	-210	25.3	-195.8	809	2.06
					-160	596	2.97
					20	703	2.10
Octano	124.8	306.3	-57.5	180.7	20	703	2.10
Aceite (ligero)	—	—	—	—	25	910	1.80
Oxígeno	-183	212.7	-218.8	13.7	-183	1141	1.71
Petróleo	—	230-384	—	—	20	640	2.0
					-42.1	581	2.25
Propano	-42.1	427.8	-187.7	80.0	-42.1	529	2.53
					0	529	2.53
					50	449	3.13
					-50	1443	1.23
					-26.1	1374	1.27
Refrigerante-134a	-26.1	216.8	-96.6	—	0	1295	1.34
					25	1207	1.43
					0	1000	4.22
					25	997	4.18
					50	988	4.18
Agua	100	2257	0.0	333.7	75	975	4.19
					100	958	4.22

Anexos 2

Propiedades de agua saturada.

Propiedades del agua saturada													
Temp., T °C	Presión de saturación, P_{sat} kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpía de vaporización, h_{fg} kJ/kg	Calor específico, c_p J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2501	4217	1854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2490	4205	1857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2478	4194	1862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2466	4185	1863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2454	4182	1867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2442	4180	1870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2431	4178	1875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2419	4178	1880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2407	4179	1885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2395	4180	1892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2383	4181	1900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2371	4183	1908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2359	4185	1916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2346	4187	1926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2334	4190	1936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2321	4193	1948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2309	4197	1962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2296	4201	1977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2283	4206	1993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2270	4212	2010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2257	4217	2029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2230	4229	2071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2203	4244	2120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2174	4263	2177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2145	4286	2244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2114	4311	2314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2083	4340	2420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2050	4370	2490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1002.1	887.3	5.153	2015	4410	2590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1254.4	876.4	6.388	1979	4460	2710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1553.8	864.3	7.852	1941	4500	2840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2318	840.3	11.60	1859	4610	3110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3344	813.7	16.73	1767	4760	3520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4688	783.7	23.69	1663	4970	4070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6412	750.8	33.15	1544	5280	4835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8581	713.8	46.15	1405	5750	5980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11274	667.1	64.57	1239	6540	7900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	—
340	14586	610.5	92.62	1028	8240	11870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	—
360	18651	528.3	144.0	720	14690	25800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	—
374.14	22090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵	—	—	—

— = no está definido de sus definiciones. $\nu = \mu/\rho$ $\nu_\alpha = k/\rho c_p = \nu/Pr$. Las temperaturas de 0.0

Anexos 3

Propiedades del aire a 1 atmosfera de presión.

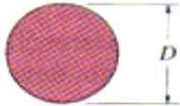

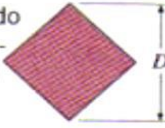
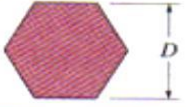
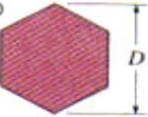
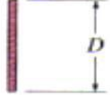
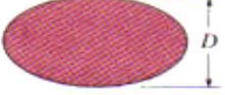
Propiedades del aire a la presión de 1 atm							
Temp., T, °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , J/kg · K	Conductividad térmica, k, W/m · K	Difusividad térmica, α , m ² /s ²	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-5}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Anexos 4

Propiedades de número de Nusselt.

TABLA 7-1

Correlaciones empíricas para el número de Nusselt promedio, para convección forzada sobre cilindros circulares y no circulares en flujo cruzado (tomado de Zukauskas, Ref. 14, y Jakob, Ref. 6)

Sección transversal del cilindro	Fluido	Rango de Re	Número de Nusselt
 <p>Círculo</p>	Gas o líquido	0.4-4 4-40 40-4 000 4 000-40 000 40 000-400 000	$Nu = 0.989Re^{0.330} Pr^{1/3}$ $Nu = 0.911Re^{0.385} Pr^{1/3}$ $Nu = 0.683Re^{0.466} Pr^{1/3}$ $Nu = 0.193Re^{0.618} Pr^{1/3}$ $Nu = 0.027Re^{0.805} Pr^{1/3}$
 <p>Cuadrado</p>	Gas	5 000-100 000	$Nu = 0.102Re^{0.675} Pr^{1/3}$
 <p>Cuadrado (inclinado 45°)</p>	Gas	5 000-100 000	$Nu = 0.246Re^{0.588} Pr^{1/3}$
 <p>Hexágono</p>	Gas	5 000-100 000	$Nu = 0.153Re^{0.638} Pr^{1/3}$
 <p>Hexágono (inclinado 45°)</p>	Gas	5 000-19 500 19 500-100 000	$Nu = 0.160Re^{0.638} Pr^{1/3}$ $Nu = 0.0385Re^{0.782} Pr^{1/3}$
 <p>Placa vertical</p>	Gas	4 000-15 000	$Nu = 0.228Re^{0.731} Pr^{1/3}$
 <p>Elipse</p>	Gas	2 500-15 000	$Nu = 0.248Re^{0.612} Pr^{1/3}$

Anexos 5

Especificaciones de Heliocol Empresa importadora de paneles solares de polipropileno

BTUs PER DAY				
Certifying Organization	HC-50	HC-40	HC-30	Performance Equations
Int'l Standard ORTECH	47,400	39,400	28,440	$.872 - 3.729 (T_i - T_A) / I$ $K_p X = 1.00 - .0316(S) - .0104(S)^2$
National Standard SRCC	47,400	39,400	28,440	$.872 - 3.729 (T_i - T_A) / I$ $K_p X = 1.00 - .0316(S) - .0104(S)^2$
Florida Standard	956 BTU's/ft ²	956 BTU's/ft ²	956 BTU's/ft ²	$.828 - 3.26 (T_i - T_A) / I$ $K_p X = 1.00 - .11(S)$

Performance Note: Solar scientists agree that there are many variables to consider when properly sizing a system. Wind condition, micro climates, flow rates, orientation and shading of the pool and/or collectors all affect the performance of your system. A BTU rating is just one of the many factors to consider.

Collector Model	HC-50	HC-40	HC-30	HC-12.5	HC-10
Size, Nominal	4' x 12.5'	4' x 10.5'	4' x 8'	1' x 12.5'	1' x 10.5'
Width	47" (120 cm)	47" (120 cm)	47" (120 cm)	11.75"	11.75"
Length	152.1" (380 cm)	127" (323 cm)	91" (231 cm)	151.5"	127"
Area (sq. ft)	50.0 (4.65 m ²)	41.6 (3.88 m ²)	30.0 (2.77 m ²)	12.2	10.2
Manifold Diameter	2" (5.08 cm)	2" (5.08 cm)	2" (5.08 cm)	2"	2"
Weight (dry)	22 lbs (10 kg)	19 lbs (8.5 kg)	15 lbs (6.8 kg)	5.5 lbs	4.75 lbs
Volume Capacity	3.7 gal (14 L)	3.1 gal (12 L)	2.4 gal (9 L)	.93 gal	.78 gal
Working Pressure	90 psi	90 psi	90 psi	90 psi	90 psi
Burst Pressure	270 psi	270 psi	270 psi	270 psi	270 psi
Recommended Flow	5 gpm	4 gpm	3 gpm	1.25 gpm	1 gpm

Anexos 6

Propiedades del polipropileno

PROPIEDAD	UNIDAD	NORMA	POLIPROPILENO (PP)
Alargamiento a la rotura	%	DIN 53455	650
Conductividad térmica	W/Km	DIN 52612	0,22
Coefficiente de dilatación térmica de 20°C a 50°C	m/m K		150·10-6
Coefficiente de Fricción			0,4
Densidad	g/cm ²	DIN 53479	0,91
Dureza a la bola	N/mm ²	DIN 53456	
Dureza "Shore"		DIN 53505	D73
Módulo de elasticidad	N/mm ²	DIN 53457	1.300
Punto de fusión	°C	ASTM D789	164
Resistencia Superficial		DIN 53482	5·1013
Resistencia al impacto	KJ/m ²	DIN 53453	10
Resistencia a la tracción	N/mm ²	DIN 53455	33
Temperatura máxima de uso	°C	NORMAL	100
	°C	CON PUNTAS	140
Temperatura mínima de uso	°C		-10

Anexos 7

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA						
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA						
Fecha: Lunes 24 de Junio del 2013						
Humedad Relativa: 30,2%					Hora de inicio: 10:30	
Presion Entrada: 50 Psi					Presion de Salida: 40 Psi	
Condiciones Atmosfericas Cielo Parcialmente Nuboso						
CALENTADOR SOLAR DE POLIPROPILENO						
Tiempo	Radiacion	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Velocidad de
(horas)	solar (W/m ²)	inicial (°C)	Ambiente (°C)	sin Aislamiento (°C)	con Aislamiento (°C)	viento (m/s)
10:30	237,3	17,5	30	36	42	1,4
10:45	229,5		24,5	32	36	1,6
11:00	209,2	17,5	23,5	30	34	1,5
11:15	169,5		24,5	29	35	1,2
11:30	153,2	18	28	35	40	1,3
11:45	607,3		25,5	36	42	6,3
12:00	630,4	17,5	27	34	40	2,7
12:15	527,31		30,1	35	38	1,4
12:30	157,17	17,5	22,6	30	34	3,3
12:45	125,9		21,1	28	32	1
13:00	111,3	18	19,5	26	30	7,5
13:15	103,2		17,5	24	28	8,2
13:30	100,3	17	17	22	25	9,5
13:45	109,8		18	25	28	8,3
14:00	106,7	16,5	17,8	24,5	27	9,3
14:15	110,5		18,2	25,5	28	9,4
PROMEDIO	230,5	17,4	22,8	29,5	33,7	4,6
MINIMO	100,3		17	22	25	1
MAXIMO	630,4		30,1	36	42	9,5

Anexos 8

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA						
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA						
Fecha: Martes 25 de Junio del 2013						
Humedad Relativa: 26,2%					Hora de inicio: 10:30	
Presion Entrada: 50 Psi					Presion de Salida: 40 Psi	
Condiciones Atmosfericas Cielo despejado con presencia de sol						
CALENTADOR SOLAR DE POLIPROPILENO						
Tiempo (horas)	Radiacion solar (W/m ²)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura sin Aislamiento (°C)	Temperatura con Aislamiento (°C)	Velocida de viento (m/s)
10:30	520,4	16,5	26,1	39,5	42,5	1,8
10:45	542,1		26,8	40,5	43,5	1,4
11:00	560,5	17,5	27	42,5	46	1,2
11:15	520		26	36	43	1,1
11:30	480,2	18	25	34	45	1
11:45	490,1		25,3	39,5	46	0,9
12:00	682,7	17,5	30	42,5	46,5	1,2
12:15	433,2		24	33	41	1,1
12:30	490,7	17,5	25,3	38	43,5	1,3
12:45	496,6		25,5	41	47	1,4
13:00	473,8	18	25,8	33	43	2,8
13:15	303,5		23,5	30	36	6
13:30	300,1	17	23	29,5	35,5	6,8
13:45	214,5		21	27	32	6,3
14:00	116,2	16,5	17,8	24,5	30,5	7
14:15	120,5		18,2	25,5	28	6,2
PROMEDIO	421,6	17,3	24,4	34,8	40,6	3,0
MINIMO	116,2		17,8	24,5	28	0,9
MAXIMO	682,7		30	42,5	47	7

Anexos 9

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA						
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA						
Fecha: Miercoles 26 de Junio del 2013						
Humedad Relativa: 44,62%					Hora de inicio: 10:30	
Presion Entrada: 50 Psi					Presion de Salida: 40 Psi	
Condiciones Atmosfericas Cielo despejado con presencia de sol						
CALENTADOR SOLAR DE POLIPROPILENO						
Tiempo	Radiacion	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Velocidad de
(horas)	solar (W/m ²)	inicial (°C)	Ambiente (°C)	sin Aislamiento (°C)	con Aislamiento (°C)	viento (m/s)
10:30	564,8	17	25,08	39,5	42,5	1,1
10:45	603,1		26,4	40,5	42,5	0,9
11:00	617,4	17,5	26	42,5	45,5	0,9
11:15	612,3		26,1	40,9	44	1
11:30	623,7	17,5	25,7	41,2	45	1,6
11:45	485,7		24,5	39	43,5	0,9
12:00	644,2	17,3	23,6	43	48	0,8
12:15	455,3		22,3	38	41	1
12:30	503,3	17	25,3	38,7	42,3	1,5
12:45	500,1		25,5	39	44	6
13:00	420,5	18	26	36	42	5,5
13:15	403,2		22,5	34	36,5	6,5
13:30	300,5	17,5	22	30,5	35,3	7
13:45	217,2		21,5	27,5	33	5,3
14:00	200,3	16,5	18,09	24,8	30,7	6,2
14:15	200,1		17,2	24,5	28,5	6,6
PROMEDIO	459,5	17,3	23,6	36,2	40,3	3,3
MINIMO	200,1		17,2	24,5	28,5	0,8
MAXIMO	644,2		26,4	43	48	7

Anexos 10.

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA						
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA						
Fecha: Jueves 27 de Junio del 2013						
Humedad Relativa: 28,32%					Hora de inicio: 10:30	
Presion Entrada: 50 Psi					Presion de Salida: 40 Psi	
Condiciones Atmosfericas Cielo despejado con presencia de sol						
CALENTADOR SOLAR DE POLIPROPILENO						
Tiempo (horas)	Radiacion solar (W/m ²)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura sin Aislamiento (°C)	Temperatura con Aislamiento (°C)	Velocidad de viento (m/s)
10:30	430,2	16,8	25	36	42	1,3
10:45	480,2		26	38	43	1,2
11:00	500,1	17,4	25,5	38,5	43,5	1,5
11:15	499,3		24,5	38,2	41	6
11:30	478,2	17,8	24	36	40,1	5,2
11:45	500,6		25,5	38,6	42,3	3,5
12:00	550,3	17,9	26	38,9	41,3	4,2
12:15	527,31		25,8	38,2	41	4,1
12:30	498,5	18	25	36	39,5	3,6
12:45	510,6		25,3	37	42,3	3,5
13:00	505,3	17,2	25,2	36,3	41,2	5,3
13:15	420,6		24	32	36,5	6,2
13:30	400,1	17	23,8	31,5	36	6,6
13:45	390,3		23,2	31	35,3	7,1
14:00	350,2	16,3	22,7	30	34,2	6,3
14:15	290,4		21,34	29,8	32,5	6,6
PROMEDIO	458,3	17,3	24,6	35,4	39,5	4,5
MINIMO	290,4		21,34	29,8	32,5	1,2
MAXIMO	550,3		26	38,9	43,5	7,1

Anexos 11

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA						
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA						
Fecha: Viernes 28 de Junio del 2013						
Humedad Relativa: 30,2%					Hora de inicio: 10:30	
Presion Entrada: 50 Psi					Presion de Salida: 40 Psi	
Condiciones Atmosfericas Cielo despejado con presencia de sol						
CALENTADOR SOLAR DE POLIPROPILENO						
Tiempo	Radiacion	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Velocida de
(horas)	solar (W/m ²)	inicial (°C)	Ambiente (°C)	sin Aislamiento (°C)	con Aislamiento (°C)	viento (m/s)
10:30	480,5	16,8	25,34	36,2	42,3	2,6
10:45	460,5		25,1	36	42	2,3
11:00	400,3	17,3	25,012	35,8	41,3	5,2
11:15	510,5		25,9	36,5	41	2,3
11:30	500,3	17	25	37	41,1	5
11:45	500,6		25,3	36,5	42,3	4,3
12:00	580,2	17,5	26	38	44	3,2
12:15	550,35		26,3	37	43,1	3,5
12:30	550,3	17,6	26,1	37,5	41,9	3,3
12:45	510,6		25,3	36,5	42,1	3,3
13:00	430,6	17,3	24,9	36	41,2	6,2
13:15	450,2		25,1	36,2	40,8	6,1
13:30	400,1	17,1	24,3	31,5	36	6
13:45	384,56		23,5	30,5	35,3	5,8
14:00	380,2	16,5	23,43	29,3	34,3	5,9
14:15	320,2		22,3	28,7	32,3	6,6
PROMEDIO	463,1	17,1	24,9	35,0	40,1	4,5
MINIMO	320,2		22,3	28,7	32,3	2,3
MAXIMO	580,2		26,3	38	44	6,6

Anexos 12

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA						
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA						
Fecha: Lunes 01 de Julio del 2013						
Humedad Relativa: 31,2%					Hora de inicio: 10:30	
Presion Entrada: 50 Psi					Presion de Salida: 40 Psi	
Condiciones Atmosfericas Cielo despejado con presencia de sol						
CALENTADOR SOLAR DE POLIPROPILENO						
Tiempo (horas)	Radiacion solar (W/m ²)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura sin Aislamiento (°C)	Temperatura con Aislamiento (°C)	Velocidad de viento (m/s)
10:30	240,3	16,5	24,3	34	40,3	3,4
10:45	230,1		24,3	32	37,1	4,6
11:00	210,3	16,9	23,5	30	34,2	2,3
11:15	180,3		22,1	29	35,2	6,2
11:30	180,4	17	28	29,3	34,8	5,3
11:45	617,2		28,1	41,8	44,9	4,2
12:00	660,3	17,5	26	43	48	1,3
12:15	520,9		27	40,1	43,5	1,9
12:30	230,5	17,5	24,3	32	36	1,8
12:45	230,9		21,1	32,1	37	2,36
13:00	220,3	17,9	24	31,5	35	2,69
13:15	241		24,9	32,5	37	6,3
13:30	250,8	17,4	24	33	38,6	6,6
13:45	300,5		25	36	41,2	7,2
14:00	214	16,8	19,2	31,2	36,4	5,6
14:15	217,35		20,5	31,8	35,9	6,4
PROMEDIO	296,6	17,2	24,1	33,7	38,4	4,3
MINIMO	180,3		19,2	29	34,2	1,3
MAXIMO	660,3		28,1	43	48	7,2

Anexos 13

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA						
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA						
Fecha: Jueves 04 de Julio del 2013						
Condiciones Atmosfericas Cielo despejado con presencia de sol					Hora de inicio: 10:30	
Presion Entrada: 50 Psi					Presion de Salida: 40 Psi	
Cubierto totalmente dia completo						
CALENTADOR SOLAR DE POLIPROPILENO						
Tiempo	Radiacion	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Humedad	Velocida de
(horas)	solar (W/m ²)	inicial (°C)	Ambiente (°C)	con Aislamiento (°C)	Relativa %	viento (m/s)
10:30	524,7	16,6	24,3	44	39,1	1,8
10:45	514,6		25,6	42,5	36,26	1,6
11:00	479,8	16,9	23,6	37	34,2	2,3
11:15	548,35		22,3	45,5	35,2	1,9
11:30	551,3	17	27	46,2	34,8	1,6
11:45	550,1		28,3	46	32,5	1,7
12:00	564,9	17,3	25,9	48,5	37,8	1,5
12:15	552,3		26,5	47,5	38,2	1,9
12:30	555,52	17,5	24,5	46,8	35,2	1,8
12:45	559,3		21	47	33,6	2,1
13:00	532,6	17,8	23,7	44	35,3	2,15
13:15	460,3		24,8	33,5	31,8	2,3
13:30	452,3	17,3	23,87	35	32,3	2,5
13:45	492,5		24,6	37	32,1	2,8
14:00	320,3	16,5	20,9	32,5	31,9	3,1
14:15	300,13		20,5	32,9	30,8	4,2
PROMEDIO	497,4	17,1	24,2	41,6	34,4	2,2
MINIMO	300,13		20,5	32,5	30,8	1,5
MAXIMO	564,9		28,3	48,5	39,1	4,2

Anexos 14

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA						
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA						
Fecha: Viernes 05 de Julio del 2013						
Condiciones Atmosfericas Cielo despejado con presencia de sol					Hora de inicio: 10:30	
Presion Entrada: 50 Psi					Presion de Salida: 40 Psi	
Descubierto totalmente dia completo						
CALENTADOR SOLAR DE POLIPROPILENO						
Tiempo	Radiacion	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Humedad	Velocida de
(horas)	solar (W/m ²)	inicial (°C)	Ambiente (°C)	sin Aislamiento (°C)	Relativa %	viento (m/s)
10:30	524,6	16,4	26,3	43	30,7	1,7
10:45	512,3		26	42,5	28,5	1,5
11:00	462,35	17	25,3	40	27,64	2,5
11:15	432,2		25	38	26,35	1,8
11:30	445,6	17,5	25,6	39,5	26,8	1,6
11:45	490,3		25,8	40,2	28,35	1,6
12:00	556,3	17,5	26,1	46	33,54	1,45
12:15	553,2		25,09	45,3	35,8	1,8
12:30	555,56	17,5	26,14	45,6	34,25	1,75
12:45	530,2		26,3	43,5	33,8	2,2
13:00	532,67	17,6	25,41	42	34,2	2,2
13:15	402,6		24,3	32,5	32,3	2,4
13:30	400,9	17	23,8	31	31,9	2,2
13:45	387,3		22	30	32,5	2,1
14:00	300,5	16,5	20,9	29,5	30,9	3,6
14:15	279,5		20,5	28	29,5	4,2
PROMEDIO	460,38	17,125	24,65875	38,5375	31,064375	2,2
MINIMO	279,5		20,5	28	26,35	1,45
MAXIMO	556,3		26,3	46	35,8	4,2

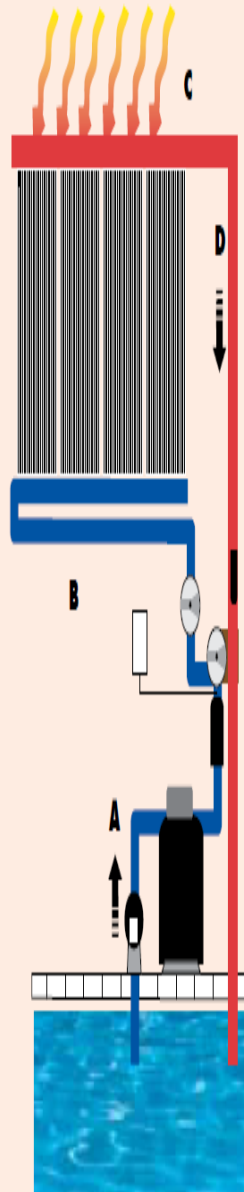
Anexos 15

UNIVERSIDA TECNICA DE AMBATO							
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA							
CARRERA INGENIERIA MECANICA							
Presion Entrada: 50 Psi				Presion Salida: 40 Psi			
CALENTADOR SOLAR DE POLIPROPILENO							
TABLA VALORES PROMEDIOS							
Radiacion	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Velocida de		
solar (W/m ²)	inicial (°C)	Ambiente (°C)	sin Aislamiento (°C)	con Aislamiento (°C)	viento (m/s)	DELTA TCA - TSA	
230,5	17,4	22,8	29,5	33,7	4,6	4,2	
421,6	17,3	24,4	34,8	40,6	3	5,8	
459,5	17,3	23,6	36,2	40,3	3,3	4,1	
458,3	17,3	24,6	35,4	39,5	4,5	4,1	
463,1	17,1	24,9	35	40,1	4,5	5,1	
296,6	17,2	24,1	33,7	38,4	4,3	4,7	
511,35	17,02	24,78		43,1	2,11		
474,81	17	24,96	39,5		2,08		
511,35	17,4	24,96	39,5	43,1	4,6	5,8	V. MAX
230,5	17	22,8	29,5	33,7	2,08	4,1	V. MIN

Esquema de instalación del panel solar

Using the power of the sun to heat your pool

- A.** Using your existing pool pump, pool water is directed through a series of valves to your solar collectors.
- B.** Pool water enters the solar collectors at the bottom and rises to the top through the individual tubes of the collector.
- C.** As the water rises through the collector it is heated by the sun's radiant energy.
- D.** The water is then returned to the pool to repeat the cycle until your pool has been warmed by the sun.



Certification Data

- ISO 9001:2008 and ISO 14001:2004
- Ortech International Laboratories
- Solar Rating & Certification Corporation (SRCC)
- Solar Energy Analysis Laboratory (SEAL)
- DSET Laboratories, Inc.
- HRS, Florida (Required for commercial use)
- Florida Solar Energy Center (FSEC)
- City of Los Angeles #RR-4508
- British National Water Council (for potability)
- German Federal Health Board
- NSF 50 for Recreational Water Facilities

Anexos 17

Especificaciones del tubo cuadrado

DIMENSIONES		AREA	PESO
B	e	A	P
mm	mm	cm ²	Kg/m
20	1.5	1.05	0.83
	2.0	1.34	1.05
25	1.5	1.35	1.06
	2.0	1.74	1.38
30	1.5	1.65	1.30
	2.0	2.14	1.68
	3.0	3.01	2.36
40	1.5	2.25	1.77
	2.0	2.94	2.31
	3.0	4.21	3.30
50	1.5	2.85	2.24
	2.0	3.74	2.93
	3.0	5.41	4.25
60	1.5	3.45	2.71
	2.0	4.54	3.56
	3.0	6.61	5.19
75	2.0	5.74	4.50
	3.0	8.41	6.60
	4.0	10.95	8.59
100	2.0	7.74	6.07
	3.0	11.41	8.96
	4.0	14.95	11.73

Anexos 18

Especificaciones de tubo redondo

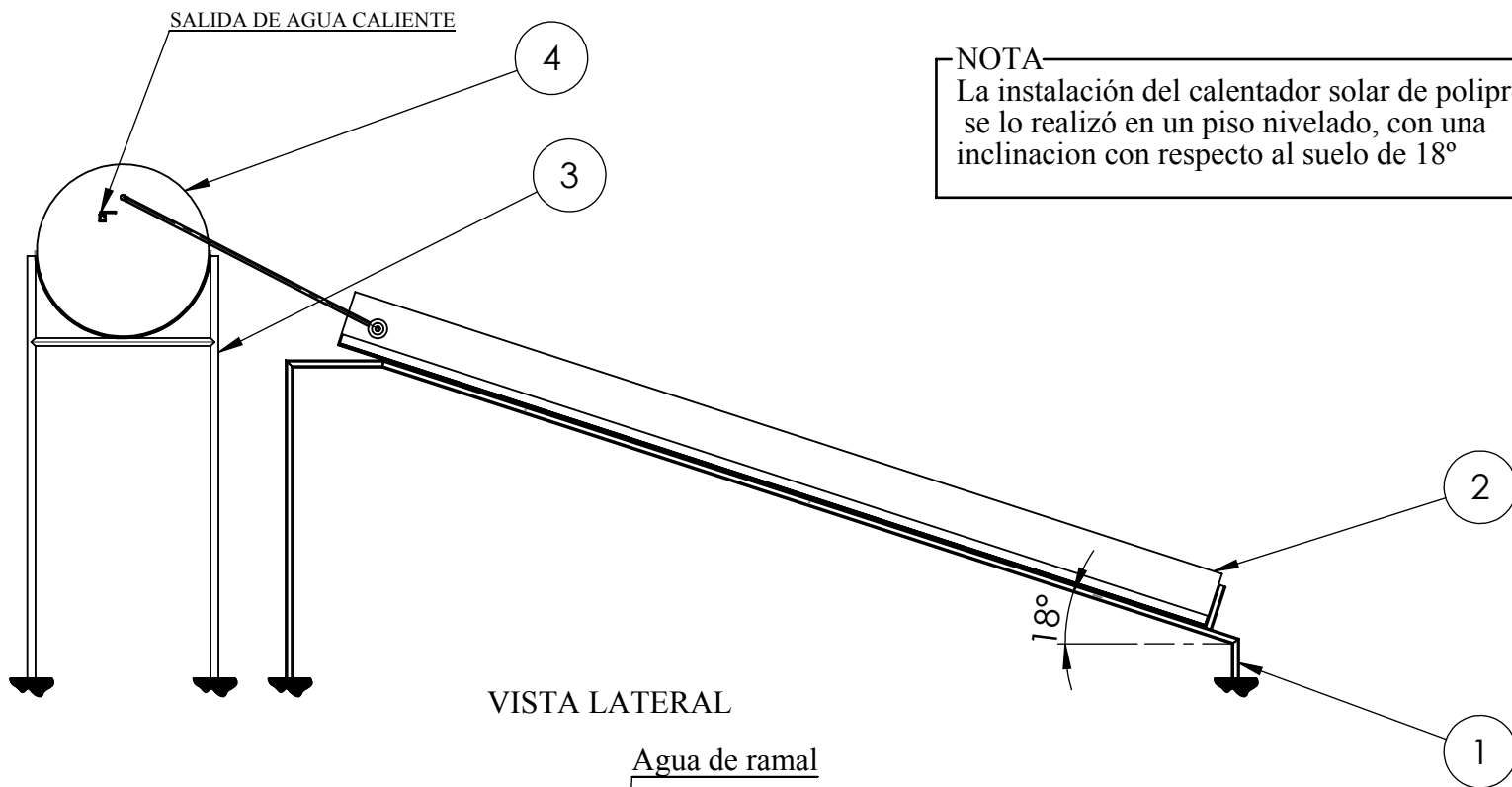
DIMENSIONES		ESPESOR	AREA	PESO
Designación	D	e	A	P
Pulg	mm	mm	cm ²	Kg/m
3/4	19.1	1.5	0.83	0.65
		2.0	1.07	0.84
7/8	22.2	1.5	0.98	0.77
		2.0	1.27	1.00
1	25.4	1.5	1.13	0.88
		2.0	1.47	1.15
1 1/4	31.8	1.5	1.43	1.12
		2.0	1.87	1.47
1 1/2	38.1	1.5	1.72	1.35
		2.0	2.27	1.78
1 3/4	44.5	1.5	2.02	1.59
		2.0	2.67	2.09
1 7/8	47.6	1.5	2.17	1.71
		2.0	2.87	2.25
2	50.8	1.5	2.32	1.82
		2.0	3.07	2.41
		3.0	4.51	3.54
2 3/8	60.3	1.5	2.77	2.18
		2.0	3.66	2.88
		3.0	5.40	4.24
2 1/2	63.5	1.5	2.92	2.29
		2.0	3.86	3.03
		3.0	5.70	4.48
3	76.2	1.5	3.52	2.76
		2.0	4.66	3.66
		3.0	6.90	5.42
4	101.6	2.0	6.26	4.91
		3.0	9.29	7.29
		4.0	12.26	9.63
5	127.0	2.0	7.85	6.17
		3.0	11.69	9.17
		4.0	15.46	12.13
6	152.4	2.0	9.45	7.42
		3.0	14.04	11.05
		4.0	18.65	14.64

Anexos 19

Especificaciones de las planchas de tol

ESPECIFICACIONES		
Dimensión	Espesor	Norma de Fabricación
mm	mm	
1.220 x 2.440	0.4 - 1.50	ASTM A 653 CS
1.220 x 2.440	0.4 - 1.50	ASTM A 653 FS

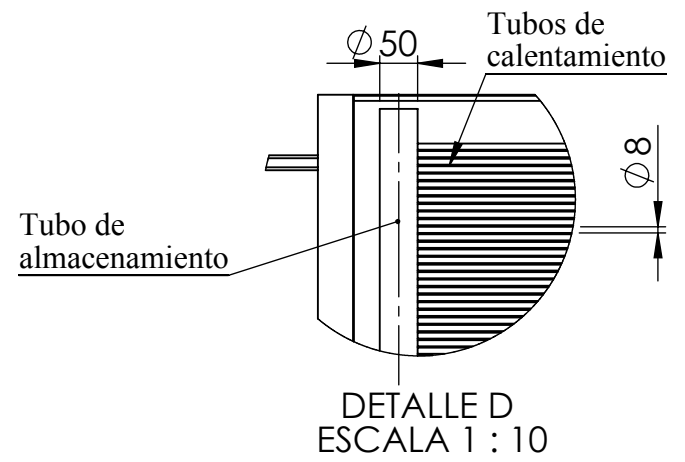
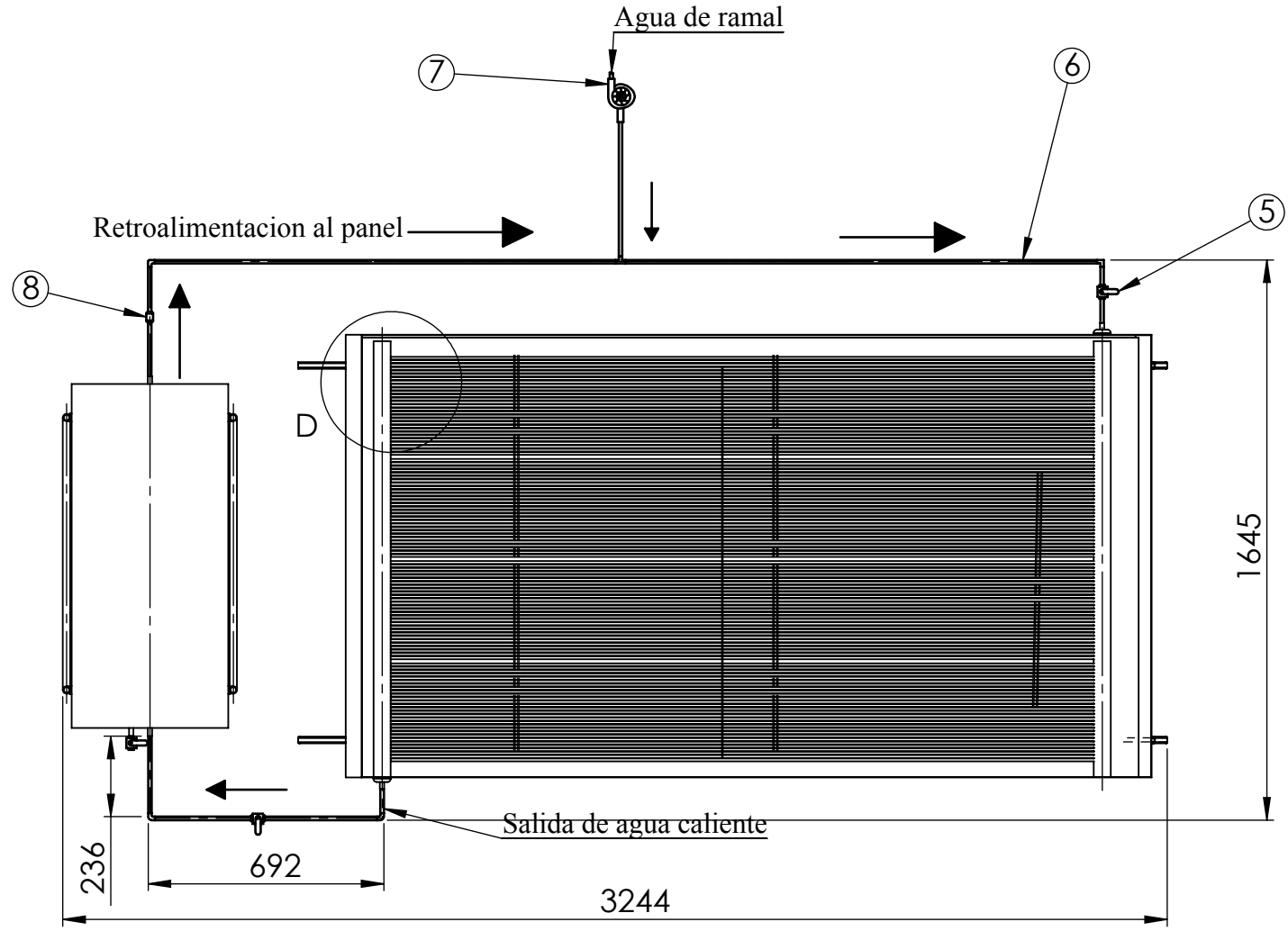
PLANOS



NOTA
La instalación del calentador solar de polipropileno se lo realizó en un piso nivelado, con una inclinación con respecto al suelo de 18°

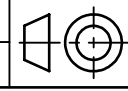
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Peso Total	132 kg
Potencia Total	180,5 W
Largo Total	3244 mm
Ancho Total	1645 mm
Altura Total	1360 mm
Temperatura Máxima	60 °C

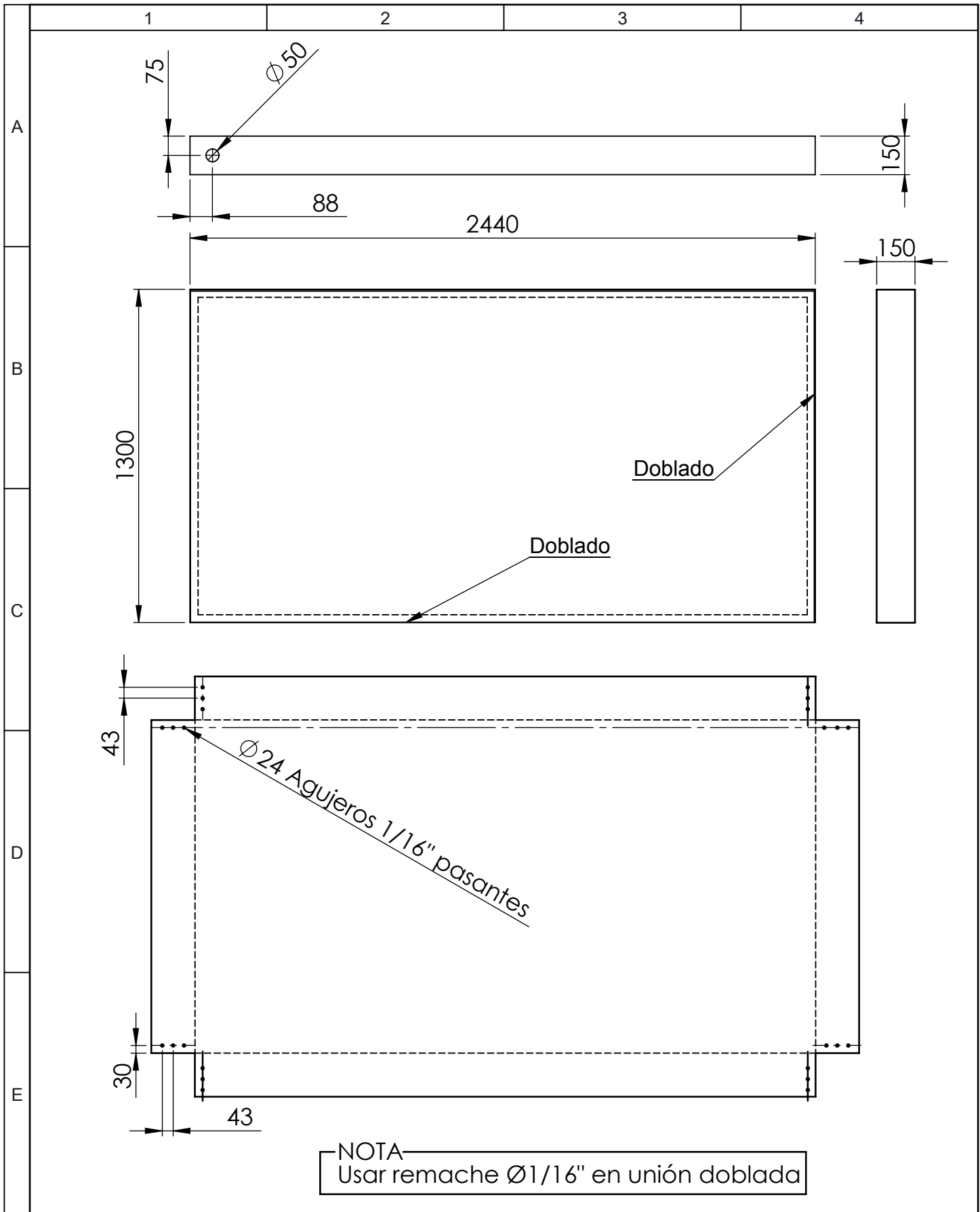
SIMBOLOGÍA	
Bomba de Agua	
Llave de Paso	
Valvula de Retención	
Sentido de Circulación	



N° DE ELEMENTO	DENOMINACION	No. DE NORMA/DIBUJO	MATERIAL	No. DE PIEZA	No. DEL MODELO/SEMPRODUCTO	PESO kg/PIEZA	OBSERVACIONES
8	Valvula Chek	-	Plástico	3	Ø = 1/2", rosacado		
7	Bomba	-	Varios	1	Potencia: 1hp, Capacidad 45 lt/min	8,8	ISO 2858 - ISO 5199 - DIN 24256
6	Tubería	-	Plástico	2	12 m de largo x Ø= 1/2"		ISO 15877, sistemas de tuberías de plástico para instalaciones de agua caliente y fría - Cloruro de polivinilo clorado (CPVC).
5	Valvula de Bola	-	Acero Inoxidable	4	Ø = 1/2", Roscado		ANSI/API 608-2002 Metal Ball Valves - Flanged and Butt-Welding Ends.
4	Estructura Soporte Tanque	07	Acero ASTM A 500 GALVANIZADO	1	800 mm x 1130 mm x 490 mm	9,8	CORTADO, SOLDADO
3	Tanque de Almacenamiento	04	VARIOS	1	L = 1011, Ø = 460 mm	44,5	DOBLADO, SOLDADO, REMACHADO
2	Panel de Polipropileno	-	VARIOS	1	2180 mm x 1300 mm	6,8	ISO 9001:2008 and ISO 14001:2004
1	Estructura Soporte Panel	03	Acero ASTM A 500 GALVANIZADO	1	2570 mm x 1160 mm x 857 mm	4,3	CORTADO, SOLDADO

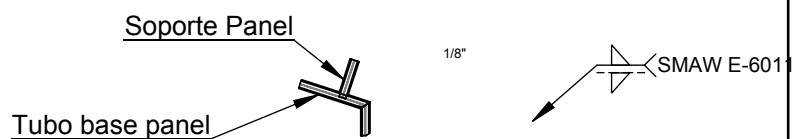
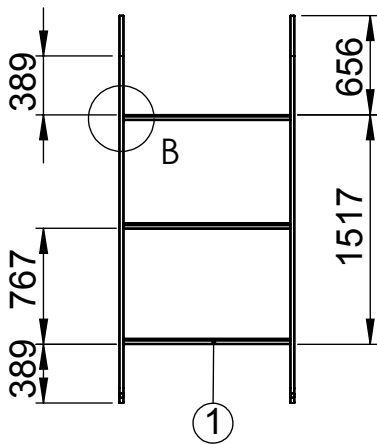
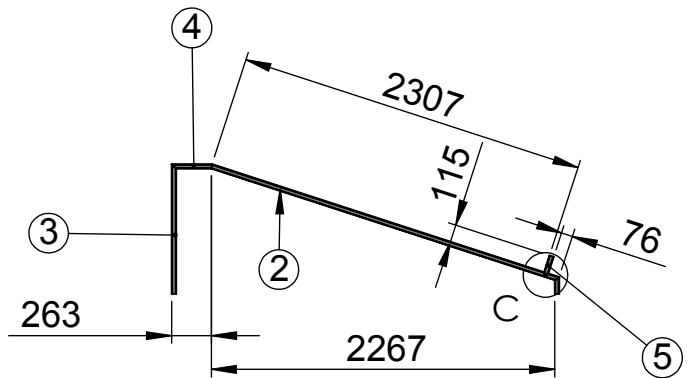
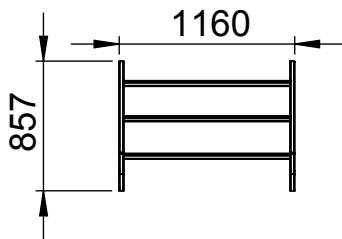
Tolerancia		(Peso)	Materiales:	
±1mm		132.1 Kg	VARIOS	
Fecha		Nombre	Denominación:	
Dib.	15/04/2014	PEÑA SANTIAGO	COLECTOR SOLAR DE TUBOS DE POLIPROPILENO	
Rev.	15/04/2014	ING. CABRERA S.		
Apro.	15/04/2014	ING. CABRERA S.		
U.T.A.		Número del dibujo:	01/ 07	
INGENIERÍA MECÁNICA		Sustitución:		Registro:



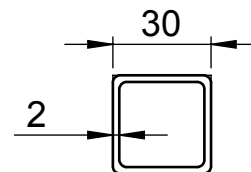


NOTA
Usar remache $\phi 1/16''$ en unión doblada

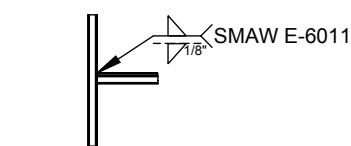
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				± 1 mm	9.7 Kg	ACERO ASTM A 653 CS GALVANIZADO esp. 1 mm	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó.	15/04/2014	PEÑA SANTIAGO		
			Revisó.	15/04/2014	ING. CABRERA S.		
				Aprobó.	15/04/2014	ING. CABRERA S.	1:20
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número del dibujo: 02 / 07	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución:	



DETALLE C
ESCALA 1 : 25



SECCION TRANSVERSAL
TUBO CUADRADO
ESCALA 1 : 25



DETALLE B
ESCALA 1 : 25

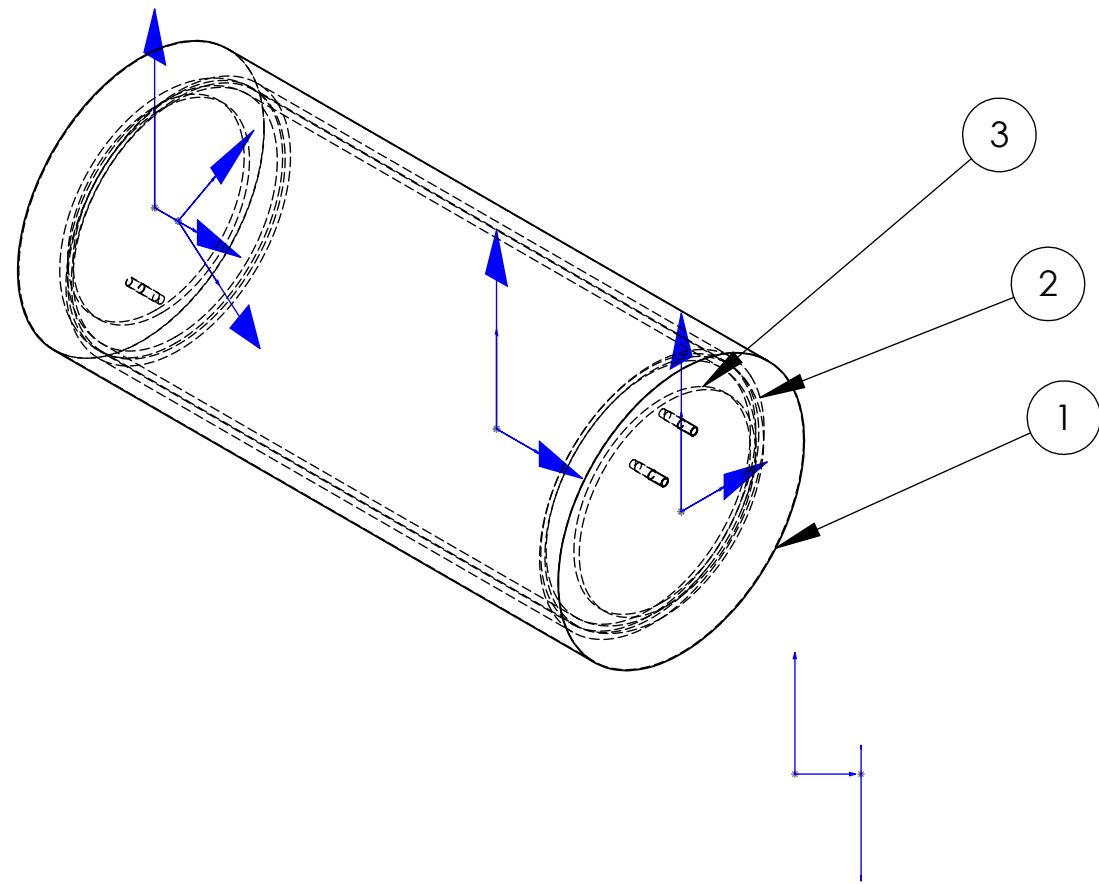
LISTA DE CORTES PARA PIEZA SOLDADA

Nº	Cantidad	Descripción	Longitud
1	3	Tubo Estructural Cuadrado 30 x 30 x 2 mm	1100 mm
2	2	Tubo Estructural Cuadrado 30 x 30 x 2 mm	2413 mm
3	2	Tubo Estructural Cuadrado 30 x 30 x 2 mm	857 mm
4	2	Tubo Estructural Cuadrado 30 x 30 x 2 mm	267 mm
5	5	Tubo Estructural Cuadrado 30 x 30 x 2 mm	115 mm

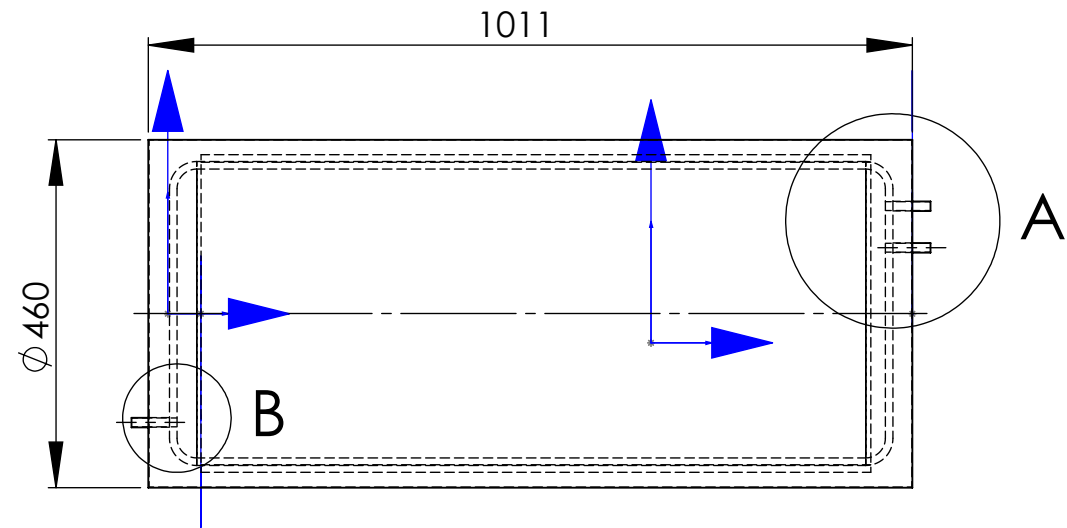
NOTA

Todas las uniones se realizan con el proceso de soldadura SMAW con electrodo E-6011 y tienen un ancho de cordón de 1/8"

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				± 1 mm	4.3 Kg	TUBO CUADRADO GALVANIZADO 30 X 30 X 2 mm	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó. 11/04/2014	PEÑA SANTIAGO	Estructura Soporte del Panel	1:50
				Revisó. 11/04/2014	ING. CABRERA S.		
				Aprobó. 11/04/2014	ING. CABRERA S.		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número del dibujo: 03 / 07	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución:	

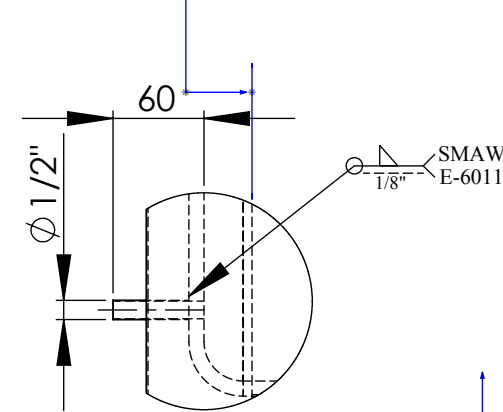


NOTA
Insertar 3 tubos de acero galvanizado 1/2" de diámetro por medio de suelda SMAW

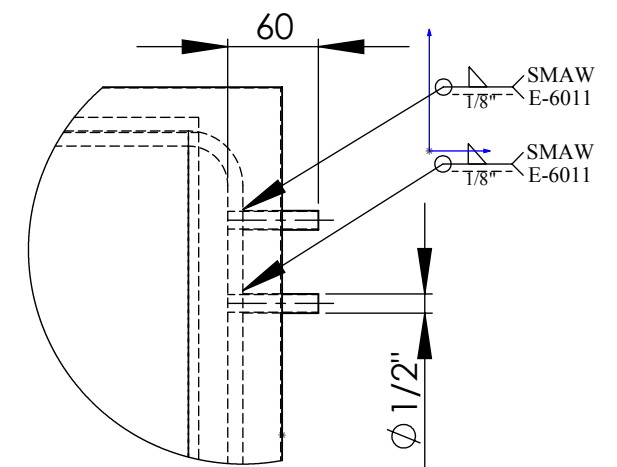


NOTA
Entrada de agua caliente desde el panel (tubo arriba)
Salida de agua para uso (tubo abajo)

Salida de agua fría del tanque



DETALLE B
ESCALA 1 : 5

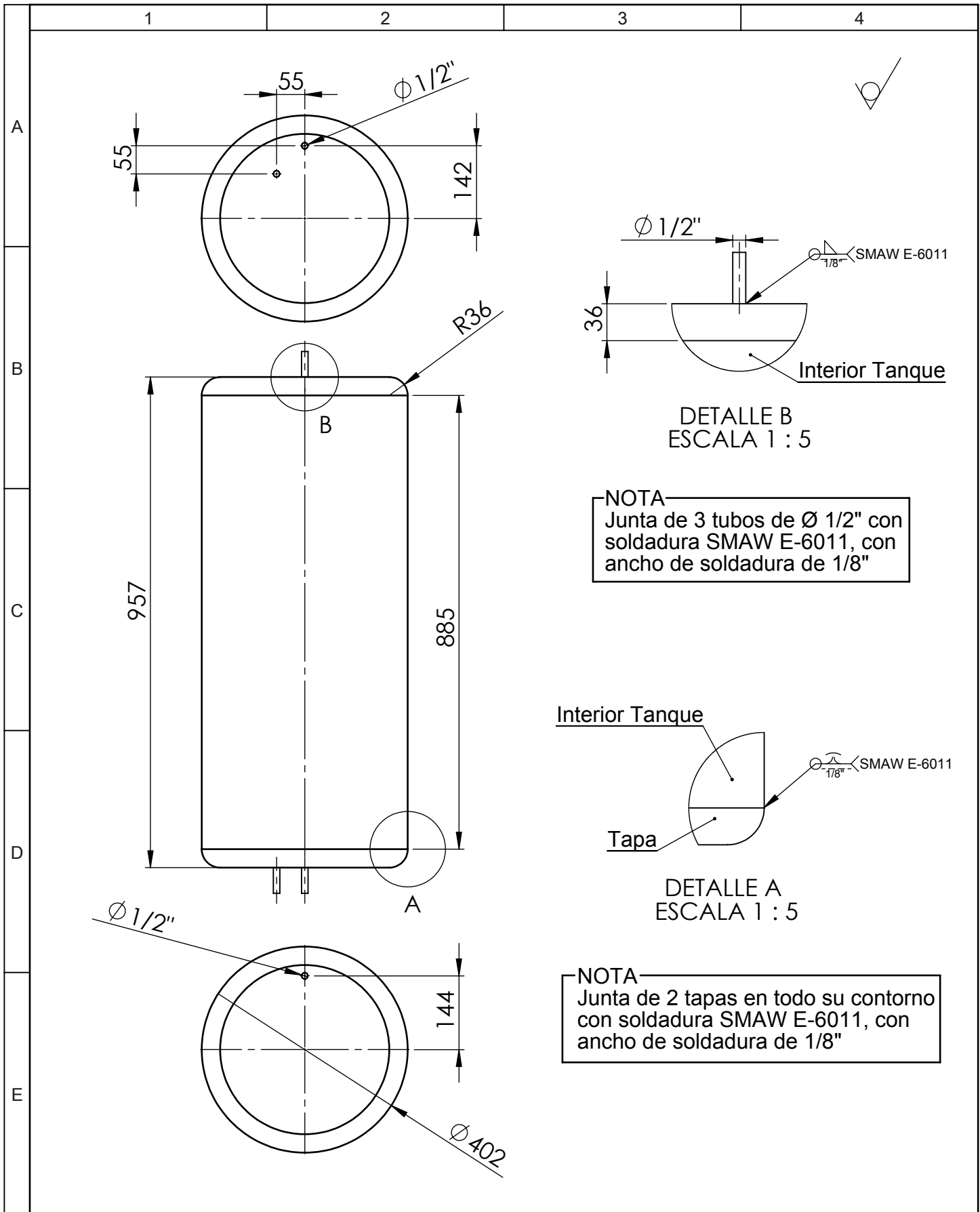


DETALLE A
ESCALA 1 : 5

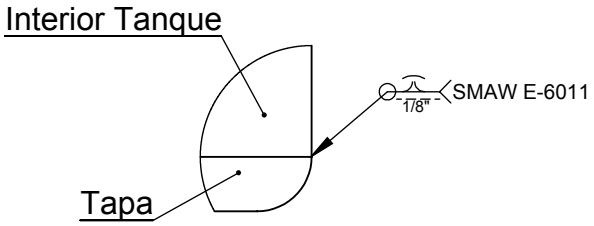
CUADRO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Volumen: 167 lt	
Fluido a circular: Agua	
Tipo de circulación: Natural	
Volumen máximo del fluido: 118 lt o 31 gal	

3	Tanque de Almacenamiento	05	Acero ASTM A653 CS Galvanizado	1	L = 1011, Ø=459 mm, e= 1 mm	12.1	Doblado, Remachado
2	Aislante		Lana de Vidrio	1	L = 1006, Ø=412mm, e= 1"	2.1	Comprado
1	Cubierta del tanque	06	Acero ASTM A653 CS Galvanizado	1	L = 957, Ø=402 mm, e= 2 mm	30	Doblado, Soldado
N.º DE ORDEN	Denominación	No. de Normal/Dibujo	Material	No. de Piezas	No. del Modelo/Semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones

Tolerancia		(Peso)	Materiales:				
± 1 mm		44.5 kg	VARIOS				
Fecha		Nombre	Título:				Escala: 1:10
Dib.	21/02/2014	PEÑA SANTIAGO	Tanque de Almacenamiento Completo				
Rev.	21/02/2014	ING. CABRERA S.					
Apro.	21/02/2014	ING. CABRERA S.					
U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA			Número del dibujo: 04 / 07			Registro:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustitución:			



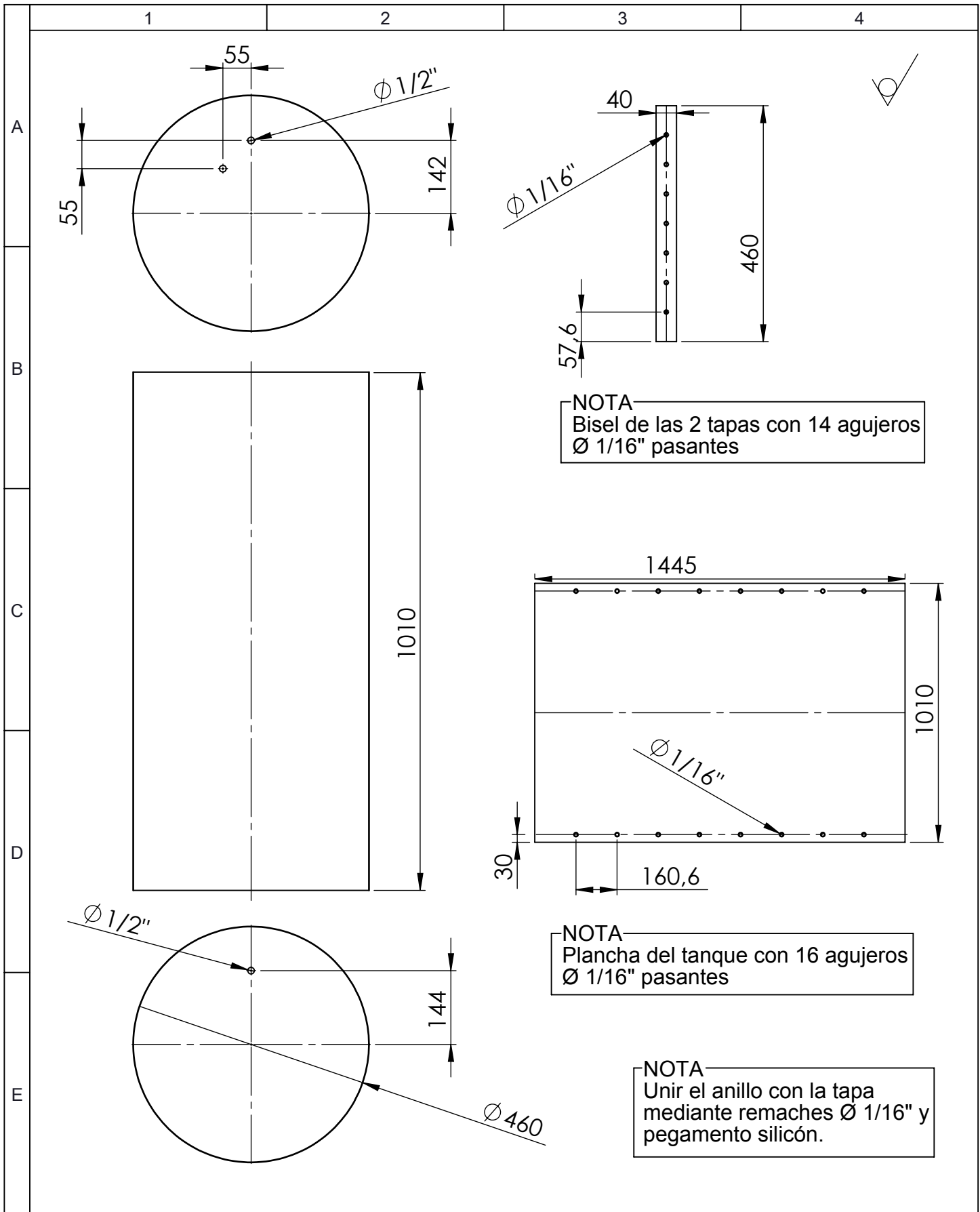
NOTA
 Junta de 3 tubos de $\varnothing 1/2''$ con soldadura SMAW E-6011, con ancho de soldadura de $1/8''$



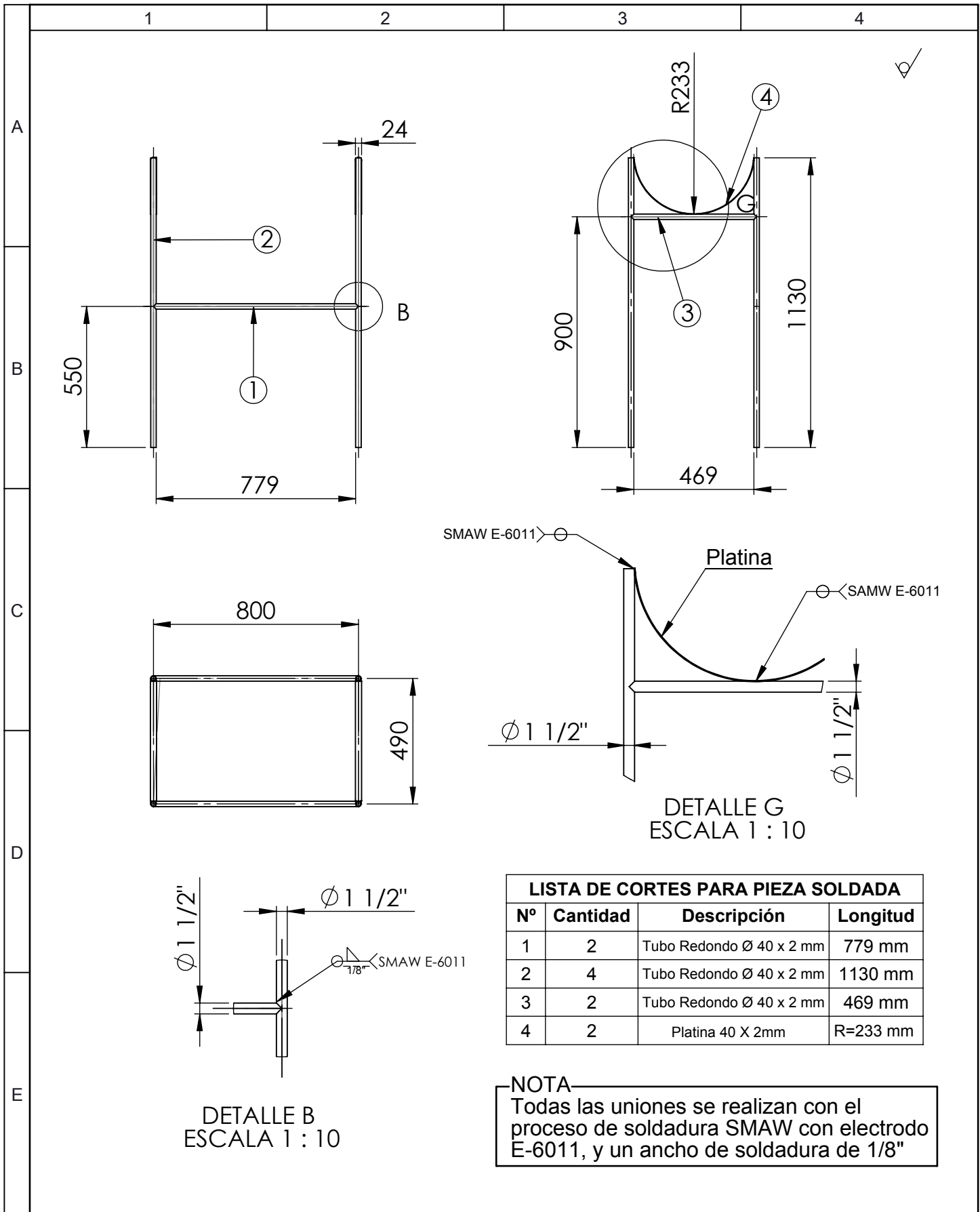
DETALLE A
 ESCALA 1 : 5

NOTA
 Junta de 2 tapas en todo su contorno con soldadura SMAW E-6011, con ancho de soldadura de $1/8''$

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 1 \text{ mm}$	30 Kg	LÁMINA DE TOL GALVANIZADO e = 2 mm	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó. 28/03/2014	PEÑA SANTIAGO	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	1:10
				Revisó. 28/03/2014	ING. CABRERA S.		
				Aprobó. 28/03/2014	ING. CABRERA S.		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número del dibujo: 05 / 07	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución:	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				± 1 mm	12 Kg	LÁMINA DE TOL GALVANIZADO e = 1 mm	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó. 28/03/2014	PEÑA SANTIAGO	CUBIERTA DEL TANQUE	1:10
				Revisó. 28/03/2014	ING. CABRERA S.		
				Aprobó. 28/03/2014	ING. CABRERA S.		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número del dibujo: 06 / 07	Registro:
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución:	



LISTA DE CORTES PARA PIEZA SOLDADA

Nº	Cantidad	Descripción	Longitud
1	2	Tubo Redondo Ø 40 x 2 mm	779 mm
2	4	Tubo Redondo Ø 40 x 2 mm	1130 mm
3	2	Tubo Redondo Ø 40 x 2 mm	469 mm
4	2	Platina 40 X 2mm	R=233 mm

NOTA
 Todas las uniones se realizan con el proceso de soldadura SMAW con electrodo E-6011, y un ancho de soldadura de 1/8"

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				± 1 mm	9.8 Kg	TUBO REDONDO Ø 40, e = 2 mm	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó. 22/02/2014	PEÑA SANTIAGO	ESTRUCTURA SOPORTE TANQUE	1:20
				Revisó. 22/02/2014	ING. CABRERA S.		
				Aprobó. 22/02/2014	ING. CABRERA S.		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número del dibujo: 07 / 07	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución:	