



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

“OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA”

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniería Industrial

Autor:

Cumbajín Yanguicela Diego Fernando

Tutor:

Ing. M.Sc Freddy Eduardo Quinchimbla Pisuña

Latacunga - Ecuador

Julio - 2019



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Industrial

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Yo **Cumbajín Yanguicela Diego Fernando**, declaro ser autor del presente proyecto de investigación: “**OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA**”, siendo el Ing. M.Sc. Freddy Eduardo Quinchimbla Pisuña, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

CUMBAJÍN YANGUICELA DIEGO FERNANDO

C.I. 172317781-0

diego.cumbajin0@utc.edu.ec



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



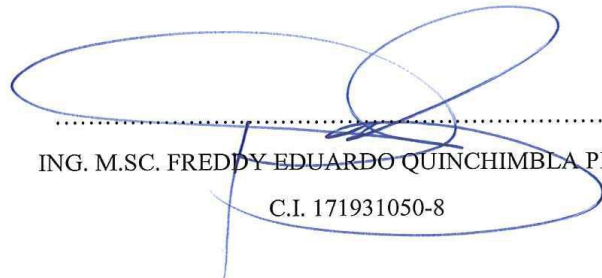
Ingeniería
Industrial

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA”, de CUMBAJÍN YANGUICELA DIEGO FERNANDO, de la carrera de INGENIERÍA INDUSTRIAL, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Julio, 2019



.....
ING. M.SC. FREDDY EDUARDO QUINCHIMBLA PISUÑA
C.I. 171931050-8



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Industrial

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**; por cuanto, el o los postulante: **CUMBAJÍN YANGUICELA DIEGO FERNANDO** con el título de Proyecto de titulación: **“OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Julio 2019

Para constancia firman:

Lector 1

Nombre: ING. MSC. BENJAMIN CHAVEZ

CC: 1716760374

Lector 2

Nombre: ING. MSC. MILTON HERRERA

CC: 0501503312

Lector 3

Nombre: ING. MSC. CRISTIAN EUGENIO

CC: 172372747-3



PROCESAMIENTO DE AVES DE CORRAL
“CHICKEN FARM”
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN PARA LA PROPUESTA

En calidad de Gerente Propietaria de la Procesadora de Aves de Corral, para la producción de Pollos Pelados “CHICKEN FARM”, avalo que el Proyecto de Investigación con el título: “OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA”, de autoría del postulante Cumbajín Yanguicela Diego Fernando con C.I. 172317781-0, de la carrera de Ingeniería Industrial, cumple con los requerimientos metodológicos y aportes que requiere la Procesadora de Aves, en cuanto a la implementación de Agua Caliente para el área del Comedor de dicho lugar, lo cual autorizo la inserción de dicho proyecto en las instalaciones de la Procesadora de Pollos “Chicken Farm”.

Machachi a 12 Julio, 2019

SRA. GLORIA MARISELA CHICAIZA CHANGO
C.I. 171363223-8
GERENTE PROPIETARIA
TELF.: 0984061444



AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a mis Padres y a la Santísima Virgen del Cisne, por siempre haberme ayudado y apoyado en este largo camino de mi formación académica, dándome amor incondicional, apoyo y fuerzas para seguir adelante y así poder lograr una meta más en mi vida.

También mi agradecimiento eterno a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus Docentes, por transmitir sus conocimientos profesionales y hacer de mí una gran persona y un gran profesional.

A mi Tutor del Proyecto, Ing. Freddy Eduardo, por ayudarme y asesorarme con su conocimiento, por su paciencia y ayuda durante el desarrollo del proyecto.

A quienes conforman la Procesadora “Chicken Farm” de la Sra. Marisela Chicaiza, por permitirme el desarrollo del proyecto en sus instalaciones.

Diego

DEDICATORIA

A mis padres, Juan Fernando y Rosario de Lourdes, quienes me apoyaron y guiaron en todo este largo camino; para así lograr y llegar hacer una gran persona y profesional.

A la Santísima Virgen del Cisne, que es mi apoyo incondicional durante toda mi vida.

A mi padrino, por apoyarme y guiarme, quien nunca desistió al enseñarme y depositar su confianza en mí.

A mi abuelita (†) Q.E.P.D, va este esfuerzo, que siempre supo que voy a lograrlo y sé que desde el Cielo siempre me seguirá apoyando y guiando, lo cual estará feliz por este logro más “Gracias Mamita Concha”.

A mis tíos; Gloria Soledad, Carmen Estela y Carlos Alfredo, por siempre estarme apoyándome y guiándome con sus consejos. Joven Nathaly Fernanda y Wendy Alexandra, por su apoyo y consejo lo cual me estiman para seguir luchando en mis metas y sueños; y a mi hermanita menor Samanta Liseth por su apoyo y confianza que tiene en mí.

A Ángeles María, por ser quien es, en las buenas o en las malas en este largo camino, por siempre estar aquí apoyándome e impulsándome para lograr una meta más en mi vida, gracias por tus apoyos Anghy, por nunca dejarme solo y abandonarme.

Y a todas las personas, que han estado y están en estos momentos apoyándome para seguir escribiendo este proyecto de investigación y así lograr terminarlo.

Diego

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
TÍTULO: “OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA”

Autor: Cumbajín Yanguicela Diego Fernando

RESUMEN

La microempresa “Chicken Farm” ubicada en la ciudad de Machachi, cantón Mejía, Provincia de Pichincha, realiza actividades de desplume de pollos. La empresa cuenta con un comedor diario, con un sistema de agua calentada mediante un calefón que funciona con gas licuado de petróleo – butano (GLP). La demanda energética al utilizarse constantemente es elevada, por tanto es necesario el requerimiento de agua caliente sanitaria (ACS). Se analiza el diseño y dimensionamiento de un sistema de calentamiento de agua con un colector solar térmico que está conformado por su tanque de almacenamiento y el panel solar térmico, este colector funcionará como un sistema secundario de energía renovable y trabajará de forma independiente, dando apoyo al sistema principal existente constituido por un calefón de GLP. El objetivo del presente trabajo es optimizar el consumo energético mediante el colector solar térmico, reduciendo el uso de energía fósil requerida por el calefón, produciendo un ahorro energético y económico. Para ello se realizó el modelamiento del sistema del colector el cual fue analizado mediante elementos finitos a través del software Ansys con el módulo de análisis térmico, obteniendo como resultado que la temperatura en la superficie externa de la tubería de cobre es de 40,39°C. Así mismo, se obtuvo a partir de cálculos la temperatura interna de la superficie de la tubería de cobre es de 40,38°C, temperatura del agua a la salida de la misma de 26,04°C y el rendimiento del colector solar térmico refleja un 22,8%. A demás se determinó que este sistema puede mantener un ahorro energético de 92,24% y un ahorro económico promedio de 1,23 USD mensual.

Palabras claves: Agua caliente sanitaria, Optimización, Ahorro energético, Energía fósil, Energía renovable, Colector Solar.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
SCHOOL OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES
TITLE: "OPTIMIZATION OF A WATER HEATING SYSTEM"

Author: Cumbajín Yanguicela Diego Fernando

ABSTRACT

The “Chicken Farm” microenterprise located in the city of Machachi, Mejía canton, Pichincha Province, carries out chicken plucking activities. The company has a daily dining area, with a water system heated by a water heater that works with liquefied petroleum gas - butane (LPG). The energy demand when it is used constantly is high, therefore the requirement of domestic hot water (DHW) is necessary. The design and dimensioning of a water heating system with a thermal solar collector that is made up of its storage tank and thermal solar panel is analyzed, this collector will function as a secondary renewable energy system and will work independently, giving support to the existing main system consisting of a LPG heater. This work aimed to optimize energy consumption through the solar thermal collector, reducing the use of fossil energy required by the water heater, producing energy and economic savings. For this, the modeling of the collector system was performed, which was analyzed by finite elements through the Ansys software with the thermal analysis module, obtaining as a result that the temperature on the external surface of the copper pipe is 40.39 ° C. Likewise, it was obtained from calculations the internal temperature of the surface of the copper pipe is 40.38 ° C, water temperature at the exit of the same of 26.04 ° C and the performance of the solar thermal collector It reflects 22.8%. In addition, it was determined that this system can maintain an energy saving of 92.24% and an average economic saving of USD 1,23 per month.

Keywords: Sanitary hot water, Optimization, Energy saving, Fossil energy, Renewable energy, Solar collector.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la Carrera de **INGENIERÍA INDUSTRIAL** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS: CUMBAJÍN YANGUICELA DIEGO FERNANDO**, cuyo título versa “**OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA**”, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimare conveniente.

Latacunga, Julio del 2019

Atentamente,

Lic. Mayra Noroña Heredia Mg.
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 0501955470



CENTRO
DE IDIOMAS

ÍNDICE GENERAL

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.....	1
DECLARACION DE AUTORIA.....	i
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iii
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN PARA LA PROPUESTA	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
AVAL DE TRADUCCIÓN	ix
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
1.1. Título del Proyecto	1
1.2. Fecha de Inicio	1
1.3. Fecha de Finalización.....	1
1.4. Lugar de Ejecución.....	1
1.5. Facultad que Auspicia	2
1.6. Carrera que Auspicia	2
1.7. Equipo de Trabajo.....	2
1.8. Área de Conocimiento	2
1.9. Líneas de Investigación de la Carrera.....	2
1.10. Sub líneas de la Investigación de la Carrera.....	2
2. RESUMEN DEL PROYECTO	3
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	4
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	5
4.1. Beneficiarios Directos.....	5
4.2. Beneficiarios Indirectos.....	5

5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	6
6. OBJETIVOS.....	7
6.1. Objetivo General	7
6.2. Objetivos Específicos.....	7
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	8
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA	11
8.1. Conceptos Previos.....	11
8.1.1. Calor	11
8.1.2. Energía Solar	11
8.1.3. Energía Renovable:	11
8.1.4. Eficiencia Energética:.....	11
8.1.5. Radiación Solar.....	12
8.1.5.1. Tipos de Radiación Solar:.....	12
8.1.6. Transferencia de Calor.....	13
8.1.7. Modos de Transferencia de Calor	13
8.1.7.1. Transferencia de Calor por Conducción.....	13
8.1.7.2. Transferencia de Calor por Convección	14
8.1.7.3. Transferencia de Calor por Radiación.....	15
8.1.8. Principio de Termosifón:	16
8.1.9. Colectores Solares:	16
8.1.10. GLP (Gas Licuado de Petróleo).....	17
8.1.11. Definición de Calefón	17
8.1.12. Definición de Steady State Thermal - Ansys.....	17
8.2. Situación Actual Calefón.....	17
8.2.1. Calefón.....	18
8.2.2. Estructura y Partes.....	19

8.2.3.	Tipos de Calefones:	19
8.2.4.	Principio de Funcionamiento de un Calefón	20
8.2.5.	Poder Calorífico	21
8.3.	Sistema más Óptimo para Calentamiento de Agua	21
8.3.1.	Sistema para Calentamiento de Agua para Uso Doméstico en el Ecuador	21
8.3.2.	Sistemas Independientes para ACS en el Ecuador	22
8.3.3.	Análisis del Sistema a GLP en el Ecuador	23
8.3.4.	Evaluación de Sistemas Empleados en Ecuador para Calentamiento de Agua	23
8.3.5.	Viabilidad Estratégica del Aprovechamiento de Energía Solar en el Ecuador	24
8.3.6.	Tabla Comparativa de Diferentes Paneles Solares	25
8.3.7.	Desarrollo Energético Sostenible	26
8.3.8.	Tipos de Colectores Solares:	28
8.3.9.	Clasificación Según el Sistema de Instalación	28
8.4.	Colector Solar de Placa Plana	28
8.4.1.	Funcionamiento de los Colectores Solares Planos	29
8.4.1.1.	Colector (Panel)	30
8.4.1.2.	Contenedor (Tanque)	30
8.4.1.3.	Sistema de tuberías	30
8.4.1.4.	Substancia del Trabajo	30
8.5.	Principios para un Calentador Solar:	30
8.6.	Diseño del Colector Solar Plano	31
8.7.	Sistema de Calentamiento de Agua	32
8.7.1.	Diseño y dimensionamiento del panel solar	33
8.8.	Análisis Térmico de Estado Estable (Steady State Thermal)	34
8.8.1.	Antecedentes	34
8.8.2.	Aplicaciones	34
8.8.3.	Ansys Thermal CFD (Dinámica de Fluidos Computacional)	36

8.8.4.	Ansys Steady State Thermal	36
8.8.4.1.	Procedimiento	37
8.8.4.2.	Parámetros de Ansys Steady State Thermal	37
8.9.	Datos Técnicos Climatológicos de la Ciudad de Estudio	37
8.10.	Inclinación del Panel	38
9.	PREGUNTA CIENTÍFICA O HIPÓTESIS	39
10.	METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL	39
10.1.	Enfoque	39
10.2.	Modalidad Básica de la Investigación	39
10.2.1.	Bibliográfica	40
10.2.2.	Experimental	40
10.3.	Tipo de Investigación	40
10.3.1.	Exploratorio	40
10.3.2.	Descriptivo	40
10.4.	Diseño Experimental	40
10.4.1.	Diagramas de Flujo del Sistema de ACS	40
10.4.2.	Dimensionamiento del Sistema del Panel Solar	41
10.4.2.1.	Demanda Diaria de Consumo de Agua para uso Domestico	41
10.4.2.2.	Demanda Energética	44
10.4.2.3.	Dimensionamiento del Panel Solar	45
10.4.2.4.	Balance de Flujo de Calor en el Vidrio:	46
10.4.2.5.	Balance de Energía en el Vidrio:	46
10.4.2.6.	Resistencia Térmica al Flujo de Calor del Panel Solar	51
10.4.2.7.	Ganancia de Calor del Agua en el Panel Solar	53
10.4.2.8.	Caudal de Agua	54
11.	ANÁLISIS Y DISCUSIONES DE RESULTADOS	58
11.1.	Análisis de Resultados	58

11.2.	Simulación Mediante Modelo Steady State Thermal (Ansys)	58
11.2.1.	Software Empleado.....	58
11.2.2.	Descripción del Panel	58
11.2.3.	Procedimiento de Simulación.....	59
11.2.3.1.	Datos de Ingeniería	60
11.2.3.2.	Geometría.....	60
11.2.3.3.	Mallado.....	61
11.2.4.	Resultados de la Simulación CFD Thermal.....	62
11.3.	Optimización Mediante la Simulación	64
11.3.1.	Temperatura Interna de la Superficie del Tubo.....	66
11.3.2.	Temperatura del Agua a la Salida del Panel:	67
11.3.3.	Requerimiento de una bomba:	72
11.3.4.	Diferencia media logarítmica de temperatura y la razón de la pérdida de calor del agua	75
11.3.5.	Determinación del costo energético de un calentador eléctrico.....	77
11.3.6.	Costo energético de la bomba	78
11.3.7.	Eficiencia del Colector.....	80
11.4.	Determinación del Ahorro de Energía	80
11.5.	Determinación del Ahorro Económico	83
12.	IMPACTOS	86
13.	PRESUPUESTO PARA LA ELABORACION DEL PROYECTO	88
14.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
15.	BIBLIOGRAFÍA	92
ANEXOS	94

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1.- Ubicación del lugar del proyecto	1
Figura 2.- Radiación Solar.....	12
Figura 3.- Transferencia de Calor por Conducción	13
Figura 4.- Fórmula para transferencia de calor por conducción.....	14
Figura 5.- Ley de Conducción de Calor de Fourier	14
Figura 6.- Ley de Conducción de Calor de Fourier	14
Figura 7.- Ley de Newton del Enfriamiento.....	15
Figura 8.- Transferencia de Calor por Radiación	15
Figura 9.- Ley de Stefan-Boltzmann	16
Figura 10.- Calentador de Agua con Termosifón.....	16
Figura 11.- Calefón Comando	18
Figura 12.- Estructura y Partes del Calefón.....	19
Figura 13.- Panel de control	20
Figura 14.- Tipos de vivienda en el Ecuador.....	22
Figura 15.- ACS en los hogares Ecuatorianos.....	22
Figura 16.- Porcentaje de beneficiarios de subsidio al Gas.....	23
Figura 17.- Comparación de paneles solares	25
Figura 18.- Perspectiva internacional	26
Figura 19.- Modelo de energía sostenible	27
Figura 20.- Pilares del desarrollo energético sustentable	27
Figura 21.- Clasificación según el rango de temperaturas	28
Figura 22.- Colector Solar Plano	29
Figura 23.- Funcionamiento de un Colector Solar Plano	29
Figura 24.- Componentes de un SST de Termosifón de Placa Plana.....	31
Figura 25.- Sistema para Calentamiento de uso Residencial	32
Figura 26.- Resultado de Simulación CFD a un nadador.....	35
Figura 27.- Energía solar de onda corta incidente diario promedio	38
Figura 28.- Inclinação de 5°	39
Figura 29.- Tabla para cálculo del número de observaciones	42
Figura 30.- Esquema de Energía Incidentes (Entrada y Salida en el Panel Solar).....	46
Figura 31.- Esquema de Flujo de Calor a través del Panel Solar	51
Figura 32.- Analogía eléctrica a la resistencia al flujo de calor	51

Figura 33.- Resistencia Térmica Total	52
Figura 34.- Transferencia de Calor entre la Placa Cu y Tubería (Vista Trasversal)	53
Figura 35.- Transferencia de calor entre la Placa Cu y Tubería (Vista Frontal)	53
Figura 36.- Esquema de recorrido de Tubería en el Panel Solar	54
Figura 37.- Representación del Corte A-A (Fig.25).....	55
Figura 38.- Vista en representación a un corte superior de la tubería Cu	55
Figura 39.- Modelo del Panel a Analizar.....	58
Figura 40.- Principio de Funcionamiento de Agua Caliente Solar.....	59
Figura 41.- Engineering Date	60
Figura 42.- Geometry	60
Figura 43.- Model.....	61
Figura 44.- Características de la malla por default.....	61
Figura 45.- Preparación (Steady - State Termal).....	62
Figura 46.- Vista Fontal de la tubería.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Beneficiarios del Proyecto	5
Tabla 2.- Actividades de los Objetivos Planteados	8
Tabla 3.- Características del calefón actual	18
Tabla 4.- Tabla comparativa de ventajas y desventajas de los colectores solares	25
Tabla 5.- Tiempo de apertura del grifo durante el proceso de lavado (5 muestras)	41
Tabla 6.- Tiempo de apertura del grifo durante el proceso de lavado	43
Tabla 7.- Propiedades termo físicas del aire a presión atmosférica.....	49
Tabla 8.- Números de Nusselt y factores de fricción para flujo laminar completamente desarrollado en tubos.....	56
Tabla 9.- Propiedades termo físicas de agua saturada	57
Tabla 10.- Dimensiones del intercambiador de calor	59
Tabla 11.- Temperatura de la Tubería (Valores Escalares)	63
Tabla 12.- Flujo de Calor Total (Valores Escalares)	63
Tabla 13.- Temperatura de la tubería optimizada (Valores Escalares).....	65
Tabla 14.- Flujo de Calor Total Optimizado (Valores Escalares)	65

Tabla 15.- Propiedades de Agua Saturada.....	69
Tabla 16.- Propiedades de Agua Saturada.....	71
Tabla 17.- Propiedades de Agua Saturada.....	76
Tabla 18.- Características técnicas de la bomba.....	79
Tabla 19.- Comparación energética del Colector Solar y GLP	81
Tabla 20.- Promedio de la comparación energética.....	81
Tabla 21.- Comparación económica del colector solar	84
Tabla 22.- Comparación económica del calefón	85
Tabla 23.- Comparación mensual económica del ahorro del colector y gasto del calefón	85
Tabla 24.- Promedio de la comparación económica.....	86
Tabla 25.- Presupuesto.....	88

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.- Ecuación para la demanda.....	41
Ecuación 2.- Demanda Energética.....	44
Ecuación 3.- Densidad de Agua.....	44
Ecuación 4.- Área de Captación	45
Ecuación 5.- Balance de energía en el vidrio (q'' transmisión)	46
Ecuación 6.- Balance de energía en el vidrio (q'' radiación)	46
Ecuación 7.- Temperatura del vidrio superior	47
Ecuación 8.- Ecuación de energía en el vidrio (q convección).....	47
Ecuación 9.- Número de Nusselt (h).....	48
Ecuación 10.- Número de Nusselt	48
Ecuación 11.- Resistencia térmica total.....	52
Ecuación 12.- Temperatura media del fluido en la salida del tubo	55
Ecuación 13.- Ecuación de Nusselt	56
Ecuación 14.- Ecuación para la conducción cilíndrica.....	66
Ecuación 15.- Temperatura media del fluido en la salida del tubo	67
Ecuación 16.- Media Logarítmica (Variación de temperatura entrada y salida)	68
Ecuación 17.- Media Logarítmica (Logaritmo natural).....	68
Ecuación 18.- Factor de Fricción.....	72

Ecuación 19.- Formula de Reynolds.....	72
Ecuación 20.- Velocidad Promedio	73
Ecuación 21.- Media Logarítmica de Temperatura	75
Ecuación 22.- Tasa de ingreso de calor al agua.....	76
Ecuación 23.- Energía Total	77
Ecuación 24.- Consumo energético	79
Ecuación 25.- Eficiencia del Colector	80

1. INFORMACIÓN GENERAL

1.1. Título del Proyecto

OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA

1.2. Fecha de Inicio

- 4 de Octubre del 2018, Segundo ciclo académico del 2018 (Octubre 2018 – Febrero 2019)

1.3. Fecha de Finalización

- Agosto 2019, Primer ciclo académico del 2019 (Marzo – Agosto 2019)

1.4. Lugar de Ejecución

El proyecto se realizará en la siguiente ubicación:

- Calle Simón Bolívar, Barrio Culala Bajo - Parroquia de Machachi - Cantón Mejía - Provincia de Pichincha - Zona 2

El presente proyecto será para la Peladora de Pollos “Chicken Farm”, lo cual se ejecutará en el comedor de dicho lugar (Anexo1).

Figura 1.- Ubicación del lugar del proyecto



Fuente: Google Maps (2018)

1.5. Facultad que Auspicia

- Facultad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA)

1.6. Carrera que Auspicia

- Ingeniería Industrial

1.7. Equipo de Trabajo

- Tutor: Ing. M.Sc. Freddy Eduardo Quinchimbla Pisuña
Correo: freddy.quinchimbla@utc.edu.ec
- Investigador: Cumbajín Yanguicela Diego Fernando
Correo: diego.cumbajin0@utc.edu.ec

1.8. Área de Conocimiento

- Ingeniería, Industria y Construcción

1.9. Líneas de Investigación de la Carrera

- Carrera: Ingeniería Industrial
- Línea: Optimización de procesos productivos

1.10. Sub líneas de la Investigación de la Carrera

Sub líneas / Problemas profesionales a los que apuntan las líneas de investigación:
Optimización de los procesos productivos.

2. RESUMEN DEL PROYECTO

La microempresa “Chicken Farm” ubicada en la ciudad de Machachi, cantón Mejía, Provincia de Pichincha, realiza actividades de desplume de pollos. La empresa cuenta con un comedor diario, con un sistema de agua calentada mediante un calefón que funciona con gas licuado de petróleo – butano (GLP). La demanda energética al utilizarse constantemente es elevada, por tanto es necesario el requerimiento de agua caliente sanitaria (ACS). Se analiza el diseño y dimensionamiento de un sistema de calentamiento de agua con un colector solar térmico que está conformado por su tanque de almacenamiento y el panel solar térmico, este colector funcionará como un sistema secundario de energía renovable y trabajará de forma independiente, dando apoyo al sistema principal existente constituido por un calefón de GLP. El objetivo del presente trabajo es optimizar el consumo energético mediante el colector solar térmico, reduciendo el uso de energía fósil requerida por el calefón, produciendo un ahorro energético y económico. Para ello se realizó el modelamiento del sistema del colector el cual fue analizado mediante elementos finitos a través del software Ansys con el módulo de análisis térmico, obteniendo como resultado que la temperatura en la superficie externa de la tubería de cobre es de $40,39^{\circ}\text{C}$. Así mismo, se obtuvo a partir de cálculos la temperatura interna de la superficie de la tubería de cobre es de $40,38^{\circ}\text{C}$, temperatura del agua a la salida de la misma de $26,04^{\circ}\text{C}$ y el rendimiento del colector solar térmico refleja un 22,8%. Además se determinó que este sistema puede mantener un ahorro energético de 92,24% y un ahorro económico promedio de 1,23 USD mensual.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto propone un sistema de calentamiento solar de agua para uso doméstico de la Peladora de Pollos “Chicken Farm”, el cual ayudara al sistema principal de calentamiento de agua, siendo este un sistema secundario, para lo cual ayudara a reducir el requerimiento de energía y por ende reduciendo el costo mensual de energía (Gas – GLP).

La salud de la persona que labora diariamente realizando la actividad de la cocina se mantendrá normalmente. Con el agua caliente estamos evitando causar un estrés térmico de frio y se está manteniendo la zona de confort; siendo los principales efectos del frio la hipotermia y trastorno musculo-esquelético.

También debido a que este sistema aprovecha la energía solar, se considera una de las energías limpias y de bajo costo, con lo que se reducirá el gasto mensual por consumo de energías alternativas.

Para la redacción nos planteamos las siguientes preguntas:

- **¿Por qué se hace la investigación?**

La presente investigación está enmarcada en el estudio de un sistema que cumpla con los nuevas exigencias y estándares de eficiencia energética, tomando como base la reducción de la energía para el calentamiento de agua, así como la reducción del impacto ambiental; además la economía de la peladora aumentara por la reducción de energía de suministro de agua caliente para uso doméstico en comedores. En el presente proyecto se desarrollará la optimización para la reducción de consumo de energía para calentamiento de agua con un sistema solar como sistema secundario (auxiliar).

- **¿Cuáles serán el aporte?**

Identificar la incidencia solar óptima para obtener la máxima energía solar disponible.

- **¿A quiénes podemos beneficiar?**

Los beneficiados de este proyecto será la Gerenta Propietaria teniendo un beneficio de reducir el requerimiento de energía para el calentamiento del agua.

- **¿Cuál es el impacto y la relevancia?**

El presente proyecto tiene un impacto y una relevancia del bienestar ambiental y económico para la peladora.

- **¿Cuál es la utilidad práctica?**

La utilidad práctica del colector solar plano es reducir el requerimiento de energía del sistema principal para el suministro de agua caliente del comedor de la peladora.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

4.1. Beneficiarios Directos

La Gerente Propietaria de la Peladora de Pollos “Chicken Farm”.

4.2. Beneficiarios Indirectos

Los empleados de la Peladora de Pollos “Chicken Farm” que son 5 personas que trabajan en dicho lugar.

Tabla 1.- Beneficiarios del Proyecto

BENEFICIARIOS DIRECTOS	BENEFICIARIOS INDIRECTOS
<ul style="list-style-type: none"> • Gerente Propietaria (Sra. Marisela Chicaiza) 	<ul style="list-style-type: none"> • Colaboradores de “Chicken Farm” (Concepción Yanguicela, Marcelo Noroña, Cristina Betancourt, Carlos Yanguicela, Gloria Moreno)

Fuente: Autor (2019)

5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Dentro del desarrollo tecnológico e investigación, se han alcanzado grandes adelantos en el área de energías renovables, pero el uso de sistemas energéticos ha ido difundiéndose en la sociedad encontrando sistemas que ofrecen mayor nivel de aceptación siendo esto los calefones, sistemas con un desempeño alto por lo cual tiene una gran aceptación siendo sistemas de gran demanda estos, ofrecen desventajas por lo que usan GLP. Es una fuente de energía no renovable y con impactos ambientales fuertes. Se estima que existe en el país una gran demanda de calefones funcionando con GLP, siendo gran mayoría en la región de la sierra andina ecuatoriana.

Por otra parte, los sistemas con energías renovables, como son los colectores solares presentan ventajas con un mínimo de impacto ambiental, pero también desventajas al ser sistemas inestables debido a una inconstante radiación solar.

Siendo este sistema secundario y de ayuda del calefón, valorando que para su inserción demanda de una alta economía, por lo tanto, provocando que no haya una aceptación a pesar de utilizar energía renovable y alternativa, por lo que se tiene un desconocimiento sobre este tipo de energías.

Con este sistema se mantendría la salud de la persona que labora diariamente en la actividad de la cocina; y se seguirá evitando malestares que se presenta a temperaturas justo por debajo de la zona de confort, causando efectos sobre la salud de una exposición directa al frío, lo que es la hipotermia y trastornos musculoesquelético.

¿Es posible dimensionar un sistema óptimo de paneles solares para la optimización de energía del sistema principal para el calentamiento de agua caliente de la peladora de pollos “Chicken Farm”, ubicado en la ciudad de Machachi de la provincia de Pichincha?

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo General

Optimizar un sistema de suministro de agua caliente asequible para uso doméstico.

6.2. Objetivos Específicos

- Determinar la situación actual del suministro de agua caliente.
- Determinar la variable o indicadora a optimizar.
- Proponer un sistema óptimo de suministro de agua caliente para ayuda del sistema principal de la peladora “Chicken Farm”.
- Elaborar una investigación lo suficientemente clara del colector solar plano para poder entender mejor el funcionamiento.
- Diseñar el sistema de captación de calor solar.
- Desarrollar pruebas de diferentes incidencias solar con el fin de aumentar el proceso de captación de calor.
- Analizar los resultados obtenidos del Software Ansys.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 2.- Actividades de los Objetivos Planteados

OBJETIVO	ACTIVIDADES (TAREAS)	RESULTADO DE LA ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD (TÉCNICAS E INSTRUMENTOS)
1 Determinar la situación actual del suministro de agua caliente.	1.1. Identificar el proceso mediante el cual se obtiene agua caliente.	Identificación del proceso actual de calentamiento de agua.	Se realizará una descripción y detalles del calentador de agua que posee la peladora “Chicken Farm” (Investigativo – Búsqueda, Fotografía).
2 Determinar la variable o indicadora a optimizar.	2.1. Analizar los fundamentos de la variable energía a optimizar.	Variable determinada.	Se determinará la variable a optimizar en el proceso de calentamiento de agua. (Inspección visual).
3 Proponer un sistema óptimo de suministro de agua caliente para ayuda del	3.1. Selección del sistema más óptimo de los calentadores de agua existentes	Sistema óptimo seleccionado.	Se buscará información bibliográfica de los calentadores óptimos y beneficiosos, tanto para la optimización y medio ambiente. (Consultas Bibliográficas - Búsqueda)

<p>sistema principal de la peladora “Chicken Farm”.</p>	<p>en el mercado.</p>		
<p>4 Elaborar una investigación lo suficientemente claro del colector solar plano para poder entender mejor el funcionamiento.</p>	<p>4.1.Desarrollo de una investigación bibliográfica respecto al tema.</p>	<p>Obtener información científica y técnica sobre el colector solar plano.</p>	<p>Se describirá toda la información posible de la operación de un colector solar plano en palabras técnicas y entendibles a los lectores de este proyecto. (Consultas – Búsqueda)</p>
<p>5 Diseñar el sistema de captación de calor solar.</p>	<p>5.1.Diseño de un modelo en 3D del colector solar plano.</p>	<p>Sistema captador de calor modelado en 3D.</p>	<p>Se diseñara el modelo del captador de calor en el software AutoCAD (Fórmulas Matemáticas – AutoCAD 2018).</p>
<p>6 Desarrollar pruebas de diferentes incidencias solares con el fin de aumentar el proceso de</p>	<p>6.1.Realización de diferentes pruebas con distintas incidencias solares del año.</p>	<p>Se obtendrá diferentes resultados de datos de calor de acuerdo al análisis realizado.</p>	<p>Se realizara la simulación con el Software Ansys del colector solar con diferentes incidencias solares del año, para la obtención de diferentes datos y aprovechamiento del mejor de todos. (Simulación – Ansys).</p>

captación de calor.			
<p>7 Analizar los resultados obtenidos del Software Ansys.</p>	<p>7.1.Obtención de datos arrojados por el Software Ansys.</p> <p>7.2.Comparación de los resultados de las diferentes incidencias solares.</p> <p>7.3.Desarrollo de las gráficas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Datos tabulados en una matriz. • Dato de mayor relevancia identificado. • Presentación de las gráficas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se elaborara en una matriz los datos obtenidos de la simulación para tener un mejor entendimiento de los resultados. (Tabulación – Excel) • Una vez comparado las diferentes incidencias solares se elegirá el más eficiente y óptimo para el proyecto. (Diagrama circular – Word) • Basándonos en los resultados obtenidos del modelado se realizara una presentación de las gráficas. (Modelado – Word)

Fuente: Autor (2019)

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

8.1. Conceptos Previos

8.1.1. Calor

El calor es una forma de energía cinética que se considera como la manifestación del movimiento molecular en la masa de una sustancia sólida, líquida o gaseosa. De acuerdo con (Holman, Valenzuela M, & Raúl, 1986)

“Se le denomina calor a la energía de tránsito que se reconoce solo cuando este está en constante movimiento”

8.1.2. Energía Solar

El término energía solar se refiere al aprovechamiento de la energía que proviene del Sol. Se trata de un tipo de energía renovable. De acuerdo con (Posso, s. f.)

“La energía solar es una energía renovable, la cual se produce de la radiación electromagnética del sol”

8.1.3. Energía Renovable:

La energía renovable se puede obtener de fuentes naturales y es inagotable. De acuerdo a (Méndez, 2012)

“La noción de energía renovable hace mención al tipo de energía que puede obtenerse de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya que contienen una inmensa cantidad de energía o pueden regenerarse naturalmente.”

8.1.4. Eficiencia Energética:

La eficiencia energética es el uso eficiente de la energía, de esta manera se optimiza los procesos productivos y el empleo de la energía utilizando lo mismo o menos para producir más bienes y servicios. De acuerdo a (MEER, 2018):

“La Eficiencia Energética se define como el aprovechamiento óptimo de la energía y ello no implica renunciar a la calidad de vida sino obtener los mismos bienes, servicios y realizar las mismas actividades sin desperdiciarla.”

8.1.5. Radiación Solar

La radiación solar es la energía radiante emitida en el espacio interplanetario del Sol. De acuerdo con (Posso, s. f.)

“Esta energía tiene un recurso energético terrestre, lo cual está constituida por una porción de luz que emite el sol y que es insertada por la tierra”

8.1.5.1. Tipos de Radiación Solar:

En función cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir los siguientes tipos de radiación.

- **Radiación Directa:** Es aquella que llega directamente del sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección.
- **Radiación Difusa:** Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbidas por ellas. Esta radiación se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no solo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo.
- **Radiación Reflejada:** Es aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie también llamado albedo.
- **Radiación Global:** La radiación global es la suma de las tres radiaciones.

Figura 2.- Radiación Solar



Fuente: Meteorología en Red (2016)

8.1.6. Transferencia de Calor

La transferencia de calor es parte de la ciencia que se ocupa del análisis de la tasa de transferencia de energía que puede ocurrir entre los cuerpos materiales, como resultado de una diferencia de temperaturas. (Bólvivar Torres & Leonidivna Naidiuk, 2018)

Esta ciencia puede predecir:

- Cómo la energía calórica puede ser transferida.
- La rapidez a la que se realiza este intercambio bajo ciertas condiciones específicas.
- Las temperaturas en función del tiempo.

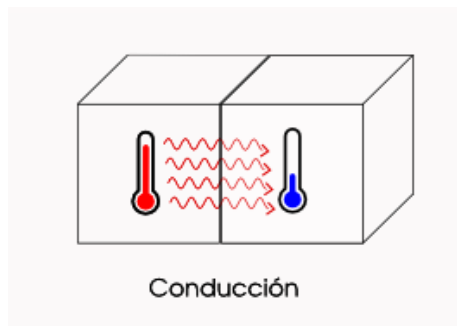
8.1.7. Modos de Transferencia de Calor

Se reconoce tres modos distintos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación.

8.1.7.1. Transferencia de Calor por Conducción

Es la transferencia de calor que se produce a través de un medio material, por contacto directo entre sus partículas. Cuando en un medio sólido existe un gradiente de temperatura, el calor se transmite de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura. (Universidad Nacional Experimental del Táchira, 2016)

Figura 3.- Transferencia de Calor por Conducción



Fuente: (Universidad Nacional Experimental del Táchira, 2016)

El calor transmitido por conducción por unidad de tiempo q_k es proporcional al gradiente de temperatura $\frac{dT}{dx}$ multiplicado por el área A a través del cual se transfiere es decir

Figura 4.- Fórmula para transferencia de calor por conducción

$$q_k \propto A \frac{dT}{dx}$$

Fuente: (Universidad Nacional Experimental del Táchira, 2016)

Donde:

- T: temperatura
- x: dirección del flujo de calor

El flujo de calor depende de la conductividad térmica k que es la propiedad física del medio $[\frac{W}{M \cdot k}]$, luego se tiene

Figura 5.- Ley de Conducción de Calor de Fourier

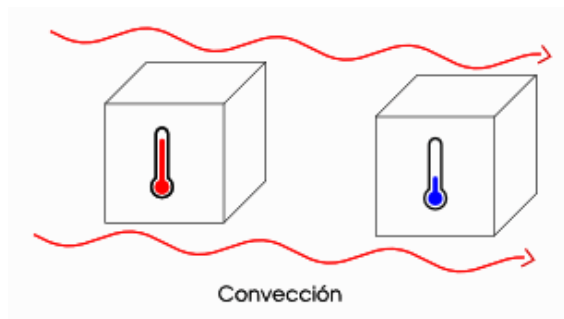
$$q_k = -kA \frac{dT}{dx}$$

Fuente: (Universidad Nacional Experimental del Táchira, 2016)

8.1.7.2. Transferencia de Calor por Convección

Cuando un fluido se pone en contacto con una superficie sólida a una temperatura distinta, el proceso resultante de intercambio de energía térmica se denomina transferencia de calor por convección. Hay dos tipos de procesos de convección: convección libre o natural y convección forzada. (Universidad Nacional Experimental del Táchira, 2016)

Figura 6.- Ley de Conducción de Calor de Fourier



Fuente: (Universidad Nacional Experimental del Táchira, 2016)

- **Convección libre:** la fuerza motriz procede de la diferencia de densidad en el fluido que resulta del contacto con una superficie a diferente temperatura y da lugar a fuerzas ascensionales.

- **Convección forzada:** una fuerza motriz exterior mueve un fluido sobre una superficie a una temperatura mayor o inferior que la del fluido. Para una u otra forma de transferencia de calor por convección, la cantidad de calor es

Figura 7.- Ley de Newton del Enfriamiento

$$q_c = \bar{h}_c A (T_s - T_f, \infty)$$

Fuente: (Universidad Nacional Experimental del Táchira, 2016)

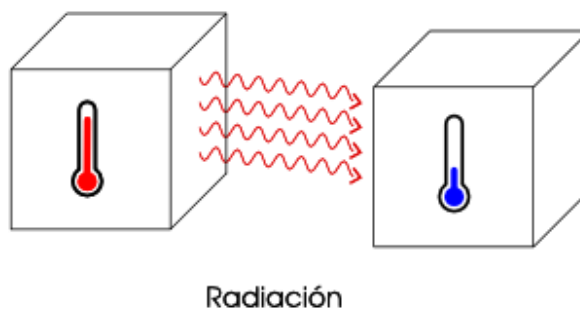
Donde:

- \bar{h}_c Transferencia de calor por convección en la interface líquido-sólido.
- A área superficial en contacto con el fluido en m²
- T_s Temperatura de la superficie, K
- $T_f \infty$ Temperatura del fluido no perturbado lejos de la superficie transmisora del calor

8.1.7.3. Transferencia de Calor por Radiación

Por radiación la energía se transporta en forma de ondas electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz. La cantidad de energía que abandona una superficie en forma de calor radiante depende de la temperatura absoluta y de la naturaleza de la superficie. Un radiador perfecto o cuerpo negro emite una cantidad de energía radiante de su superficie por unidad de tiempo q_r dada por la ecuación

Figura 8.- Transferencia de Calor por Radiación



Fuente: (Universidad Nacional Experimental del Táchira, 2016)

Figura 9.- Ley de Stefan-Boltzmann

$$q_r = \sigma AT^4$$

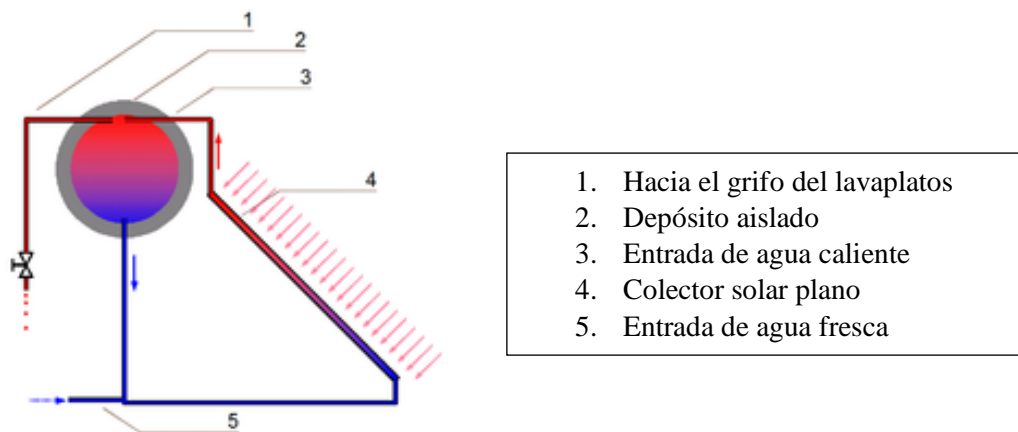
Fuente: (Universidad Nacional Experimental del Táchira, 2016)

8.1.8. Principio de Termosifón:

El termo sifón, es un fenómeno básico porque al calentar sus fluidos se dilata y por lógica razón disminuye la densidad. De acuerdo con (Carlos, 2015)

“Es un fenómeno que se produce en los fluidos cuando se calientan. Las sustancias, al calentarse se dilatan y entonces disminuye su densidad. Si se considera la masa de un fluido, la porción más caliente tiene menos densidad, de modo que asciende sobre la porción de fluido más fría. Este efecto es el responsable de muchos otros, como el del intercambio de calor por convección.”

Figura 10.- Calentador de Agua con Termosifón



Fuente: Nergiza (2015)

8.1.9. Colectores Solares:

Son un sistema de calentamiento de agua por medio del calor, recibida de la energía solar. De acuerdo a (MEER, 2018)

“Los colectores solares son uno de los sistemas más usados para el calentamiento de agua ya que este dispositivo capta casi toda la energía del sol convirtiéndola en energía térmica con poca pérdida de calor, gracias a sus materiales con las que están diseñadas.”

8.1.10. GLP (Gas Licuado de Petróleo)

Los Gases Licuados del Petróleo se obtienen en el primer paso del proceso de refinado del petróleo o también pueden encontrarse formando parte del gas natural (derivado del petróleo). De acuerdo a (Selectra, 2018)

“Se puede decir que los GLP son un producto de petróleo formador por las distintas mezclas del gas propano y butano”

8.1.11. Definición de Calefón

Es un dispositivo termodinámico que utiliza energía para elevar la temperatura del agua. De acuerdo a (Selectra, 2018)

Es un dispositivo que calienta agua a base de GAS, procedente esta energía del GLP.

8.1.12. Definición de Steady State Thermal - Ansys

Los efectos del calor y la gestión térmica de las estructuras son cada vez más críticos, ya que los límites de rendimiento se ven impulsados por la necesidad de tener diseños más ligeros, más pequeños y más eficientes. Las cargas de convección, radiación y conducción son obvias, pero la necesidad de incluir el efecto de las pérdidas de energía y la energía térmica de la fricción y las fuentes externas, como los flujos de tuberías, significa que los analistas deben tener más herramientas a su disposición para simular los modelos térmicos con precisión. (Ansys - Thermal, EN LÍNEA)

“Es un software que contiene amplias capacidades de modelado físico para moldear el flujo, la turbulencia y la transferencia de calor”

8.2. Situación Actual Calefón

La peladora de pollos “Chicken Farm” cuenta en su comedor con un sistema de calentamiento de agua a base de un calefón, siendo este el sistema principal (Anexo 2).

Tabla 3.- Características del calefón actual

Nombre	Calefón Comando
Modelo	KS20-10AP
Carga térmica	20KW
Capacidad	20 litros/minuto
Tipo de Gas	Licuido (Propano y Butano)

Fuente: Orbis (2019)

Figura 11.- Calefón Comando

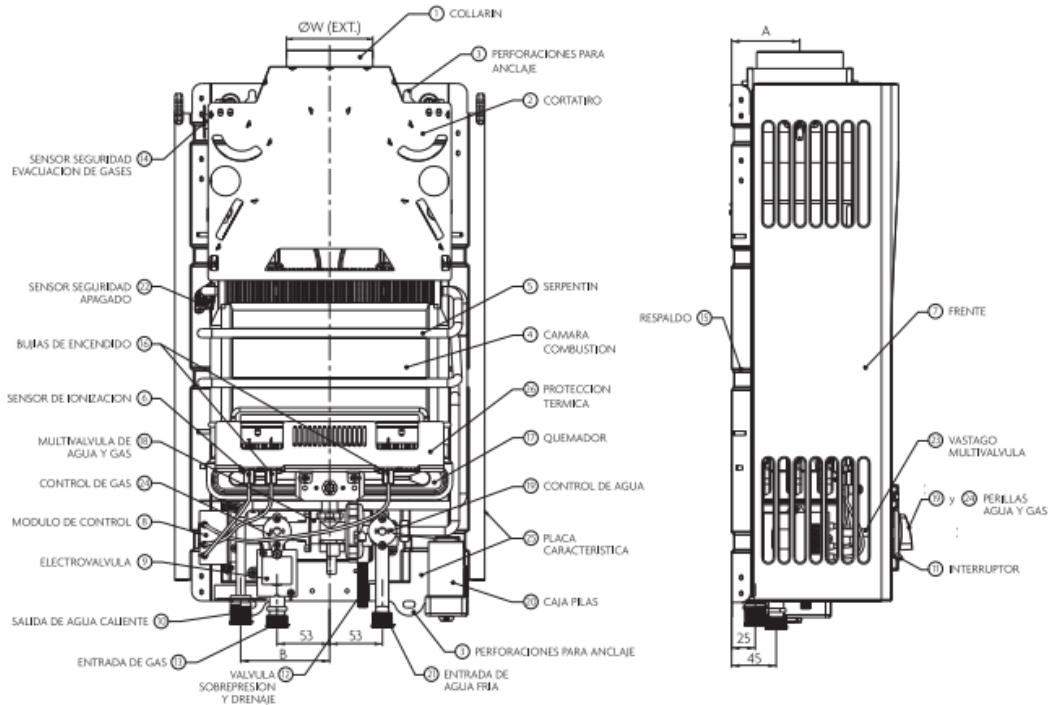
Fuente: Autor (2019)

8.2.1. Calefón

Un calefón es un dispositivo termodinámico que utiliza energía para elevar la temperatura del agua. Entre los usos domésticos y comerciales del agua caliente están la limpieza, las duchas, para cocinar o la calefacción. A nivel industrial los usos son muy variados tanto para el agua caliente como para el vapor de agua. (Peñañiel Saraguro & Silva Manzano, 2012)

8.2.2. Estructura y Partes

Figura 12.- Estructura y Partes del Calefón



Fuente: Orbis (2019)

8.2.3. Tipos de Calefones:

Los calefactores instantáneos de gas se clasifican según la cámara de combustión y sus potencias:

De acuerdo a la cámara de combustión:

- **Calefón tiro natural:** Es un calefón de cámara abierta que consume oxígeno del interior y larga el monóxido de carbono al exterior.
- **Calefón tiro balanceado:** Es un calefón de cámara estanca que consume oxígeno y larga monóxido de carbono al exterior.

De acuerdo a sus potencias:

- **Pequeños:** denominados calienta-aguas, de potencia igual o inferior a 125 Kcal/min, adecuados para un solo punto de agua. Pero no son adecuados para baños. Pueden suministrar un caudal máximo de 5 l/min a 40 °C o bien, 2,5 l/min a 60°C.
- **Medianos:** denominados calienta-baños, de potencia útil superior a 125 kcal/min e inferior a 400 kcal/min. Pueden servir agua caliente a una instalación media de un

baño norma, un fregadero, un bidé o una lavadora, pudiendo ofrecer un caudal máximo de 10 l/min a 40°C, o bien 5 l/min, a 65°C.

- **Grandes:** con una potencia útil superior a 400 kcal/min que sirven para distribuciones completas de viviendas con más de un cuarto de baño. Necesitan una presión mínima del agua 5 m.c.a. (metro de columna de agua), por bajo de la cual la válvula del gas no se abre y el calentador no funciona.

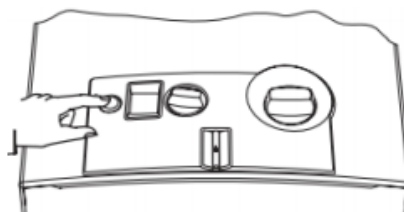
8.2.4. Principio de Funcionamiento de un Calefón

Para que el calefón funcione con una debida presión, debe haber como mínimo 2,20 m desde la base del tanque y la camilla más cercana. Además para graduar la temperatura del agua, lo correcto es bajando la intensidad de la llama a través de la perilla central del calefón, de lo contrario estará consumiendo excesiva cantidad de gas y también acorta la vida útil de la camisa del calefón. (Peñañiel Saraguro & Silva Manzano, 2012)

Es muy fácil la puesta en marcha del calefón, ya que el mismo está equipado con ignición electrónica. Para tal fin seguiremos los siguientes pasos:

- Introducir las dos baterías LR 20 de 1,5 V en la caja que posee el calefón para dicho fin.
- Abrir la llave del gas y la llave del agua.
- Conectar el interruptor, tal como se muestra en la figura siguiente.

Figura 13.- Panel de control



Fuente: Bosch (2018)

Después de este procedimiento abrir el grifo de agua, lo cual provoca el encendido, enciende primero el quemador piloto, después el quemador principal, el quemador piloto se apaga cerca de diez segundos después.

De este modo se obtiene un ahorro energético considerable ya que el quemador piloto funciona el tiempo mínimo necesario hasta la ignición del quemador principal.

- Control de la potencia:
 - Agua menos caliente. Disminuye la potencia máxima.
 - Agua más caliente. Aumenta la potencia máxima.
- Regulación de la temperatura/caudal:

Esto se consigue girando la perilla según la necesidad, así:

- Si se aumenta el caudal, disminuye la temperatura.
- Si disminuye el caudal, aumenta la temperatura.

El calor que desprenden los quemadores, una vez encendidos, es absorbido por el agua que circula por el serpentín, calentándose esta de una manera continua, según va saliendo para el consumo.

8.2.5. Poder Calorífico

Según lo que establece la norma NTE INEN 2187, los calefones tienen un rendimiento convencional que varía de acuerdo al poder calorífico del GLP (Propano comercial), es decir, que el poder calorífico inferior (P.C.I) es 11.082 Kcal/Kg y el poder calorífico superior (P.C.S) es 12.052 Kcal/Kg. (Selectra, 2018)

8.3. Sistema más Óptimo para Calentamiento de Agua

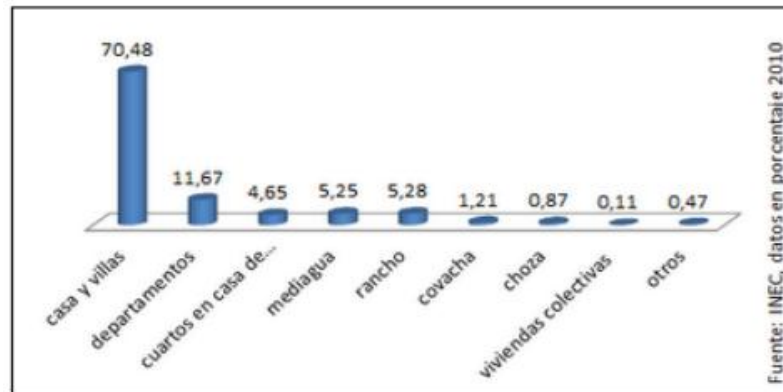
Para la implementación de un sistema auxiliar de calentamiento de agua, se elige el más óptimo, tanto en energía como en beneficio al medio ambiente. De acuerdo a (Peñañiel Saraguro & Silva Manzano, 2012)

8.3.1. Sistema para Calentamiento de Agua para Uso Doméstico en el Ecuador

El último censo realizado el 28 de noviembre del 2010, nos dice que en Ecuador hay 4 654054 viviendas de las cuales el 94,77% dispone de energía eléctrica, el 73,7% dispone de agua mediante tuberías, el 55,2% de eliminación de excrementos, el 66,5% dispone de teléfono, el 68,89% tiene el piso de sus viviendas con bloques de ladrillo (los otros porcentajes restantes de otros materiales). El 60,09% dispone de duchas, etc. Los tipos de

viviendas más comunes en el país son: casa y villas, departamentos, cuartos en casa de inquilinato, mediagua, rancho, covacha, choza, viviendas colectivas y otros.

Figura 14.- Tipos de vivienda en el Ecuador

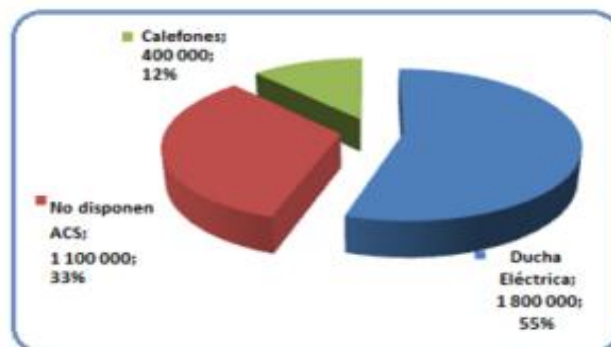


Fuente: INEC (2010)

8.3.2. Sistemas Independientes para ACS en el Ecuador

Ecuador cuenta con importantes recursos energéticos renovables y no renovables, entre los que se destacan el solar e hídrico, por el gran potencial que presentan y, el petróleo, por ser actualmente la principal fuente de ingresos de divisas del país. El balance de energía disponible elaborado por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), muestra que el consumo de energía “no comercial” (leña, residuos vegetales, entre otros) representó alrededor del 4% del consumo final de energía; sin embargo, los requerimientos energéticos del país son abastecidos mayoritariamente por hidrocarburos fósiles, los que suplieron el 82% de la demanda de energía, mientras que los consumos de electricidad y otros (no energéticos) correspondieron a 11% y 3%, respectivamente.

Figura 15.- ACS en los hogares Ecuatorianos



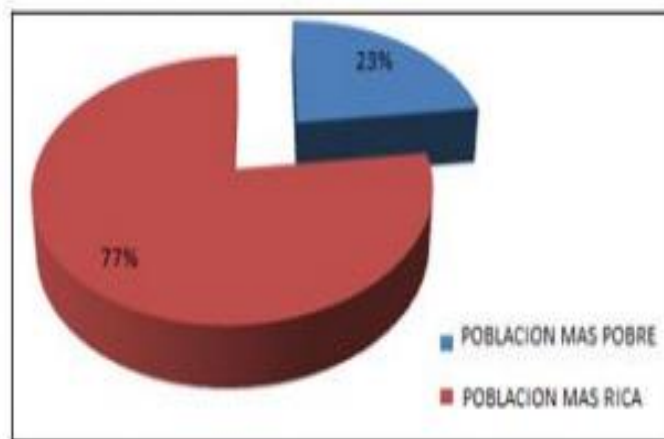
Fuente: MEER (2010)

8.3.3. Análisis del Sistema a GLP en el Ecuador

Se estima que en el Ecuador existen unos 400 mil sistemas de agua caliente sanitaria funcionando con GLP, con un consumo promedio que varía de 1,4 a 2 bombonas de 15 kg al mes por familia, los principales usuarios están en las provincias de la sierra y principalmente en los hogares de mayor ingreso económico. El GLP es un combustible subvencionado por el estado ecuatoriano con fines de cocción, el cual es importado con un precio mayor a 90 centavos de dólar por kilogramo y vendido al público por 11 centavos de dólar el kilogramo.

Se considera que el tener ACS es una necesidad latente en los hogares que aún carecen de este sistema y que tan pronto aumenta su capacidad adquisitiva aumenta también la probabilidad de dotarse de este recurso, esto significa que los consumos de GLP tienden a aumentar con el crecimiento del PIB.

Figura 16.- Porcentaje de beneficiarios de subsidio al Gas



Fuente: MEER (2010)

8.3.4. Evaluación de Sistemas Empleados en Ecuador para Calentamiento de Agua

- El sistema de calentamiento de agua para uso residencial por colectores solares muestra un problema general que es inestable debido a la variación de radiación solar durante el día y a condiciones de demanda y entorno.
- El sistema eléctrico a través de duchas tiene un costo de consumo alto debido a que poseen una potencia mínima de 4 kW-h.
- El sistema a gas, calefones representan un gasto exagerado para el estado debido a que el GLP es financiado en gran parte por este.
- El costo del equipo e instalación para el sistema solar es el más costoso, a diferencia de una ducha eléctrica que es muy barata, y el calefón tiene un costo accesible.

En tendencias de tecnologías de fuentes de energía renovable en el Ecuador. El cambio climático, el pico (o cénit) petrolero y la seguridad energética son las tendencias mundiales que empiezan a marcar el ritmo de la transición energética requerida para abastecer a la creciente demanda de energía mundial al tiempo que se abandona aquella que ha sido la principal fuente de energía hasta la actualidad que son combustibles fósiles.

Ante este reto, las tecnologías de fuentes de energía renovable están recibiendo fuertes incentivos y estímulos de desarrollo a nivel global. Esto ha permitido que varias de ellas se vuelvan competitivas ante alternativas tradicionales de generación energética y empiecen a tener un despliegue y uso comercial.

De hecho, los últimos 25 años de inversión en fuentes de energía renovable han permitido reducciones de costos en valores del 40% en tecnologías relacionadas con biomasa, del 70% en geotermia y del 90% en energías eólica, solar fotovoltaica y solar térmica. Por ello, es importante interpretar el estado de las tendencias globales en desarrollo y difusión de las tecnologías de fuentes de energía renovable. (Peñañiel Saraguro & Silva Manzano, 2012)

8.3.5. Viabilidad Estratégica del Aprovechamiento de Energía Solar en el Ecuador

En energía solar existe una amplia gama de tecnologías para usos de calefacción, iluminación, electricidad, combustibles, entre otros. Estas tecnologías presentan diversos grados de madurez y desarrollo. Entre las tecnologías solares, las más competitivas en precios respecto a fuentes tradicionales de energía son los sistemas solares térmicos para calefacción o calentamiento de agua.

La tendencia es que los sistemas solares activos de paneles térmicos y paneles PV sean componentes esenciales de todos los techos de hogares y edificios. Inclusive serán incorporados en los hogares y edificios desde su diseño y construcción. Su desarrollo es más reciente y también tiene potencial en mejoras del diseño y en las economías de escala resultado de su producción en masa. Los avances tecnológicos y de mercado proyectan reducciones del 30 al 40% para 2020. (Peñañiel Saraguro & Silva Manzano, 2012)

8.3.6. Tabla Comparativa de Diferentes Paneles Solares

En la siguiente tabla se compara el rendimiento de los distintos paneles solares:

Figura 17.- Comparación de paneles solares

	PANEL SOLAR TÉRMICO			
	CAPTADORES DE AGUA			CAPTADORES DE AIRE
	NO VIDRIADOS MOQUETA	PLANOS	DE VACÍO	
Producción eléctrica	-	-	-	-
Calentar agua sanitaria	*	***	***	-
Calentar un espacio	*	***	***	***
Calentar el agua de la piscina	***	*	*	*
Vida útil	De 7 a 12 años			

Fuente: (Carlos, 2015)

Tabla 4.- Tabla comparativa de ventajas y desventajas de los colectores solares

TABLA COMPARATIVA DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS COLECTORES SOLARES		
VENTAJAS	Colector Plano	Tubos al vacío
Su sistema interno de calentamiento es de cobre	X	
Se ensambla en pocos minutos	X	
El panel y el tanque pueden estar separado el uno del otro por poca distancia	X	
El único mantenimiento que requiere es de limpieza y este se le puede dar con una gran facilidad	X	
Bajo costo de adquisición	X	
Estéticamente muy impresionante		X
Mayor tiempo de absorción durante el día		X
No le afectan las temperaturas heladas		X
DESVENTAJAS		
Tiene una gran fragilidad		X
Por su estructura plana capta radiación menos horas	X	
Poco tiempo de vida útil comparado con el de placa plana		X
Si llega a faltar agua y se caliente el tubo y con llenados nuevamente con agua fría, sufren una ruptura llamado choque térmico		X

Estructuralmente son muy débiles				X	
Tiempo de armado aproximadamente de 2 horas				X	
Las limpieza debe ser a horas sin sol, ya porque puede sufrir un choque térmico.				X	
TOTAL VENTAJAS		Plano	5	Vacío	3
TOTAL DESVENTAJAS		Plano	1	Vacío	5

Fuente: Autor (2019)

8.3.7. Desarrollo Energético Sostenible

La sostenibilidad energética o también llamada sustentabilidad energética es definida por el WorldEnergy Council - WEC, como el equilibrio entre tres dimensiones principales, la seguridad energética, la equidad social, y la mitigación del impacto ambiental.

Figura 18.- Perspectiva internacional



Fuente: OLADE (2016)

Como conclusión el desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer las capacidades de las generaciones futuras de satisfacer las suyas (Brundtland, 1987).

Figura 19.- Modelo de energía sostenible



Fuente: OLADE (2016)

En este contexto la transformación completa de la forma de producir, transportar y consumir energía involucra un modelo de desarrollo energético sostenible como se indica en la figura.

Figura 20.- Pilares del desarrollo energético sustentable



Fuente: Matriz energética del Ecuador (2016)

8.3.8. Tipos de Colectores Solares:

Según el rango de temperaturas de trabajo:

Figura 21.- Clasificación según el rango de temperaturas



Fuente: Heber E. Carmona Espinoza, TSU en Energías Renovables. Sigma Solar (2017)

8.3.9. Clasificación Según el Sistema de Instalación

Para nuestra investigación se utilizará el sistema de Termosifón:

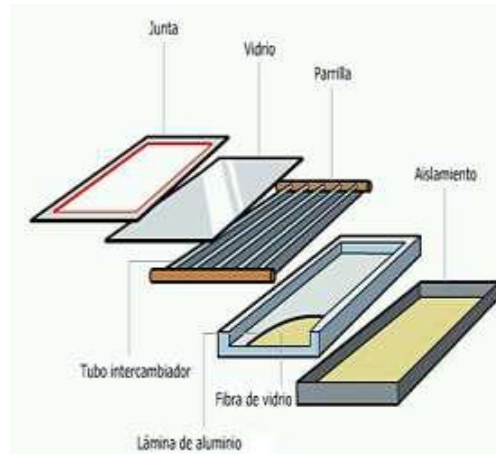
- Simplifica la instalación al eliminar el grupo de control. La circulación del fluido calor portador se produce por un efecto natural (termosifón)
- Son posibles sistemas abiertos(directos) o cerrados(indirectos)
- Disponibles en depósitos de aluminio o vitrificado y en depósitos cuadrados o redondos

8.4. Colector Solar de Placa Plana

Un captador solar plano es el tipo más habitual de colector solar. Es un dispositivo que sirve para aprovechar la energía de la radiación solar, transformándola en energía térmica de baja temperatura para usos domésticos o comerciales, calefacción, agua caliente y climatización de piscinas, fundamentalmente. Es el componente principal de un calentador solar. (MEER, 2018)

También son los más utilizados por tener la relación coste-producción de calor más favorable. En ellos, el captador se ubica en una caja rectangular, cuyas dimensiones habituales oscilan entre los 80 y 120cm de ancho, los 150 y 200cm de largo, y los 5 y 10cm de espesor (si bien existen modelos más grandes). La cara expuesta al sol está cubierta por un vidrio muy fino, mientras que las cinco caras restantes son opacas y están aisladas térmicamente.

Figura 22.- Colector Solar Plano

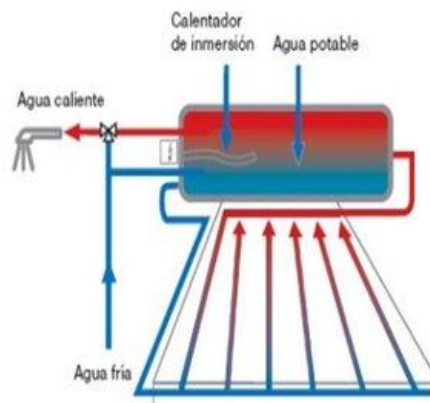


Fuente: CLEANERGY SOLAR - Energía Solar Térmica (2017)

8.4.1. Funcionamiento de los Colectores Solares Planos

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: deja pasar fundamentalmente la luz visible, y es menos transparente a las ondas infrarrojas de menor energía.

Figura 23.- Funcionamiento de un Colector Solar Plano



Fuente: (Renovable, 2017)

8.4.1.1. Colector (Panel)

También llamado captador solar o panel termo-solar. Es el componente que se encarga de transferir la energía solar al agua. Consiste en un arreglo de tuberías o conductos por donde fluye el agua.

8.4.1.2. Contenedor (Tanque)

Es el recipiente del almacenamiento del fluido, se conecta con la entrada y la salida del colector. Durante el día, el agua se recircula una y otra vez entre el colector y el contenedor gracias al principio de termosifón.

Después de un tiempo y dependiendo de las dimensiones de los componentes, el agua se calentará para su uso posterior. La energía capturada en el colector se guarda en el tanque en forma de agua caliente.

En el momento de requerir agua caliente, se extrae del tanque y se rellena con agua fría.

8.4.1.3. Sistema de tuberías

El sistema son todas las tuberías, llaves de paso y accesorios con las que cuenta el calentador solar. Por lo cual se conecta por medio de tuberías el colector (panel) con el contenedor (tanque), así como también el calentador se conecta mediante tuberías a la casa.

8.4.1.4. Substancia del Trabajo

La circulación es directa, por cual se emplea agua potable; la misma que se utilizará en el lava platos. En este caso, el agua se hace pasar por el colector (panel) para ser guardada en el contenedor (tanque).

8.5. Principios para un Calentador Solar:

- **Principio de Convección:** Tanto el aire como el agua absorben el calor por contacto pero cualquiera de ellos debe estar en movimiento para transmitir la temperatura, como en el caso de los intercambiadores de calor.

- **Aislamiento Térmico:** El efecto invernadero es tan fácil como que el calor solar que entra a un lugar cerrado, se mantiene porque al no circular el aire, este no se disipa. (Méndez, 2012)
- **Vasos Comunicantes:** El líquido alcanza la misma altura en los diversos recipientes que se comunican entre sí sin importar la forma o el volumen que estos tengan, siempre y cuando todos estén llenos y no contengan en su interior aire o un líquido con distinta densidad dentro de ellos.
- **Principio de Densidad:** Tenemos que a mayor volumen menor densidad a mayor temperatura mayor volumen y por lo tanto a mayor temperatura menos densidad, entonces el agua caliente al ser un líquido tiende a flotar.

$$densidad = \frac{masa}{volumen}$$

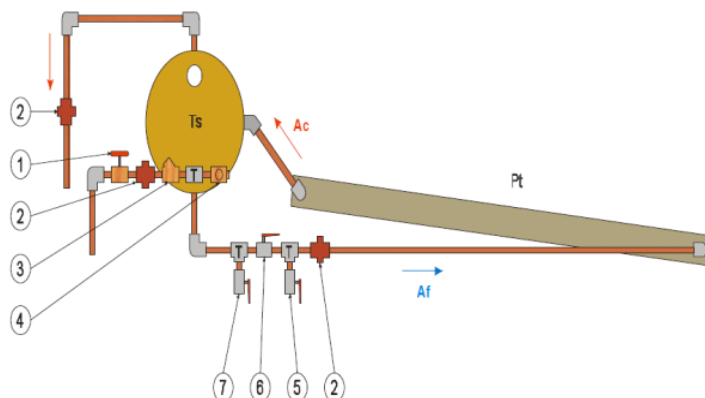
En un tanque que tiene agua más fría y agua más caliente, el agua más fría está en la parte inferior y el agua más caliente está en la parte superior y en medio hay capas de agua que cambian de temperatura dependiendo de qué tan arriba y que tan abajo están en el tinaco.

8.6. Diseño del Colector Solar Plano

Un colector está diseñado para aplicaciones en las que se necesitan fluidos a alta temperatura, lo cual no resulta más eficiente cuando se operan a bajas temperaturas.

Para un calentamiento de agua para uso doméstico, está conformado por los siguientes componentes principales:

Figura 24.- Componentes de un SST de Termosifón de Placa Plana



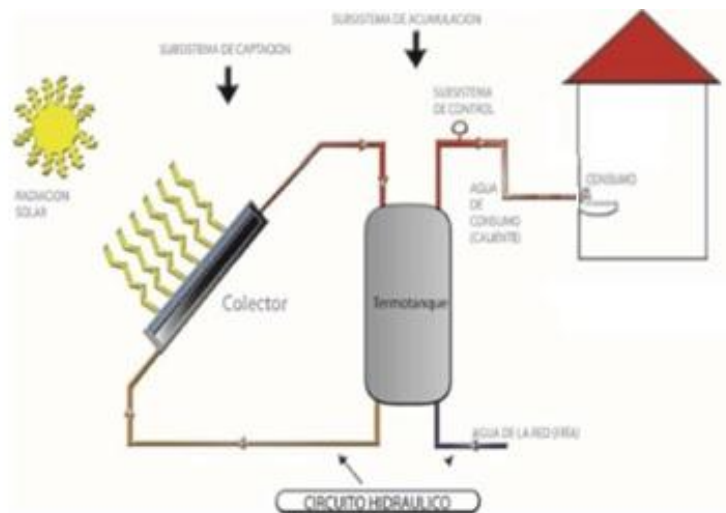
Fuente: Talleres de Ingeniería (2016)

Simbología:

- Pt.- Panel colector de energía solar térmica
- Ts.- Tanque termo-solar para almacenamiento de la energía térmica (agua caliente).
- 1.- Válvula de compuerta para el acceso de agua fría al tanque.
- 2.- Unión universal.
- 3.- Válvula check.
- 4.- Válvula de seguridad de 80 PSI.
- 5.- Válvula de paso reducido para mantenimiento de los colectores solares.
- 6.- Válvula de paso completo para el funcionamiento normal del equipo solar.
- 7.- Válvula de paso reducido para el mantenimiento del tanque termo-solar.
- AF.- Agua fría.
- AC.- Agua Caliente.

8.7. Sistema de Calentamiento de Agua

Figura 25.- Sistema para Calentamiento de uso Residencial



Fuente: Energías Renovables, Diseño de un Colector (2015)

El colector solar capta y transforma la energía radiante del sol en calor, el cual se transfiere al fluido de trabajo por conducción.

Este fluido se mueve entre el tanque de reserva y el colector, por diferencia de temperatura, de forma natural o forzada. Cuando hay consumo de agua caliente, esta es reemplazada por agua fría de la red que alimenta al tanque termo solar.

En un sistema de termosifón, para que el sistema opere de forma automática el tanque debe estar por encima de la parte más alta del colector. Las condiciones de diseño de un SST deben involucrar aspectos tales como:

1. Aprovechar de forma óptima el recurso solar disponible.
2. Ser dimensionado de acuerdo al consumo requerido de agua caliente.
3. Todos los elementos que componen el sistema, incluidos los ductos y accesorios, deben estar contruidos para asegurar un desempeño eficiente, confiable y seguro durante la vida útil prevista para cada uno de ellos.
4. Ser diseñado para que la integración de sus partes no requiera de asistencia técnica por largos periodos.
5. Ser diseñado para soportar la acción del ambiente local.

8.7.1. Diseño y dimensionamiento del panel solar

El éxito de los sistemas de calentamiento solar de agua depende de dos factores:

- Nivel de Radiación Solar
- Tipo de Colector Solar

La combinación de ambos factores determina el costo, el cual se reduce optimizando notablemente en zonas de alta incidencia solar.

En este documento (proyecto) se presenta los criterios para el diseño de sistemas de calentamiento de agua. Estos criterios están basados en las experiencias acumuladas durante la investigación de un prototipo de calentador solar para uso doméstico (cocina), así como de los fundamentos teóricos obtenidos de la recopilación bibliográfica. Toda esta información permitirá el diseño del calentamiento solar.

8.8. Análisis Térmico de Estado Estable (Steady State Thermal)

El software Thermal, puede usar un análisis térmico de estado estable para determinar las temperaturas, los gradientes térmicos, los caudales de calor y los flujos de calor en un objeto causados por cargas térmicas que no varían con el tiempo.

Un análisis térmico de estado estable calcula los efectos de las cargas térmicas constantes en un sistema o componente. (Sharcnet, EN LÍNEA)

Los ingenieros a menudo realizan un análisis de estado estable antes de realizar un análisis térmico transitorio, para ayudar a establecer las condiciones iniciales. Se puede realizar un análisis térmico de estado estable utilizando el solucionador ANSYS.

8.8.1. Antecedentes

Al observar nuestro alrededor es posible contemplar multitud de fenómenos asociados a los fluidos y a las leyes que los rigen. Van desde el vuelo de un ave hasta el agua que fluye por una tubería. A partir de la curiosidad y necesidad de comprender el trasfondo del comportamiento de los fluidos, los científicos plantearon formulaciones para su estudio utilizando las matemáticas.

La dinámica de fluidos computacional (CFD), permite a los científicos e ingenieros desarrollar “experimentos numéricos” (simulaciones computacionales) en un “laboratorio virtual” (computador). Estos experimentos permiten predecir comportamientos y conocer datos de las variables involucradas en el proceso. Con la herramienta CFD se puede “montar” un experimento virtual que permita conocer en detalle el valor y comportamiento de las variables necesarias en un determinado escenario. (Orrego, EN LÍNEA)

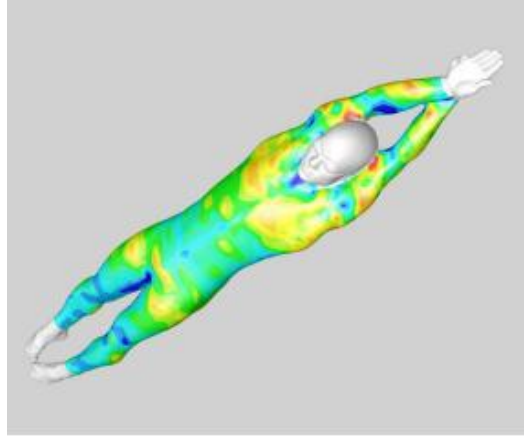
8.8.2. Aplicaciones

En la actualidad son múltiples los campos a los que se aplican la dinámica de fluidos computacional.

La industria del automóvil es uno de estos campos, donde, por ejemplo, se puede simular el comportamiento aerodinámico del coche, de hecho las escuderías de fórmula uno emplean este tipo de software para mejorar el rendimiento de sus coches. También en el ámbito

deportivo cabe destacar el uso en estudios aerodinámicos en el ciclismo, de diseño de embarcaciones e incluso en diseño de ropa de baño de alta competición. (Orrego, EN LÍNEA)

Figura 26.- Resultado de Simulación CFD a un nadador



Fuente: (Ansys - Thermal, EN LÍNEA)

Usando los modelos CFD es posible construir un modelo computacional que represente un sistema o equipo que se quiera estudiar. Después se especifican las condiciones físicas y químicas del fluido al prototipo virtual, el software entregará la predicción de la dinámica del fluido. Por lo tanto, CFD es una técnica de diseño y análisis implementada en el computador. La herramienta CFD ofrece la capacidad de simular flujos de gases, líquidos, transferencia de masa y calor, cuerpos en movimiento, física multi-fases, reacciones químicas, interacción fluido-estructura y acústica a través de la modelación en el computador. (Orrego, EN LÍNEA)

Con las herramientas propias de ANSYS describiremos propiamente la simulación en los siguientes aspectos:

- **Transferencia de Calor:** Optimización de la transferencia de calor entre fluidos y sólidos es fundamental en muchos tipos de equipos industriales, incluyendo la transferencia de calor conjugada para el cálculo de la conducción térmica a través de materiales sólidos.
- **Radiación:** Una amplia clase de modelos de transferencia de calor radiante, de transparente a participar medios no grises, están disponibles e incluyen aplicaciones tales como la combustión, calefacción y ventilación y la radiación a través de materiales sólidos, entre otros. (Ansys, EN LÍNEA)

8.8.3. Ansys Thermal CFD (Dinámica de Fluidos Computacional)

La dinámica de fluidos computacional (CFD) es una herramienta con sorprendente flexibilidad, precisión y amplitud de aplicación. Para obtener resultados serios de CFD, necesitas un software serio. ANSYS CFD va más allá de los resultados cualitativos para entregar predicciones cuantitativas precisas de interacciones fluidas y compensaciones. Estas ideas revelan oportunidades inesperadas para su producto, oportunidades que incluso los analistas de ingeniería experimentados pueden pasar por alto. (Ansys, EN LÍNEA)

CFD, se ha convertido en una parte integral del entorno de diseño de ingeniería y análisis de las muchas empresas que requieren la capacidad de predecir el comportamiento de los nuevos diseños o procesos antes de que sean fabricados o implementados. Soluciones ANSYS CDS, Inc. Se basa en la tecnología probada de software ANSYS CFX.

8.8.4. Ansys Steady State Thermal

Un análisis térmico de estado estable, determina la distribución de la temperatura y otras cantidades térmicas en condiciones de carga de estado estable. Una condición de carga de estado estable es una situación en la que los efectos de almacenamiento de calor que varían durante un período de tiempo que pueden ignorarse.

También se puede usar un análisis térmico de estado estable para determinar las temperaturas, gradientes térmicas, caudales de calor y flujos de calor en un objeto causados por cargas térmicas que no varían con el tiempo. Tales cargas incluyen lo siguiente:

- Convecciones
- La radiación
- Caudales de calor.
- Flujos de calor (flujo de calor por unidad de área)
- Tasas de generación de calor (flujo de calor por unidad de volumen)
- Límites de temperatura constante.

Un análisis térmico en estado estable puede ser lineal, con propiedades constantes del material; o no lineales, con propiedades materiales que dependen de la temperatura. Las propiedades térmicas de la mayoría de los materiales varían con la temperatura, por lo que el análisis generalmente no es lineal. La inclusión de efectos de radiación también hace que el análisis sea no lineal.

8.8.4.1. Procedimiento

El procedimiento para realizar un análisis térmico a través de cualquier software computacional, en este caso, ANSYS, implica tres tareas principales:

- Construcción del modelo.
- Aplicar cargas y obtener la solución.
- Revisión de resultados

Pero en las siguientes figuras esquemáticas tendremos una visión general de la tarea que debe llevarse a cabo.

8.8.4.2. Parámetros de Ansys Steady State Thermal

Para la simulación del State Thermal, tiene los siguientes parámetros (Anexo 3):

- Engineering Date (Datos de Ingeniería)
- Geometry (Geometría)
- Model (Mallado)
- Setup (Preparación)
- Solution (Solución)
- Results (Resultados)

8.9. Datos Técnicos Climatológicos de la Ciudad de Estudio

Para la realización de la simulación en el Ansys Thermal, debemos considerar las características de un entorno real, en el cual se dará una transferencia de calor para el colector solar, para esto consideramos hacerlo en la ciudad de Machachi, la razón es por la que el proyecto se está realizando en esta ciudad para la peladora de pollos “Chicken Farm”.

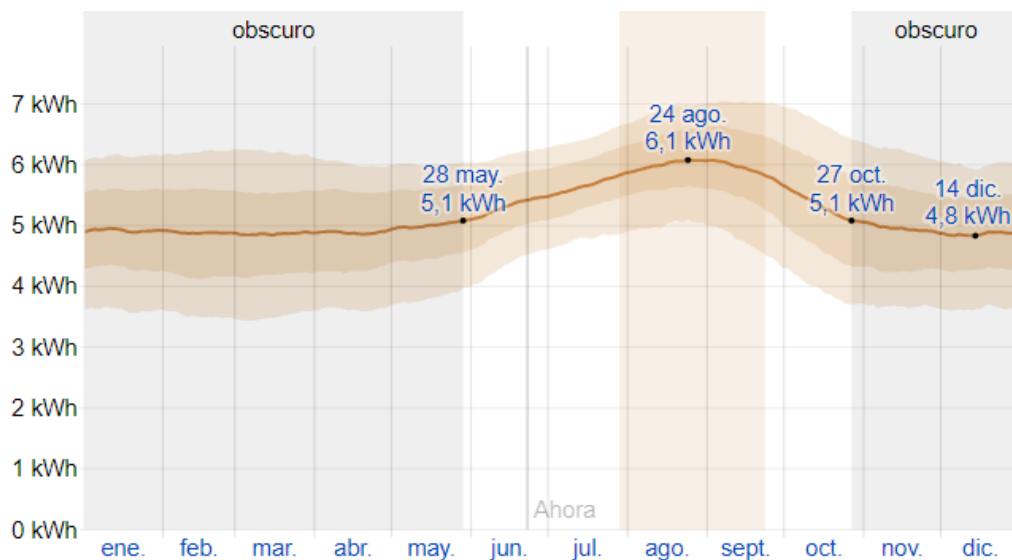
Por tal razón, para la simulación se requiere datos de entrada de la ciudad del proyecto, lo cual son datos en la vida real, a continuación se detalla de manera breve las características generales y climáticas de la ciudad de Machachi.

Machachi, también conocida como Santiago de Machachi, es una ciudad ecuatoriana; cabecera cantonal del Cantón Mejía, así como la cuarta urbe más grande y poblada de la Provincia de Pichincha. Se localiza al centro-norte de la Región interandina del Ecuador, en la

hoya del río Guayllabamba, dentro de un valle rodeado por el Atacazo, el Pasochoa, el volcán Rumiñahui y el volcán Corazón a una altitud de 2945 msnm y con un clima andino de 14°C en promedio. (Mejía, 2018)

La temporada de lluvia es fresca y nublada y la temporada seca es cómoda y parcialmente nublada. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 9 °C a 19 °C y rara vez baja a menos de 7 °C o sube a más de 21 °C (Anexo4). (Weather Spark, 2019)

Figura 27.- Energía solar de onda corta incidente diario promedio



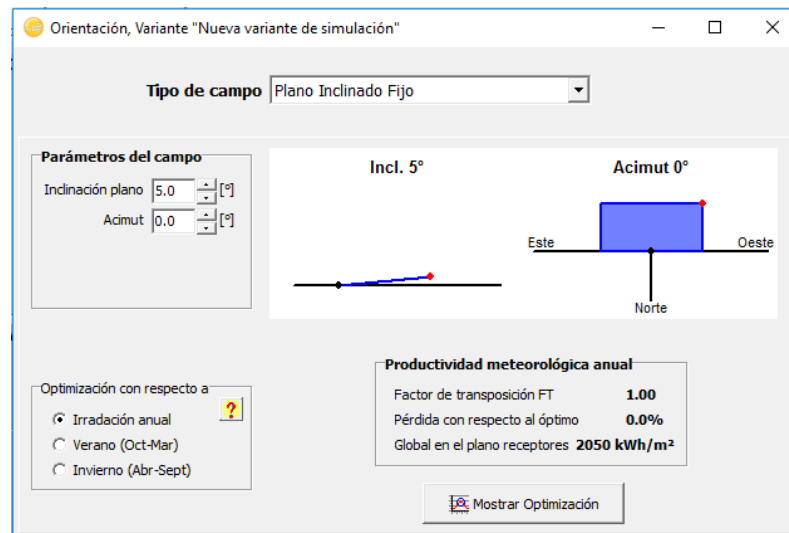
Fuente: Weather Spark (2019)

8.10. Inclinación del Panel

La determinación del ángulo de inclinación, nos permitirá analizar de mejor manera la ubicación y distanciamiento de los paneles solares para maximizar el área de ubicación.

Para este caso la inclinación es “Plano inclinado Fijo”. Dicha información indica el factor de transposición, el porcentaje de pérdidas y la radiación disponible en el panel (Anexo5).

Figura 28.- Inclinación de 5°



Fuente: Software PVSyst (2019)

9. PREGUNTA CIENTÍFICA O HIPÓTESIS

Con la implementación de un sistema auxiliar se reducirá la energía demandada para ACS de su sistema principal (GLP), siendo esta energía completada por un sistema auxiliar de un colector solar (colector solar plano) de energía renovable.

10. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

10.1. Enfoque

En el siguiente estudio se utilizarán variables cuantitativas continuas ya que se tomará el tiempo para obtener la demanda diaria del agua para el lavado de vajillas y la temperatura máxima a la que llegue el agua una vez recorrido la tubería.

10.2. Modalidad Básica de la Investigación

En el siguiente estudio se utilizará la modalidad bibliográfica y experimental

10.2.1. Bibliográfica

Será de tipo bibliográfico ya que toda la información necesaria para el desarrollo del estudio será obtenida de libros, tesis e internet para poder ampliar nuestros conocimientos sobre el tema.

10.2.2. Experimental

La investigación será experimental, ya que es necesario en este proyecto analizar y evaluar los resultados obtenidos para poder sacar conclusiones que nos permitan verificar nuestros objetivos.

10.3. Tipo de Investigación

En el siguiente estudio se utilizará los tipos de investigación exploratorio y descriptivo.

10.3.1. Exploratorio

La investigación de este estudio trata de reducir el consumo de energía fósil para calentamiento de agua, ayudándose de un colector solar lo que consume solo energía renovable.

10.3.2. Descriptivo

Ya que con este estudio se podrá reducir el consumo de energía fósil, completando la energía faltante para ACS de una energía renovable del colector.

10.4. Diseño Experimental

10.4.1. Diagramas de Flujo del Sistema de ACS

Se realizó los siguientes diagramas de flujo, en los que se puede observar en el diagrama de flujo del sistema normal, el sistema optimizado y el análisis del proyecto (Anexo6).

10.4.2. Dimensionamiento del Sistema del Panel Solar

10.4.2.1. Demanda Diaria de Consumo de Agua para uso Domestico

Para la demanda diaria de agua se calculó sumando el consumo diario de agua requerida en la cocina del comedor más las pérdidas de agua totales en el sistema. Por lo tanto, se tiene:

Ecuación 1.- Ecuación para la demanda

$$\text{Demanda} = \frac{\text{Consumo}}{\left(1 - \frac{(\%) \text{Perdidas}}{100}\right)}$$

Para el consumo de agua se realizó una prueba, lo cual nos arroja que en 10 segundos se obtiene 1,5 litros de agua de la llave del comedor (Anexo7).

Por lo que se realiza una regla de tres:

$$\begin{array}{l} 10 \text{ seg} \\ 60 \text{ seg} \end{array} \quad \begin{array}{l} 1,5 \text{ lit} \\ x \end{array} = 9 \text{ lit/min}$$

Para determinar cuántas muestras son necesarias se realiza con el método tradicional, que es un cálculo de número de observaciones (tamaño de la muestra), lo que nos indica que, si las muestras del ciclo de lectura es mayor a 2 minutos, se realizan solamente 5 muestras. Las observaciones fueron las siguientes:

Tabla 5.- Tiempo de apertura del grifo durante el proceso de lavado (5 muestras)

Muestra N°	Tiempo de apertura del grifo durante el proceso de lavado (min)
1	10
2	11
3	9
4	10
5	11
Suma:	51

Fuente: Autor (2019)

Se calcula el rango:

$$R = \text{max} - \text{min}$$

$$R = 11 - 9$$

$$R = 2$$

Ahora se calcula la media aritmética:

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{51}{5}$$

$$\bar{X} = 10,2$$

Ahora calculamos el cociente entre el rango y la media:

$$\frac{R}{\bar{X}} = \frac{2}{10,2} = 0,19 \sim 12 \text{ muestras}$$

Para lo cual verificamos el rango R/X de 0,19 que no tenemos y aproximamos al más cercano que es 0,20 en la figura 30 y obtenemos que con 5 muestras se requiere tener 12 muestras para tener un nivel del 95% de confianza.

Figura 29.- Tabla para cálculo del número de observaciones

TABLA PARA CALCULO DEL NUMERO DE OBSERVACIONES					
R/X	5	10	R/X	5	10
0	0	0	0.48	68	39
0.01	1	1	0.50	74	42
0.02	1	1	0.52	80	46
0.03	1	1	0.54	86	49
0.04	1	1	0.56	93	53
0.05	1	1	0.58	100	57
0.06	1	1	0.60	107	61
0.07	1	1	0.62	114	65
0.08	1	1	0.64	121	69
0.09	1	1	0.66	129	74
0.10	3	2	0.68	137	78
0.12	4	2	0.70	145	83
0.14	6	3	0.72	153	88
0.16	8	4	0.74	162	93
0.18	10	6	0.76	171	98
0.20	12	7	0.78	180	103
0.22	14	8	0.80	190	108

Fuente: Ingeniería Industrial (2018)

Tenemos entonces que el número de observaciones a realizar para tener un nivel de 95% de confianza según el método tradicional es 12 muestras

Por lo que se realiza 12 muestras de lavado de vajillas y utensilios completos del comedor:

Tabla 6.- Tiempo de apertura del grifo durante el proceso de lavado

Muestra N°	Tiempo de apertura del grifo durante el proceso de lavado (min)
1	10
2	11
3	9
4	10
5	11
6	10
7	9
8	10
9	9
10	10
11	9
12	10
Suma:	118
Promedio:	9,83333333

Fuente: Autor (2018)

Lo cual nos da un promedio de 9,83 minutos, tiempo que la llave permanece abierto durante el proceso de lavado de las vajillas y utensilios completos del comedor.

Como se determina que se necesita 9 lt/min, necesitamos saber cuánto requiere en el tiempo que la llave permanece abierta, lo cual es el caudal de agua en el grifo, para lo que realizamos una regla de tres:

$$\frac{1 \text{ min}}{9,83 \text{ min}} = \frac{9 \text{ lit}}{x} = 88,47 \text{ lit}$$

Por lo consiguiente, con la ecuación 1, calculamos cual será la demanda diaria de agua en el comedor.

$$\text{Demanda} = \frac{\text{Consumo}}{\left(1 - \frac{(\%) \text{Perdidas}}{100}\right)}$$

$$\text{Demanda} = \frac{88,47 \text{ litros}}{\left(1 - \frac{5}{100}\right)}$$

$$\text{Demanda} = 93,12 \approx 93 \text{ lit}$$

Los 93 litros es la cantidad de agua indicada correspondiente al tiempo que la llave permanece abierto durante el proceso de lavado de las vajillas y utensilios completos del comedor, por lo que:

Volumen del agua

$$V_{\text{agua}} = 93\text{lt (Al día)}$$

10.4.2.2. Demanda Energética

Para determinar la demanda energética requerida para calentar el agua, se hace la siguiente consideración:

Ecuación 2.- Demanda Energética

$$E = M_{\text{H}_2\text{O}} * C_{\text{pH}_2\text{O}}(T_{\text{fH}_2\text{O}} - T_{\text{oH}_2\text{O}})$$

Donde:

- E = Demanda Energética [KJ]
- $M_{\text{H}_2\text{O}}$ = Masa de Agua [Kg]
- $C_{\text{pH}_2\text{O}}$ = Calor Especifico de Agua [KJ/kg K]
- $T_{\text{fH}_2\text{O}}$ = Temp. Final (agua caliente °C) = 40°C (temperatura deseada)
- $T_{\text{oH}_2\text{O}}$ = Temp. inicial (agua fría °C) = 18°C (medida en la red de agua potable)

Para la determinación de la demanda energética, se requiere la masa de agua y el calor específico, por lo que para calcular la masa se determina con la fórmula de la densidad del agua:

Ecuación 3.- Densidad de Agua

$$d = \frac{m}{v}$$

Donde:

- d = Densidad $[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}]$
- m = Masa [Kg]
- v = Volumen [m^3]

Reemplazando en la Ecuación 3:

$$m = v * d$$

$$m = 1000 \frac{Kg}{m^3} * 93lt * \frac{1 m^3}{1000 lt}$$

$$m = 93 kg$$

Se tiene $M_{H_2O} = 93Kg$

$$Cp_{H_2O} = 4,184 \frac{KJ}{Kg * K} \quad (1)$$

Reemplazando en la Ecuación 2:

$$E = M_{H_2O} * Cp_{H_2O} (T_{f_{H_2O}} - T_{o_{H_2O}})$$

$$E = (93Kg) \left(4,184 \frac{KJ}{Kg * K} \right) (22)K$$

$$\mathbf{E = 8560,5 KJ (Al día)}$$

El resultado de la demanda energética encontrado es la energía que se necesita para calentar de 18°C a 40°C para 93 litros al día.

10.4.2.3. Dimensionamiento del Panel Solar

El potencial anual promedio de radiación solar para el territorio ecuatoriano es de 4,4 a 4,7 KWh/m² por día, por lo que se tomó como dato 4600 Wh/m² por día. (Varas & Pinedo, 2015).

Ecuación 4.- Área de Captación

$$A_{cap} = \frac{\text{Demanda Energetica } E}{\text{Radiacion Solar promedio} * n_{colector}}$$

Donde:

- A_{cap} = área de captación [m^2]
- n_{colec} = eficiencia del colector (30%)

Generalmente los equipos tienen una eficiencia del 40% y 60%, considerando que el 40% es una eficiencia mala, para lo que se considera que se tiene un mal escenario, se consideró un

30%; por muy mal que se realice el colector, se pueda llegar a la temperatura deseada y cumplir la satisfacción de tener agua caliente.

Reemplazando en la Ecuación 4:

$$A_{\text{cap}} = \frac{\text{Demanda Energetica } E}{\text{Radiacion Solar promedio} * n_{\text{colector}}}$$

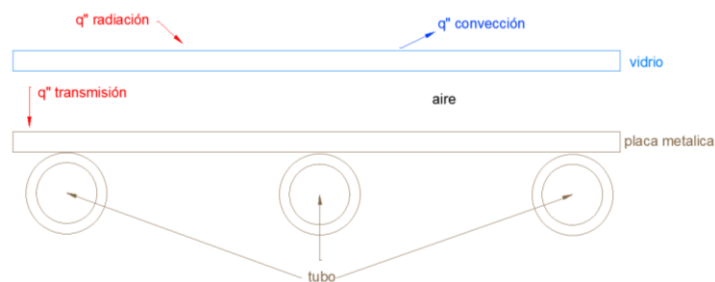
$$A_{\text{cap}} = \frac{8560,5 \text{ KJ}}{\left(4600 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} * \frac{1 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}}{1000 \text{ w}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}\right) * (0,30)}$$

$$A_{\text{cap}} = 1,72 \text{ m}^2$$

Por tanto y redondeando valores se considera un colector rectangular de 1,80m * 1,00m.

10.4.2.4. Balance de Flujo de Calor en el Vidrio:

Figura 30.- Esquema de Energía Incidentes (Entrada y Salida en el Panel Solar)



Fuente: Autor (2019)

10.4.2.5. Balance de Energía en el Vidrio:

Ecuación 5.- Balance de energía en el vidrio (q'' transmisión)

$$q'' \text{ transmisión} = q'' \text{ radiación} - q'' \text{ convección}$$

Ecuación 6.- Balance de energía en el vidrio (q'' radiación)

$$q'' \text{ radiación} = \frac{q_{\text{radiación}}}{A} = \epsilon \sigma (T_{\text{sup. del vidrio}}^4 - T_{\text{alr}}^4)$$

Ecuación 7.- Temperatura del vidrio superior

$$T_{sup. \text{ del vidrio}} = \sqrt[4]{\frac{q'' \text{ rad}}{\epsilon \sigma} + T_{alr}^4}$$

Donde:

- ϵ = emisividad
 $\epsilon_{\text{vidrio}} = 0,90 - 0,95$ (2)
- σ = Cte Stefan Boltzmann
 $\sigma = 5,67 * 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{k}^4$
- T_{alr} = Temperatura del Ambiente Alrededor (18°C)
 $18^\circ\text{C} = 291,15\text{K}$

Con el fin de encontrar la Irradiación (valor instantáneo de la irradiación $\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$) se considera que de las 12 horas de sol, 8 serán las efectivas para el funcionamiento del colector.

$$\frac{4600 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}}{8 \text{ h}} = 575 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \text{ que este seria el valor de } q'' \text{ radiación}$$

Reemplazando en la Ecuación 7:

$$T_{sup. \text{ del vidrio}} = \sqrt[4]{\frac{q'' \text{ rad}}{\epsilon \sigma} + T_{alr}^4}$$

$$T_{sup. \text{ del vidrio}} = \sqrt[4]{\frac{575 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{0,925 * 5,67 * 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{k}^4}} + 291,15}$$

$$T_{sup. \text{ del vidrio}} = 367\text{K} \sim 93,85^\circ\text{C}$$

Por otro lado:

Ecuación 8.- Ecuación de energía en el vidrio (q convección)

$$q_{\text{ conveccion}} = h * A (T_{sup. \text{ del vidrio}} - T_{\infty})$$

Donde:

- h = Coeficiente de Conveccion Local (aire) $[\frac{W}{m^2K}]$
- A = Área
- T_{∞} = Temperatura Aire Externa
 $T_{\infty} = 18^{\circ}C \sim 290 K$ (medida)

El coeficiente de convección local, se encuentra con las formulas del número de Nusselt.

Ecuación 9.- Número de Nusselt (h)

$$Nu = \frac{\bar{h}L}{K}$$

Donde:

- Nu = Número de Nusselt
- L = Longitud (m)
- K = Conductividad Termica (aire) $[W/mK]$

Ecuación 10.- Número de Nusselt

$$Nu = 0,332 Re^{1/2} * Pr^{1/3} \quad (3)$$

Donde para $Re = \frac{\bar{V}L}{\nu}$: (4)

- Re = Numero Reynolds
- \bar{V} = Velicidad (aire) $[m/s]$
- L = Longitud (largo de la Placa)
 $L = 1,80 m$
- ν = Viscosidad Cinetica $[\frac{m^2}{s}]$

Donde para $Pr = \frac{C_p \mu}{K}$: (4)

- Pr = Número de Prandtl
- C_p = Calor especifico (aire) $[\frac{KJ}{Kg * K}]$
- μ = Viscosidad dinámica $[\frac{N * s}{m^2}]$

3 Libro Fundamentos de Transferencia de Calor de Frank P. Incropera, Cap.7 Ecuación 7.23 "Ecuación desarrollada para una placa plana en un flujo externo paralelo"

4 Re y Pr fue tomada del libro de fundamentos de transferencia de calor de Frank P. Incropera, Cap.6 Tabla 6.2 Página 320

Tabla 7.- Propiedades termo físicas del aire a presión atmosférica

T(k)	$C_p \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{K}}\right)$	$\mu * 10^{-7} \left(\frac{\text{N*s}}{\text{m}^2}\right)$	$V * 10^{-6} \left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right)$	$k * 10^3 \left(\frac{\text{W}}{\text{m} * \text{K}}\right)$
250	1,006	159,6	11,44	22,3
290	1,0068	179,6	15	25,5
300	1,007	184,6	15,89	26,3

Fuente: Tabla A.4 del libro “Fundamentación de Transferencia de Calor del autor Incropera de la Página 839

La velocidad del aire de Machachi es:

$$\bar{V} = 12 \frac{\text{Km}}{\text{h}} \sim 3,33 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (5)$$

- Para Pr:

$$\text{Pr} = \frac{C_p \mu}{k}$$

$$\text{Pr} = \frac{\left(1006,8 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{K}}\right) \left(179,6 * 10^{-7} \frac{\text{N} * \text{s}}{\text{m}^2}\right)}{25,5 * 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} * \text{K}}}$$

$$\text{Pr} = 0,71$$

- Para Re:

$$\text{Re} = \frac{\bar{V} * L}{\nu}$$

$$\text{Re} = \frac{\left(3,33 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) (1,8 \text{ m})}{15 * 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$\text{Re} = 3,9 * 10^5$$

Reemplazando en la Ecuación 10:

$$\text{Nu} = 0,332 \text{Re}^{1/2} * \text{Pr}^{1/3}$$

$$\text{Nu} = 0,332 (3,9 * 10^5)^{1/2} (0,71)^{1/3}$$

$$\text{Nu} = 185$$

Reemplazando en la Ecuación 9:

$$\text{Nu} = \frac{h * L}{k}$$

$$h = \frac{\text{Nu} * k}{L}$$

$$h = \frac{(185) \left(25,5 * 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} * \text{K}} \right)}{1,8\text{m}}$$

$$h = 2,62 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}}$$

Reemplazando en la Ecuación 8:

$$q_{\text{conveccion}} = h * A (T_{\text{sup. del vidrio}} - T_{\infty})$$

$$q''_{\text{conveccion}} = \frac{q_{\text{convección}}}{A} = h(T_{\text{sup. del vidrio}} - T_{\infty})$$

$$\frac{q_{\text{convección}}}{A} = 2,62 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}} (93,85 - 18)^{\circ}\text{C} \quad (T_{\infty} = 18^{\circ}\text{C} \text{ medida del aire})$$

$$\frac{q_{\text{convección}}}{A} = 198,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}}$$

Reemplazando en la Ecuación 5:

$$q''_{\text{transmisión}} = q''_{\text{radiación}} - q''_{\text{convección}}$$

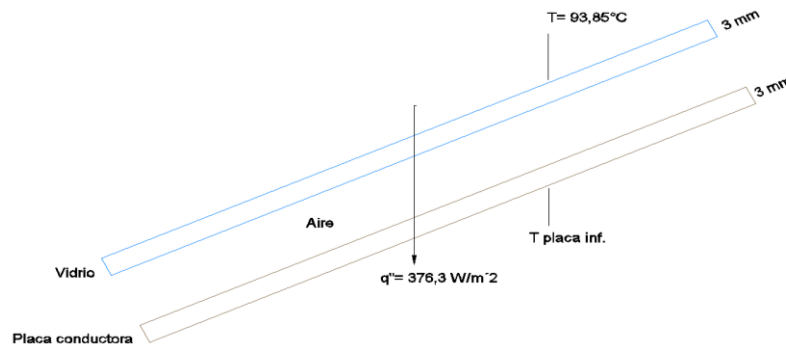
$$q''_{\text{transmisión}} = 575 - 198,7$$

$$q''_{\text{transmisión}} = 376 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Esta es la energía que aprovecha el colector q'' (flujo de calor).

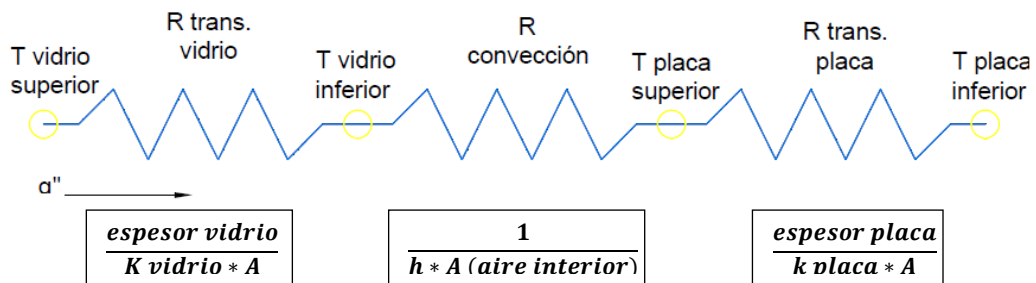
10.4.2.6. Resistencia Térmica al Flujo de Calor del Panel Solar

Figura 31.- Esquema de Flujo de Calor a través del Panel Solar



Fuente: Autor (2019)

Figura 32.- Analogía eléctrica a la resistencia al flujo de calor



Fuente: Autor (2019)

$$\text{espesor vidrio} = 3\text{mm}$$

$$\text{espesor placa} = 3\text{mm}$$

$$k_{\text{vidrio}} = 1,4 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad (6)$$

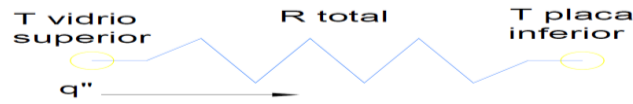
$$k_{\text{placa}} = 401 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad (7)$$

$$h_{\text{aire interior}} = 2 - 25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad (8)$$

Debido a que la resistencia del aire entre el vidrio y la placa se considera casi despreciable, se tomó el valor más alto.

$$h_{\text{aire interior}} = 25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Figura 33.- Resistencia Térmica Total



Fuente: Autor (2019)

Ecuación 11.- Resistencia térmica total

$$R_{\text{total}} = R_{\text{trans.vidrio}} + R_{\text{conveccional}} + R_{\text{trans.placa}}$$

$$R_{\text{total}} = \frac{e_v}{k_v * A} + \frac{1}{h_{\text{aire int}} * A} + \frac{e_p}{k_p * A}$$

$$R_{\text{total}} = \frac{1}{A} \left(\frac{e_r}{k_v} + \frac{1}{h_{\text{aire int}}} + \frac{e_p}{k_p} \right)$$

$$R_{\text{total}} = \frac{1}{A(\text{m}^2)} \left(\frac{0,003\text{m}}{1,4 \frac{\text{W}}{\text{m} * \text{K}}} + \frac{1}{25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}}} + \frac{0,003\text{m}}{401 \frac{\text{W}}{\text{m} * \text{K}}} \right)$$

$$R_{\text{total}} = \frac{0,042 \text{ m}^2\text{k}}{A(\text{m}^2) \text{ W}}$$

Para encontrar la temperatura de la superficie inferior de la placa.

$$q'' = \frac{T_{\text{sup. del vidrio}} - T_{\text{supe. inf. de la placa Cu}}}{R_{\text{total}}}$$

$$q'' = \frac{q}{A} = \frac{T_{\text{sup. del vidrio}} - T_{\text{supe. inf. de la placa Cu}}}{0,042 \frac{\text{m}^2\text{k}}{\text{W}}}$$

$$376,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = \frac{93,85^\circ\text{C} - T_{\text{supe. inf. de la placa Cu}}}{0,042 \frac{\text{m}^2\text{k}}{\text{W}}}$$

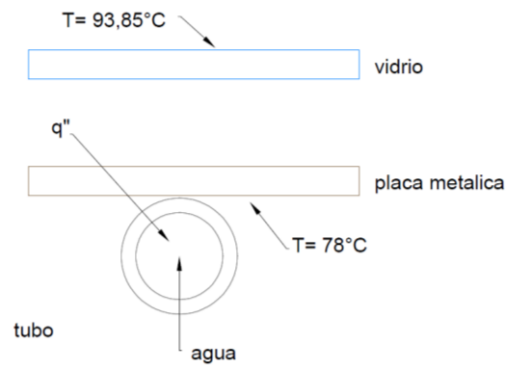
$$15,8\text{k} = 93,85^\circ\text{C} - T_{\text{supe. inf. de la placa Cu}}$$

$$T_{\text{supe. inf. de la placa Cu}} = 78^\circ\text{C}$$

La respectiva temperatura encontrada es debajo de la placa.

10.4.2.7. Ganancia de Calor del Agua en el Panel Solar

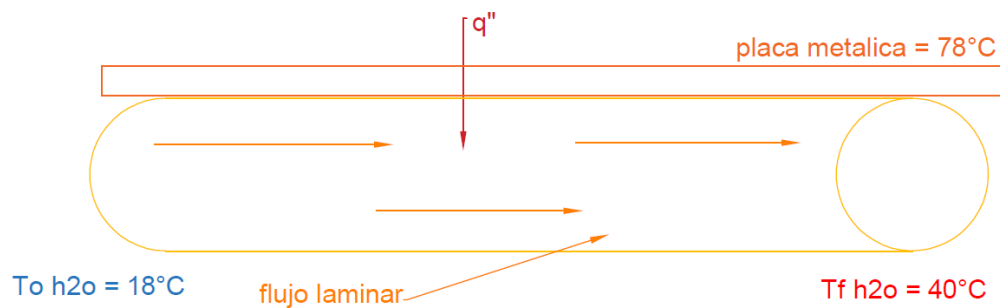
Figura 34.- Transferencia de Calor entre la Placa Cu y Tubería (Vista Trasversal)



Fuente: Autor (2019)

La temperatura de la superficie inferior de la placa de 78°C , se considera para toda la placa constante e uniforme.

Figura 35.- Transferencia de calor entre la Placa Cu y Tubería (Vista Frontal)



Fuente: Autor (2019)

$\bar{T}_{\text{H}_2\text{O}}$ = Temperatura de referencia conveniente para flujos internos

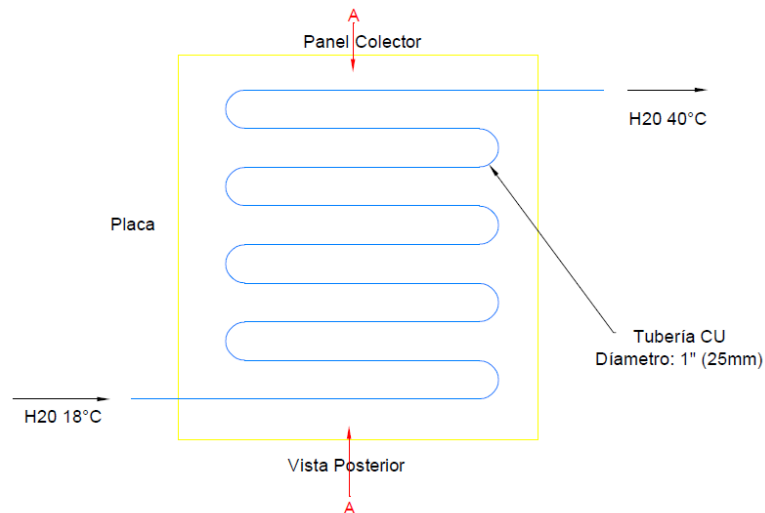
$$\bar{T}_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{T_{\text{salida}} + T_{\text{entrada}}}{2}$$

$$\bar{T}_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{18 + 40}{2} = 29^{\circ}\text{C} \sim 302\text{K}$$

$Nu = \frac{h \cdot \phi}{k}$; Aplica para flujo de calor q'' constante y flujo laminar en un tubo circular.

Y por otro lado $Nu = 3,66$ se tomó de las ecuaciones 8.53 y 8.55 del autor Incropera para sección transversal circular.

Figura 36.- Esquema de recorrido de Tubería en el Panel Solar



Fuente: Autor (2019)

Para determinar el caudal de agua a través de la Tubería de Cu se hace la siguiente consideración:

- Se determina que se requiere 93 lt/día de agua caliente.
- Se considera el volumen del tanque con un factor del 20%

$$93\text{lt} * 1,20 = 111,6\text{lt}$$

Por lo tanto, para contar con una medida estándar se considera un tanque de 120lt de capacidad.

10.4.2.8. Caudal de Agua

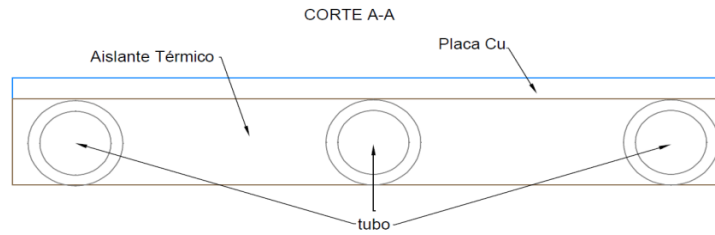
Se establece el tiempo de 1 hora para que los 120lt de agua en el tanque atraviesen a través del panel solar:

$$\dot{V}_{H_2O} = \frac{120 \text{ lt}}{1 \text{ h}} = 0,033 \frac{\text{lt}}{\text{seg}} \quad (\text{densidad H}_2\text{O} = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \text{ y } 1\text{m}^3 = 1000\text{lt})$$

$$\dot{M}_{H_2O} = 0,033 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \quad (\text{Es el flujo de masa de H}_2\text{O en el colector})$$

El esquema de instalación de la tubería en el panel es el siguiente:

Figura 37.- Representación del Corte A-A (Fig.25)



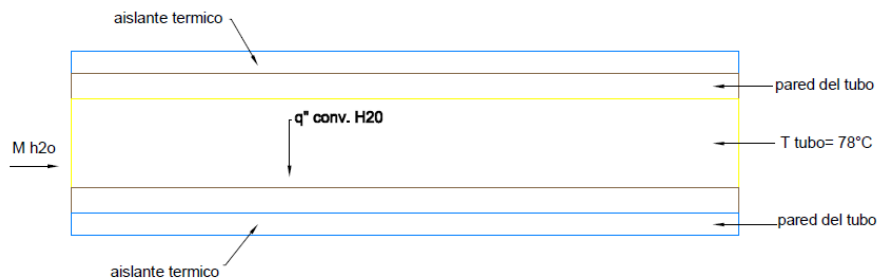
Fuente: Autor (2019)

La resistencia térmica asociada con la conducción en la soldadura y la pared del tubo se puede ignorar.

Entonces

$$T_{\text{tubo}} = T_{\text{placa inferior}} = 78^{\circ}\text{C}$$

Figura 38.- Vista en representación a un corte superior de la tubería Cu



Fuente: Autor (2018)

Por continuar en el análisis se considera el siguiente escenario:

- Flujo interno laminar por tubería
- Temperatura del agua a la entrada uniforme y menor a la temperatura del tubo
- Temperatura del tubo constante

Se tiene la “Condición Térmica Completamente Desarrollada” pag. 425 “Incropera”

Las ecuaciones son las siguientes:

Ecuación 12.- Temperatura media del fluido en la salida del tubo

$$\frac{\Delta T_o}{\Delta T_i} = \frac{T_{\text{tubo}} - T_{f_{\text{H}_2\text{O}}}}{T_{\text{tubo}} - T_{o_{\text{H}_2\text{O}}}} = \exp\left(-\frac{PL}{M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_{p_{\text{H}_2\text{O}}}} \bar{h}\right); T_{\text{tubo}} = \text{cte} \quad (9)$$

- P = Perímetro del tubo; $P = \pi\phi$
- L = Longitud total del Tubo
- \bar{h} = Coeficiente de convección (agua)
- $T_{f_{H_2O}} = 40^\circ\text{C}$ (Temperatura final del agua)
- $T_{o_{H_2O}} = 18^\circ\text{C}$ (Temperatura inicial del agua)
- $\dot{M}_{H_2O} = 0,067 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$ (Flujo de masa de agua)
- $C_{p_{H_2O}}$ = Calor específico del agua a \bar{T}_{H_2O}

Para encontrar \bar{h} se utiliza el número de Nusselt

Ecuación 13.- Ecuación de Nusselt

$$Nu = \frac{\bar{h}\phi}{k}$$

Se tiene $Nu = 3,66$ para tubos de sección transversal circular O , con temperatura superficial constante, flujo laminar completamente desarrollado.

Tabla 8.- Números de Nusselt y factores de fricción para flujo laminar completamente desarrollado en tubos

$T(\text{K})$	$C_p\left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{K}}\right)$	$k\left(\frac{\text{W}}{\text{m} * \text{K}}\right)$
300	4,197	$613 * 10^{-3}$
302	4,1786	$615 * 10^{-3}$
305	4,178	$620 * 10^{-3}$

Fuente: Tabla 8.1 "Incropera", Pag. 450

Reemplazando en la ecuación 13 de Nusselt para tuberías, y considerando un diámetro de 1 pulgada $\approx 0,0254\text{m}$

$$Nu = \frac{\bar{h}\phi}{k}$$

$$\bar{h} = \frac{k * Nu}{\phi}$$

$$\bar{h} = \frac{(615 * 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} * \text{K}})(3,66)}{0,025 \text{ m}}$$

$$\bar{h} = 88,62 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

Reemplazando en la Ecuación 12:

$$\frac{\Delta T_o}{\Delta T_i} = \frac{T_{\text{tubo}} - T_{f_{H_2O}}}{T_{\text{tubo}} - T_{o_{H_2O}}} = \exp\left(-\frac{PL\bar{h}}{\dot{M} C_p}\right)$$

$$\frac{78-40}{78-18} = \exp\left(-\frac{\pi(0,0254\text{m})L*(88,62\frac{\text{W}}{\text{K}})}{(0,033\frac{\text{Kg}}{\text{s}})(4,1786\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}\cdot\text{K}})*1000}\right) \quad 10$$

$$0,63 = \exp(-0,051L)$$

$$L = 9\text{m}$$

Ahora comprobando que el diámetro cumple con la condición del régimen laminar:

$$Re_D = \frac{4\dot{M}}{\pi\phi\mu}$$

Considerando que:

- Re_D = Número de Reynold
- \dot{M} = Flujo de masa ($\frac{\text{Kg}}{\text{s}}$); $\dot{M}=0,033\frac{\text{Kg}}{\text{s}}$
- ϕ = Diámetro; $\phi=1\text{pulg} \sim 0,0254\text{m}$
- μ = Viscosidad ($\frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}$) a $\bar{T}_{H_2O} = \frac{18+40}{2} = 29^\circ\text{C} \sim 302\text{K}$

Tabla 9.- Propiedades termo físicas de agua saturada

T(K)	$\mu * 10^{-6} (\frac{\text{N} * \text{s}}{\text{m}^2})$
300	855
302	820,6
305	769

Fuente: Tabla A6 Incropera

$$Re_D = \frac{4(0,033\frac{\text{Kg}}{\text{s}})}{\pi(0,0254\text{m})(820,6 * 10^{-6}\frac{\text{N} * \text{s}}{\text{m}^2})}$$

$$Re_D = 2015,85 < 2300$$

Flujo Laminar

Por tanto el $\phi = 1$ pulgada, $\dot{M}=0,033\frac{\text{Kg}}{\text{s}}$, por lo que cumple con la condición requerida.

11. ANÁLISIS Y DISCUSIONES DE RESULTADOS

11.1. Análisis de Resultados

A continuación se presenta los valores de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas durante nuestro estudio para la determinación de un colector de acuerdo a la demanda diaria del agua, como también la simulación y los resultados obtenidos las cuales fueron efectuado con las condiciones climatológicas más favorables del año, es decir cuando hay más presencia del sol con un cielo despejado ya que con estas condiciones se alcanzara temperaturas optimas en el calentamiento del agua por el colector teniendo más presencia de calor en la tubería.

11.2. Simulación Mediante Modelo Steady State Thermal (Ansys)

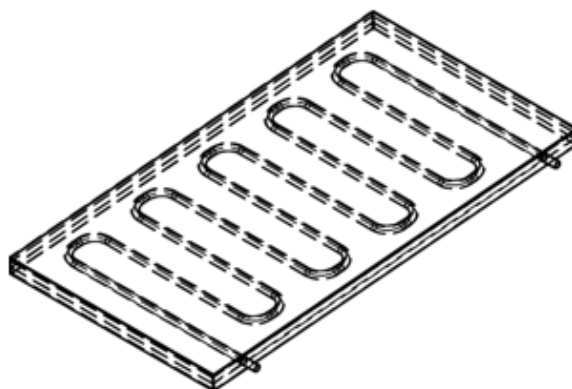
11.2.1. Software Empleado

Para la simulación y la obtención de resultados, se usó el software CFD Thermal, que es un módulo del software de ingeniería ANSYS, cuyas características del módulo se indicaron anteriormente

11.2.2. Descripción del Panel

En la siguiente grafica se muestra el diseño del colector, la tubería de cobre a calcular mediante el simulador ANSYS Thermal, es el modelo del panel solar (Anexo8).

Figura 39.- Modelo del Panel a Analizar

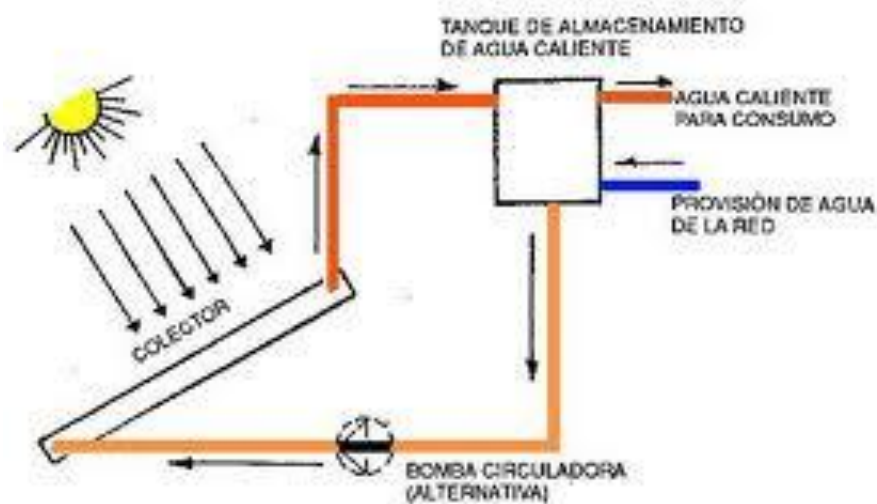


Fuente: Autor (2018)

Tabla 10.- Dimensiones del intercambiador de calor

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Caja del Panel	mm	1800*1000*73
Aislamiento de Poliestireno	mm	30
Tela de fibra de vidrio	mm	25
Tubo de Cobre	mm	Øext.29, Øint.25
Placa de Cobre	mm	3
Vidrio	mm	3

Fuente: Autor (2019)

Figura 40.- Principio de Funcionamiento de Agua Caliente Solar

Fuente: (Barrera, 2017)

Como podemos ver en la figura anterior, el intercambiador de calor tiene el objetivo de recibir flujo de calor del sol que se produce a través del vidrio y de la placa hasta llegar a calentar la tubería de cobre.

Los valores de temperatura se han tomado de la página de Weather Spark, por lo que con estos valores se realiza el calentamiento del agua.

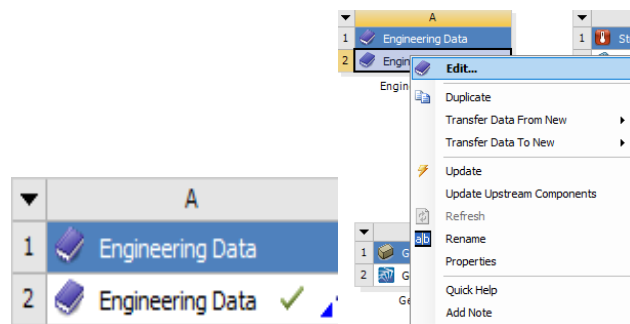
11.2.3. Procedimiento de Simulación

Después de realizar el modelo, se procede a analizar y fijar los parámetros para el modelado físico que se va a simular, para el posterior mallado del modelo y la obtención de resultados para el posterior análisis.

11.2.3.1. Datos de Ingeniería

Consiste en los datos previos para la realización de la simulación, por lo que aquí introducimos los datos; los puntos de inicio para la solución de ecuaciones, se debe definir de la manera más clara, por lo que se introducirá los datos del aire, placa de cobre, fibra de vidrio, vidrio, aislamiento de poliestireno y acero estructural, además de los modelos de la creación de una malla adecuada para la resolución del problema, se debe definir las condiciones de un contorno del problema de una manera clara según las propiedades de cada contorno (Anexo9).

Figura 41.- Engineering Date

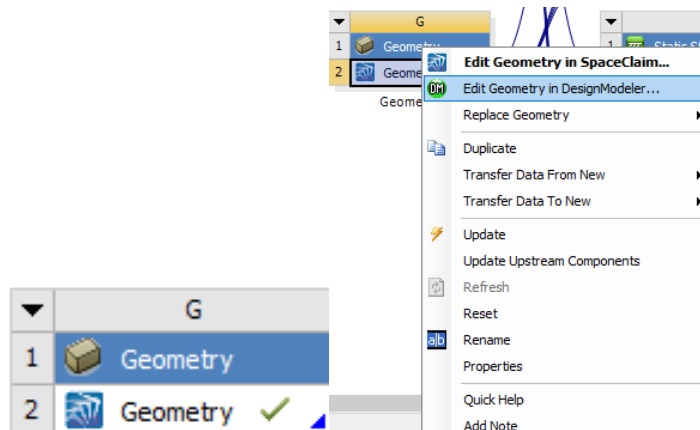


Fuente: Ansys – Thermal (2019)

11.2.3.2. Geometría

Para la geometría se utilizó un modelo realizado en AUTOCAD, con las medidas precisas antes realizadas, por lo que con el DesignModeler que es una herramienta de geometría diseñada específicamente para la creación y modificación de la geometría se procedió a cargar para el análisis (Anexo10).

Figura 42.- Geometry

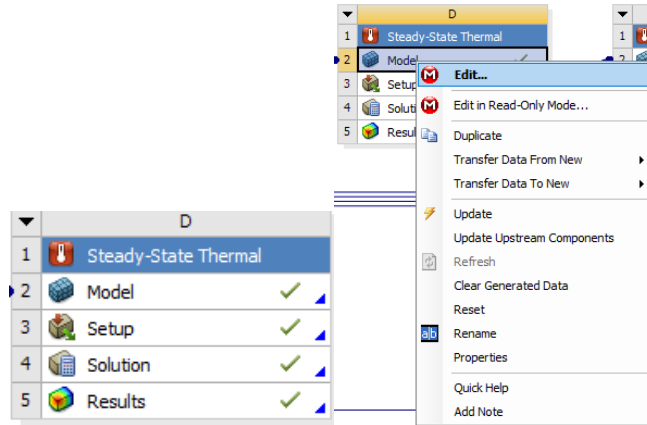


Fuente: Ansys – Thermal (2019)

11.2.3.3. Mallado

Para el análisis del módulo, se usa el mallado estructurado, esta malla se crea por default del Thermal (Anexo11).

Figura 43.- Model



Fuente: Ansys – Thermal (2019)

Las características de la malla creada por default en Thermal se muestran en la siguiente figura.

Figura 44.- Características de la malla por default

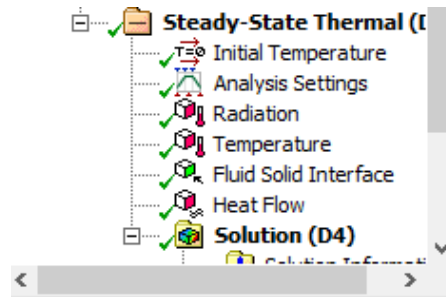
Details of "Mesh"		Details of "Mesh"	
<input type="checkbox"/> Display		<input type="checkbox"/> Element Size	Default
Display Style	Body Color	Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defaults		<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Physics Preference	Mechanical	Transition	Fast
<input type="checkbox"/> Relevance	0	Initial Size Seed	Assembly
Element Order	Program Controll...	Span Angle Center	Coarse
<input type="checkbox"/> Sizing		Bounding Box Di...	3,64240 m
Size Function	Adaptive	Minimum Edge L...	2,9296e-004 m
Relevance Center	Fine	<input type="checkbox"/> Quality	

Fuente: Ansys – Thermal (2019)

11.2.3.4. Preparación (Steady – State Termal)

En la siguiente configuración se procedió a la realización de inserción de datos, como son la temperatura inicial, radiación, temperatura ambiente y el flujo de calor (Anexo12).

Figura 45.- Preparación (Steady - State Termal)



Fuente: Ansys – Thermal (2019)

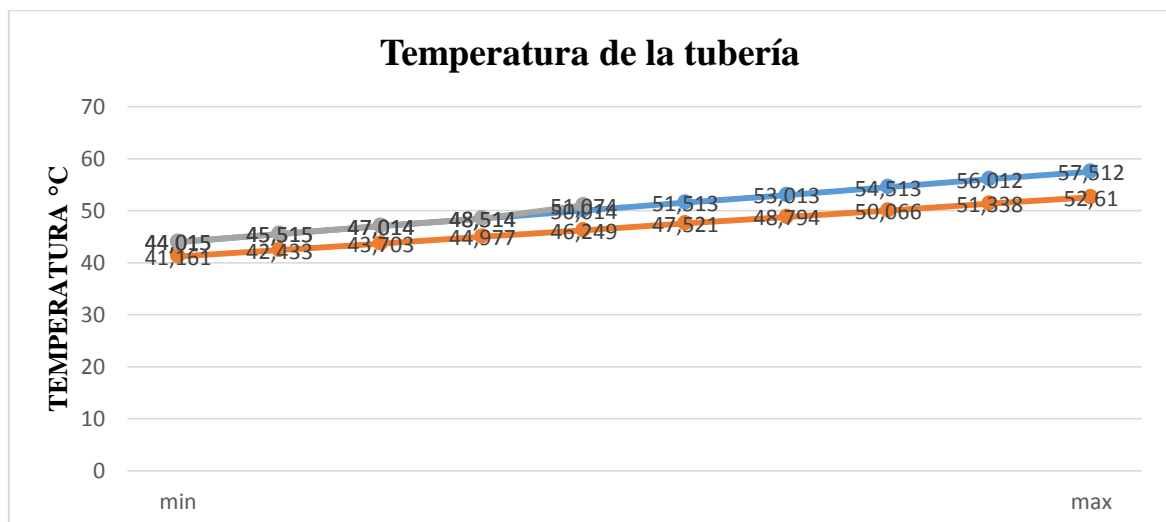
En esta parte del flujo de calor, la energía solar se realizó diferentes incidencias solares del año, las cuales se tomaron los tres valores más altos, los cuales son junio con 5100W, agosto 6100W y diciembre con 4800W.

11.2.4. Resultados de la Simulación CFD Thermal

Los resultados para cada modelo estudiado en esta simulación se muestran en las siguientes figuras (Anexo13). Como se explicó anteriormente se realizó la simulación con 3 diferentes incidencias solares del año.

- **Temperatura de la tubería:** en la siguiente tabla se muestra los resultados de la mayor concentración de calor en la tubería, siendo este 57,512°C que se concentra en la parte exterior del panel, siendo más preciso en la entrada y salida de la tubería.

Gráfico 1.- Temperatura de la tubería



Fuente: Autor (2019)

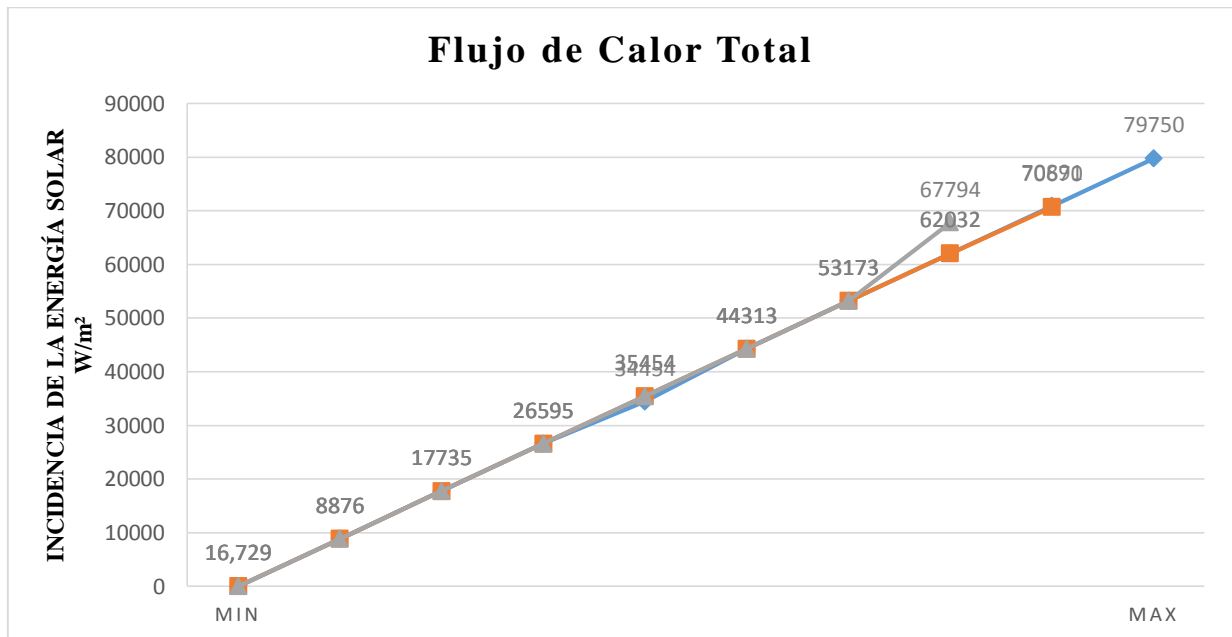
Tabla 11.- Temperatura de la Tubería (Valores Escalares)

Incidencia Solar (W)	Temperatura de la tubería (°C)									
	min									max
6100	44,015	45,515	47,014	48,514	50,014	51,513	53,013	54,513	56,012	57,512
5100	41,161	42,433	43,705	44,977	46,249	47,521	48,794	50,066	51,338	52,61
4800	44,015	45,515	47,014	48,514	51,074					

Fuente: Autor (2019)

- **Flujo de calor:** en la tabla siguiente se muestra los resultados del flujo de calor de las diferentes incidencias solares, siendo este valor el más alto con 79750 W/m².

Gráfico 2.- Flujo de Calor Total



Fuente: Autor (2019)

Tabla 12.- Flujo de Calor Total (Valores Escalares)

Incidencia Solar (W)	Flujo de Calor Total (W/m ²)									
	min									max
6100	16,729	8876	17735	26595	35454	44313	53173	62032	70891	79750
5100	15,268	7865,8	15716	23567	31418	39268	47119	54969	62820	70670
4800	14,853	7545,9	15077	22608	30139	37670	45201	52732	60263	67794

Fuente: Autor (2019)

11.3. Optimización Mediante la Simulación

Con la versión original del modelado en 3D se obtuvo los resultados, por lo que la mayor cantidad de calor se concentraba en la parte exterior del colector, es decir en la entrada y salida de la tubería, para lo que se realiza una optimización al modelado, este modificando las siguientes variables:

Para la optimización, se modificó dos variables:

- **Placa de Cobre:** La placa de cobre, en la versión original tiene un espesor de 3mm, por lo que en la optimización se redujo el espesor a 1mm, por ende aumenta el volumen de aire.
- **Aire:** En la optimización, como se redujo anteriormente la placa de cobre el aire aumenta su volumen de $2,7867e-002 \text{ m}^3$ a $3,1466e-002 \text{ m}^3$.

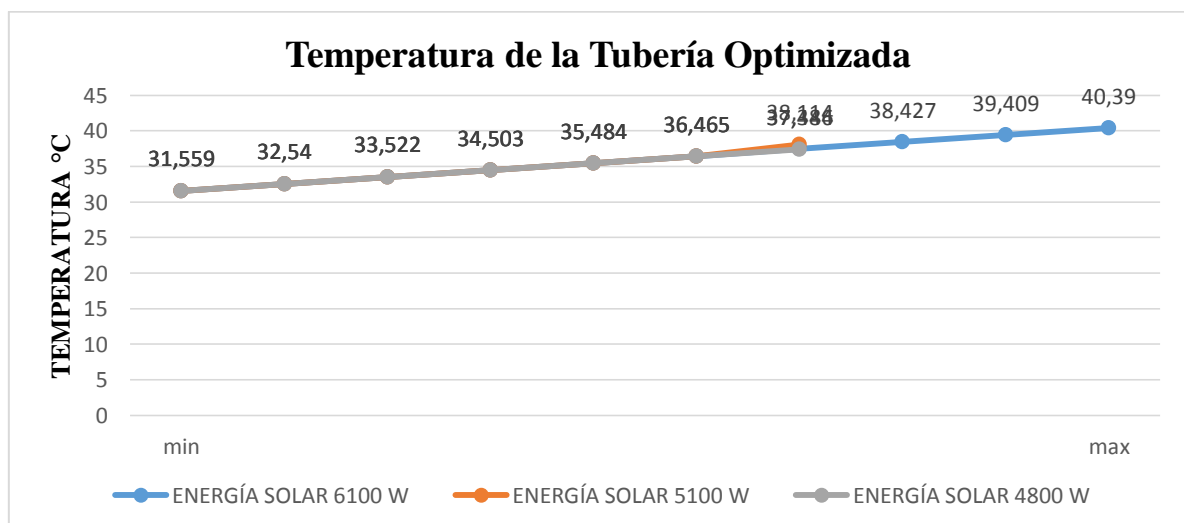
Los resultados son los siguientes:

Dentro de la simulación, los datos se mantienen lo mismo, la única variación es en la placa de cobre por lo que se modificó como se recalcó anteriormente.

Por lo que nos arroja los siguientes resultados (Anexo14).

- **Temperatura de la tubería optimizada:** en la siguiente tabla se muestra los resultados de la mayor concentración de calor en la tubería, siendo este $40,39^\circ\text{C}$, pero esta calor concentrándose la mayor o total parte en el centro de la tubería.

Gráfico 3.- Temperatura de la tubería optimizada



Fuente: Autor (2019)

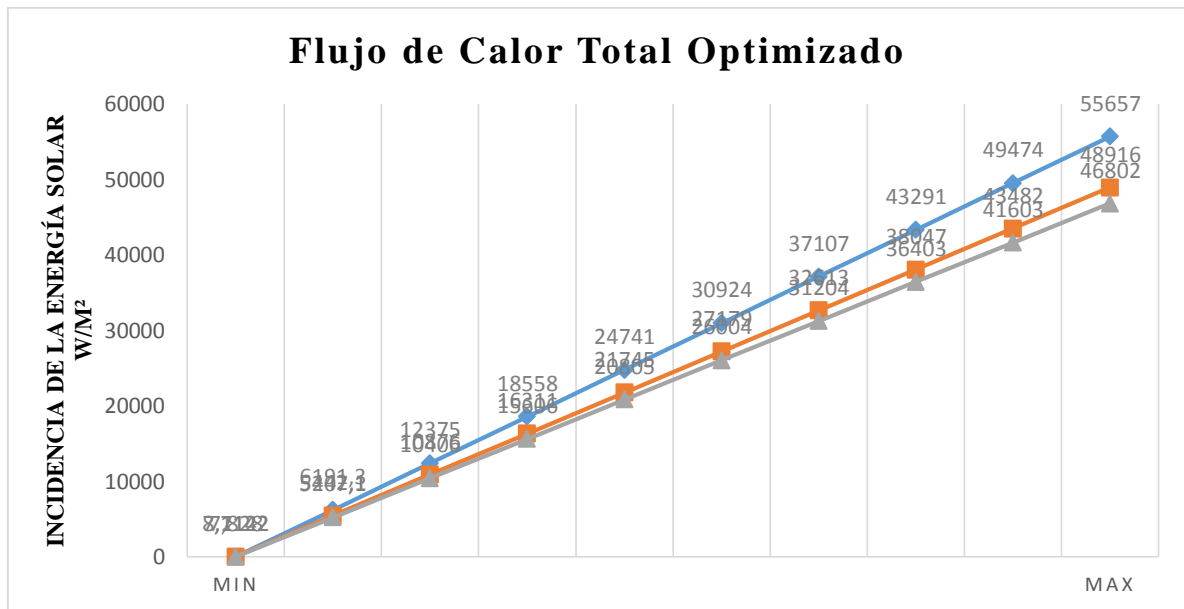
Tabla 13.- Temperatura de la tubería optimizada (Valores Escalares)

Incidencia Solar (W)	Temperatura de la tubería optimizada (°C)									
	min									max
6100	31,559	32,54	33,522	34,503	35,484	36,465	37,446	38,427	39,409	40,39
5100	31,559	32,54	33,522	34,503	35,484	36,465	38,114			
4800	31,559	32,54	33,522	34,503	34,484	36,465	37,384			

Fuente: Autor (2019)

- **Flujo de calor total optimizado:** en la tabla siguiente se muestra los resultados del flujo de calor total de las diferentes incidencias solares, siendo este el valor más alto de 55657 W/m².

Gráfico 4.- Flujo de Calor Total Optimizado



Fuente: Autor (2019)

Tabla 14.- Flujo de Calor Total Optimizado (Valores Escalares)

Incidencia Solar (W)	Flujo de Calor Total Optimizado(W/m ²)									
	min									max
6100	8,1122	6191,3	12375	18558	24741	30924	37107	43291	49474	55657
5100	7,828	5442,1	10876	16311	21745	27179	32613	38047	43482	48916
4800	7,7142	5207,1	10406	15606	20805	26004	31204	36403	41603	46802

Fuente: Autor (2019)

Para lo cual la optimización es concentrar la mayor cantidad de área caliente en el centro de la tubería, como se puede observar en el anexo 14, teniendo primero la versión no optimizada del anexo 13, siendo esta la concentración de calor en sus alrededores, más preciso parte exterior del colector, lo que son la entrada y salida del agua.

A continuación, se realiza los siguientes cálculos para la obtener algunos datos de temperatura después de haber realizado la simulación, para restos cálculos se ocupa los datos arrojados por el software.

11.3.1. Temperatura Interna de la Superficie del Tubo

Ecuación 14.- Ecuación para la conducción cilíndrica

$$q = -KA \frac{dT}{dr} = -K(2\pi rL) \frac{dT}{dr}$$

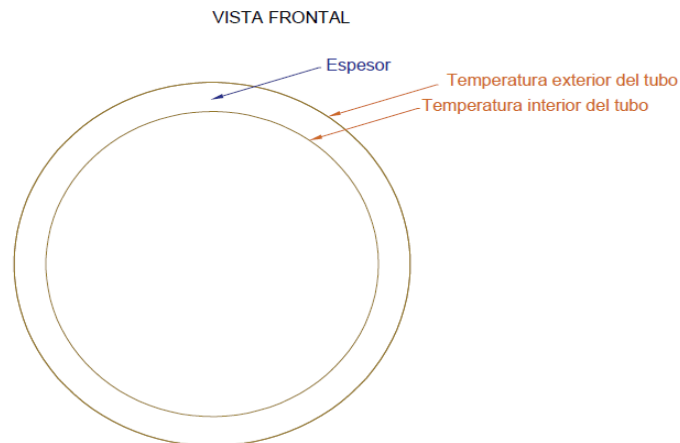
$$q = \frac{2\pi LK(T_2 - T_1)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

Donde:

- T = Temperatura del tubo de cobre
(T_1 = Temperatura interior, T_2 = Temperatura exterior)
- q = (Flujo de calor)
- K_{cu} = Conductividad termica del cobre
- L = Longitud de la tubería
- r = Radio del tubo (r_1 = radio interior, r_2 = radio exterior)

Dato:

- $T_2 = 40,39^\circ\text{C}$ (Temperatura exterior de la tubería, dato obtenido de la simulación)
- $q = 8,1122 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ (Flujo de calor total, dato obtenido de la simulación)
- $e = 3\text{mm} \sim 0,003\text{m}$ (Se considera un tubo de 1pulg, con un espesor de 3mm)
- $K_{cu} = 401 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$ (Tabla A1 Incropera)
- $r_1 = 12,5$
 $r_2 = 14$

Figura 46.- Vista Frontal de la tubería

Fuente: Autor (2019)

Reemplazando en la Ecuación 14:

$$q = \frac{2\pi L K (T_2 - T_1)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

$$q = \frac{2\pi(9\text{m})\left(401\frac{\text{W}}{\text{mK}}\right)(40,39 - T_1)^\circ\text{C}}{\ln\left(\frac{14}{12,5}\right)}$$

$$T_1 = - \frac{\left(8,11222\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right) \ln\left(\frac{14}{12,5}\right) - 2\pi(9\text{m})\left(401\frac{\text{W}}{\text{mK}}\right)(40,39)^\circ\text{C}}{2\pi(9\text{m})\left(401\frac{\text{W}}{\text{mK}}\right)}$$

$$T_1 = 40,38^\circ\text{C}$$

Temperatura interna de la superficie de la tubería de Cobre

11.3.2. Temperatura del Agua a la Salida del Panel:

Ecuación 15.- Temperatura media del fluido en la salida del tubo

$$\frac{\Delta T_o}{\Delta T_i} = \frac{T_s - T_e}{T_s - T_i} = \exp\left(\frac{\pi * \phi * L * h}{M * C_p}\right)$$

$$T_e = T_s - (T_s - T_i) \exp\left(-\frac{\pi * \phi * L * h}{M * C_p}\right)$$

Donde:

- T_e = Temperatura de salida (exit) [°C]
- T_s = Temperatura de la superficie (surface) [°C]
- T_i = Temperatura de entrada (input) [°C]
- exp = Exponencial
- π = Pi [3,14]
- \emptyset = Diametro de la tubería [m]
- L = Longitud de la tubería [m]
- h = Coeficiente de transferencia de calor por convección [$\frac{W}{m^2 \cdot K}$]
- \dot{M} = Flujo de Masa [$\frac{Kg}{s}$]
- C_p = Calor especifico [$\frac{J}{Kg \cdot K}$]

Diferencia media logarítmica de temperatura:

Datos:

- $T_s = 40,38^\circ\text{C}$ (Temperatura interna del tubo)
- $T_e = 29^\circ\text{C}$ (Temperatura promedio)
- $T_i = 18^\circ\text{C}$ (Temperatura promedio del agua)

Ecuación 16.- Media Logarítmica (Variación de temperatura entrada y salida)

$$\Delta T_e = T_s - T_e$$

$$\Delta T_i = T_s - T_i$$

Ecuación 17.- Media Logarítmica (Logaritmo natural)

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_e - \Delta T_i}{\ln\left(\frac{\Delta T_e}{\Delta T_i}\right)}$$

Reemplazando en la Ecuación 16:

$$\Delta T_e = T_s - T_e$$

$$\Delta T_e = 40,38 - 29$$

$$\Delta T_e = 11,38^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_i = T_s - T_i$$

$$\Delta T_i = 40,38 - 18$$

$$\Delta T_i = 22,38^\circ\text{C}$$

Reemplazando en la Ecuación 17:

$$\Delta T_{\ln} = \frac{\Delta T_e - \Delta T_i}{\ln\left(\frac{\Delta T_e}{\Delta T_i}\right)}$$

$$\Delta T_{\ln} = \frac{11,38 - 22,38}{\ln\left(\frac{11,38}{22,38}\right)}$$

$$\Delta T_{\ln} = 16,26^\circ\text{C}$$

Para lo cual, se interpola Cp y K de la siguiente tabla:

Tabla 15.- Propiedades de Agua Saturada

T(°C)	Cp($\frac{\text{J}}{\text{Kg} * \text{K}}$)	K($\frac{\text{W}}{\text{m} * \text{K}}$)
15	4186	0,589
16,26	4185	0,591
20	4182	0,598

Fuente: Tabla A-9, Yunus A. Cengel “Transferencia de Calor y Masa”, Pag. 854

$$K = 0,591 \frac{\text{W}}{\text{m} * \text{K}}$$

$$Cp = 4185 \frac{\text{J}}{\text{Kg} * \text{K}}$$

Para calcular \bar{h} :

$$Nu = \frac{\bar{h} * \phi}{K}$$

$$\bar{h} = \frac{K * Nu}{\phi}$$

$$\bar{h} = \frac{(0,591 \frac{\text{W}}{\text{m} * \text{K}}) * (3,66)}{0,025\text{m}}$$

$$\bar{h} = 86,52 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}}$$

Reemplazando en la Ecuación 15:

$$T_e = T_s - (T_s - T_i) \exp\left(-\frac{\pi \cdot \phi \cdot L \cdot h}{M \cdot C_p}\right)$$

$$T_e = 40,38^\circ\text{C} - (40,38 - 18)^\circ\text{C} * \exp\left(-\frac{\pi(0,025\text{m}) \cdot (9\text{m}) \cdot (86,52 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}})}{(0,033 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}) \cdot (4185 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}})}\right)$$

$$T_e = 40,38^\circ\text{C} - (22,38)^\circ\text{C} * 0,6422$$

$$T_e = 26^\circ\text{C}$$

- **Segunda Iteración:**

Se va a realizar una iteración, para tener una respuesta más precisa, se vuelve a recalcular todo con la nueva temperatura encontrada que vendría siendo 26°C la temperatura de salida. El ejercicio termina cuando la temperatura asumida coincide con la temperatura calculada.

Diferencia media logarítmica de temperatura:

Datos:

- $T_s = 40,38^\circ\text{C}$ (Temperatura interna del tubo)
- $T_e = 26^\circ\text{C}$ (Temperatura de salida)
- $T_i = 18^\circ\text{C}$ (Temperatura promedio del agua)

Reemplazando en la ecuación 16:

$$\Delta T_e = T_s - T_e$$

$$\Delta T_e = 40,38 - 26$$

$$\Delta T_e = 14,38^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_i = T_s - T_i$$

$$\Delta T_i = 40,38 - 18$$

$$\Delta T_i = 22,38^\circ\text{C}$$

Reemplazando en la Ecuación 17:

$$\Delta T_{\ln} = \frac{\Delta T_e - \Delta T_i}{\ln\left(\frac{\Delta T_e}{\Delta T_i}\right)}$$

$$\Delta T_{\ln} = \frac{14,38 - 22,38}{\ln\left(\frac{14,38}{22,38}\right)}$$

$$\Delta T_{\ln} = 18,09^\circ\text{C}$$

Por lo cual se interpola Cp y K de la siguiente tabla:

Tabla 16.- Propiedades de Agua Saturada

T(°C)	Cp($\frac{\text{J}}{\text{Kg} * \text{K}}$)	K($\frac{\text{W}}{\text{m} * \text{K}}$)
15	4186	0,589
18,09	4183,5	0,594
20	4182	0,598

Fuente: Tabla A-9, Yunus A. Cengel “Transferencia de Calor y Masa”, Pag. 854

$$K = 0,594 \frac{\text{W}}{\text{m} * \text{K}}$$

$$Cp = 4183,5 \frac{\text{J}}{\text{Kg} * \text{K}}$$

Para calcular \bar{h} :

$$Nu = \frac{\bar{h} * \phi}{K}$$

$$\bar{h} = \frac{K * Nu}{\phi}$$

$$\bar{h} = \frac{(0,594 \frac{\text{W}}{\text{m} * \text{K}}) * (3,66)}{0,025\text{m}}$$

$$\bar{h} = 86,96 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}}$$

Reemplazando en la Ecuación 15:

$$T_e = T_s - (T_s - T_i) \exp\left(-\frac{\pi \cdot \phi \cdot L \cdot h}{M \cdot C_p}\right)$$

$$T_e = 40,38^\circ\text{C} - (40,38 - 18)^\circ\text{C} * \exp\left(-\frac{\pi(0,025\text{m}) \cdot (9\text{m}) \cdot (86,96 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}})}{(0,033 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}) \cdot (4183,5 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}})}\right)$$

$$T_e = 40,38^\circ\text{C} - (22,38)^\circ\text{C} * 0,6406$$

$$T_e = 26,04^\circ\text{C}$$

11.3.3. Requerimiento de una bomba:

La bomba se utilizaría para transportar el agua a lo largo del panel en el tiempo estimado de 5 horas (10h00 – 15h00) del funcionamiento óptimo del colector

Para el flujo laminar del agua, se puede determinar el factor de fricción:

Ecuación 18.- Factor de Fricción

$$f = \frac{64}{\text{Re}}$$

Donde:

- f = Fricción
- Re = Reynolds

Para calcular Reynolds:

Ecuación 19.- Formula de Reynolds

$$\text{Re} = \frac{\bar{V}_{\text{prom}} \cdot D}{\mu}$$

Donde:

- \bar{V}_{prom} = Velocidad promedio [$\frac{\text{m}}{\text{s}}$]
- D = Diámetro de la tubería [m]
- μ = Viscosidad [$\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$] (11)

Para calcular la velocidad promedio:

Ecuación 20.- Velocidad Promedio

$$\bar{V} = \frac{4*Q}{\pi*Di^2}$$

Donde:

- \bar{V} = Velocidad promedio [$\frac{m}{s}$]
- Q = Caudal [$\frac{m^3}{s}$]
- Di = Diámetro interior [m]

Para conocer el caudal:

$$Q = \frac{120 \text{ l}}{1 \text{ h}} * \frac{\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}}}{\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}}$$

$$Q = 3,33 * 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Reemplazando en la Ecuación 20:

$$\bar{V} = \frac{4 * Q}{\pi * Di^2}$$

$$\bar{V} = \frac{4 * (3,33 * 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\pi * (0,025)^2}$$

$$\bar{V} = 0,068 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Reemplazando en la Ecuación 19:

$$Re = \frac{\bar{V}_{\text{prom}} * D}{\mu}$$

$$Re = \frac{0,068 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,025 \text{ m}}{0,801 * 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$Re = 2122,34$$

Por lo que se determina que es un flujo laminar, menor a 2300.

Reemplazando en la Ecuación 18:

$$f = \frac{64}{\text{Re}}$$

$$f = \frac{64}{2122,34}$$

$$f = 0,030$$

Entonces, la caída de presión en el tubo y la potencia requerida de bombeo quedan:

$$\Delta P = f * \frac{L}{D} * \frac{\rho * V_{\text{prom}}^2}{2}$$

$$\Delta P = 0,030 * \frac{12}{0,025} * \frac{995,7 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \left(0,068 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2}$$

$$\Delta P = 33,14 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Para calcular \dot{M} :

$$\dot{M} = \rho * Q$$

$$\dot{M} = 995,7 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 3,33 * 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\dot{M} = 3,31 * 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

Entonces tenemos que para la potencia de la bomba:

$$\dot{W}_{\text{bomba}} = \frac{\dot{M} * \Delta P}{\rho}$$

Donde:

- \dot{M} = Flujo de masa [$\frac{\text{Kg}}{\text{s}}$]
- ΔP = Caída de presión [$\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$]
- ρ = Densidad [$\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$] (12)

$$\dot{W}_{\text{bomba}} = \frac{\left(3,31 * 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{s}}\right) * 33,14 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{995,7 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\dot{W}_{\text{bomba}} = 1,10 * 10^{-4} \text{ KW}$$

$$\mathbf{W_{\text{bomba}} = 0,11 W}$$

Se necesita una bomba de 0.11W, solo para vencer la fricción en el tubo, cuando el agua fluye a lo largo del tramo de la tubería.

11.3.4. Diferencia media logarítmica de temperatura y la razón de la pérdida de calor del agua

Ecuación 21.- Media Logarítmica de Temperatura

$$\Delta T_{\text{ln}} = \frac{T_i - T_e}{\ln \frac{T_s - T_e}{T_s - T_i}}$$

Donde:

- T_e = Temperatura de salida (exit)
- T_i = Temperatura de entrada (input)
- T_s = Temperatura de la superficie (surface)

Datos:

- $T_e = 26,04^\circ\text{C}$
- $T_i = 18^\circ\text{C}$
- $T_s = 40,38^\circ\text{C}$

Reemplazando en la Ecuación 21:

$$\Delta T_{ln} = \frac{T_i - T_e}{\ln \frac{T_s - T_e}{T_s - T_i}}$$

$$\Delta T_{ln} = \frac{18 - 26,04}{\ln \frac{40,38 - 26,04}{40,38 - 18}}$$

$$\Delta T_{ln} = 18,28^\circ\text{C}$$

Ecuación 22.-Tasa de ingreso de calor al agua

$$\dot{Q} = h * A_s * \Delta T_{ln}$$

Para calcular \bar{h} :

Por lo que se interpola K de la siguiente tabla:

Tabla 17.- Propiedades de Agua Saturada

T(°C)	K($\frac{W}{m * K}$)
15	0,589
18,28	0,594
20	0,598

Fuente: Tabla A-9, Yunus A. Cengel "Transferencia de Calor y Masa", Pag. 854

$$K = 0,594 \frac{W}{m * K}$$

$$Nu = \frac{\bar{h} * \phi}{K}$$

$$\bar{h} = \frac{K * Nu}{\phi}$$

$$\bar{h} = \frac{(0,601 \frac{W}{m * K}) * (3,66)}{0,025m}$$

$$\bar{h} = 86,96 \frac{W}{m^2 * K}$$

Para calcular A_s :

$$A_s = \pi * D * L$$

$$A_s = \pi * (0.025\text{m}) * (9\text{m})$$

$$A_s = 0,70\text{m}^2$$

Reemplazando en la Ecuación 22:

$$\dot{Q} = \bar{h} * \text{area} * \Delta T_{\text{ln}}$$

$$\dot{Q} = 86,96 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}} * 0,70 \text{ m}^2 * 18,28^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q} = 1112,74\text{W}$$

11.3.5. Determinación del costo energético de un calentador eléctrico

Ecuación 23.- Energía Total

$$E = m * C_p * \Delta T$$

Donde:

- E = Energía total [KJ]
- m = Masa [Kg]
- C_p = Calor específico ⁽¹³⁾
- ΔT = Variación de la temperatura

Temperatura promedio:

$$\bar{T}_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{T_{\text{entrada}} + T_{\text{salida}}}{2}$$

$$\bar{T}_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{18 + 26,04}{2}$$

$$\bar{T}_{\text{H}_2\text{O}} = 22,02^\circ\text{C} \sim 295,17\text{K}$$

Para calcular la masa:

$$m = \rho * V$$

Donde:

- m = Masa [Kg]
- ρ = Densidad $[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}]$ ⁽¹⁴⁾
- V = Volumen $[\text{m}^3]$

13 Tabla A-9, Propiedades del agua saturada. (Temperatura promedio de 29,19°C), Pag. 854 – Transferencia de Calor, Yunus A. Cengel

14 Tabla A-9, Propiedades del agua saturada. (Temperatura promedio de 29,19°C), Pag. 854 – Transferencia de Calor, Yunus A. Cengel

Reemplazamos en el cálculo de masa:

$$m = \rho * V$$

$$m = 998 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 120 \frac{\text{l}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}}$$

$$m = 119,76 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

Reemplazando la Ecuación 23:

$$E = m * C_p * \Delta T$$

$$E = 119,76 \frac{\text{Kg}}{\text{día}} * 4182 \frac{\text{J}}{\text{Kg} * \text{K}} * (26,04 - 18)^\circ\text{C}$$

$$E = 4026724,01 \text{ J}$$

$$E = 4026,72 \frac{\text{KJ}}{\text{día}}$$

Tomando en cuenta que el kWh cuesta a 0,07875 ~ 0,08 USD para el sector que se está implementando el proyecto.

$$E = 4026,72 \frac{\text{KJ}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$E = 1,11 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

Para lo cual realizamos una regla de tres:

$$\begin{array}{cc} 1 \text{ kWh} & 0,08\text{USD} \\ 1,11 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} & X \\ 0,0888 \frac{\text{USD}}{\text{día}} & \end{array}$$

Calculando $0,0888 \frac{\text{USD}}{\text{día}}$ para el calentador eléctrico, a este valor se le multiplica por el número de días al mes.

$$0,0888 \frac{\text{USD}}{\text{día}} * 30 \frac{\text{días}}{\text{mes}} = 2,66 \frac{\text{USD}}{\text{mes}}$$

11.3.6. Costo energético de la bomba

Si se quisiera implementarse una bomba, lo cual cálculo se realizó anteriormente por lo que se requeriría una bomba de 0,11W, para lo cual buscando en el mercado se halló una bomba casi similar o mayor de 0,25W.

Tabla 18.- Características técnicas de la bomba

Nombre de la Bomba	Bomba Centrífuga LEO ACm75
Flujo máximo	1600 LPM
Cabeza máxima	110 M
Potencia de salida	0,25 – 7,5 W
Grado de protección	IPX4
Temperatura ambiente máxima	+40° C
Temperatura máxima de líquido	+60°C

Fuente: Tecnovapor (2019)

Ecuación 24.- Consumo energético

$$\text{Consumo} = \text{Potencia} * \text{tiempo} * \text{Costo de energía}$$

Reemplazando la Ecuación 24:

$$\text{Consumo} = \text{Potencia} * \text{tiempo} * \text{Costo de energía}$$

$$\text{Consumo} = (0,25\text{W}) * \left(5 \frac{\text{h}}{\text{día}}\right) * \left(0,08 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}}\right)$$

$$\text{Consumo} = (0,25\text{W}) * \left(5 \frac{\text{h}}{\text{día}}\right) * \left(0,08 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}}\right) \left(\frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ w}}\right)$$

$$\text{Consumo} = 0,0001 \frac{\text{USD}}{\text{día}}$$

Calculando $0,0001 \frac{\text{USD}}{\text{día}}$ para el costo energético de la bomba, a este valor se le multiplica por el número de días al mes.

$$\text{Consumo} = 0,0001 \frac{\text{USD}}{\text{día}} * 30 \text{ días}$$

$$\text{Consumo} = 0,003 \frac{\text{USD}}{\text{mes}}$$

11.3.7. Eficiencia del Colector

Ecuación 25.- Eficiencia del Colector

$$n = \frac{\text{salida deseada}}{\text{entrada requerida}}$$

Para calcular A_s :

$$A_s = \pi * D * L$$

$$A_s = \pi * (0.025\text{m}) * (9\text{m})$$

$$A_s = 0,70\text{m}^2$$

$$\text{Entrada requerida} = 6191,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 0,70\text{m}^2$$

$$\text{Entrada requerida} = 4333,91\text{W}$$

Reemplazando la Ecuación 25:

$$n = \frac{\text{salida deseada}}{\text{entrada requerida}}$$

$$n = \frac{1125,7\text{W}}{4933,91\text{W}}$$

$$n = 0,228 \sim 22,8\%$$

11.4. Determinación del Ahorro de Energía

En la siguiente tabla se determina el ahorro diario y mensual que aportaría el panel solar al sistema de calentamiento de agua del calefón.

Una explicación de los cálculos de la tabla siguiente es:

- Se parte de los valores de energía solar promedio por día de la página Weather Spark.
- Utilizando el valor del rendimiento del panel $n=22.8\%$, y el área del panel $A= 1,8 \text{ m}^2$ se determina la energía por día que el panel solar aprovecharía, por ende, esta energía

vendría siendo el ahorro por que ocupa una energía renovable y sin costos mensuales por el consumo.

- Luego, como ya se conoce la demanda de energía diaria para calentar 93 litros de agua desde 18°C hasta 40°C = 8560,5 KJ/día = 2,38 KWh/día que equivale a 71,4 KWh/mes, se encuentra la energía que se requiere comprar para alcanzar el objetivo. Se hace una resta (demanda de energía - energía del colector solar).
- Para la obtención mensual se le multiplica por los días que tiene el mes, considerando todos los días del mes porque el comedor llega a funcionar todos los días del año.

Tabla 19.- Comparación energética del Colector Solar y GLP

COMPARACIÓN ENERGETICA					
	INCIDENCIA SOLAR	ENERGÍA DEL COLECTOR SOLAR	ENERGÍA DEL CALEFÓN	ENERGÍA DEL COLECTOR SOLAR	ENERGÍA DEL CALEFÓN
	[kWh/m2 día]	[kWh/día]	[kWh/día]	[kWh/mes]	[kWh/mes]
Enero	5	2,05	0,33	63,6	10,17
Febrero	5	2,05	0,33	57,5	9,18
Marzo	5	2,05	0,33	63,6	10,17
Abril	5	2,05	0,33	61,6	9,84
Mayo	5,1	2,09	0,29	64,9	8,90
Junio	5,5	2,26	0,12	67,7	3,68
Julio	5,7	2,34	0,04	72,5	1,26
Agosto	6,1	2,50	-0,12	77,6	-3,83
Septiembre	6	2,46	-0,08	73,9	-2,47
Octubre	5,1	2,09	0,29	64,9	8,90
Noviembre	5	2,05	0,33	61,6	9,84
Diciembre	4,8	1,97	0,41	61,1	12,71
			Promedio mensual	65,86236	6,5293067

Fuente: Autor (2018)

Tabla 20.- Promedio de la comparación energética

PROMEDIO DE LA COMPARACIÓN ENERGETICA	
ENERGÍA DEL COLECTOR SOLAR	ENERGÍA DEL CALEFÓN
2,16 KWh/día	0,22 KWh/día
65,86 KWh/mes	6,53 KWh/mes

Fuente: Autor (2018)

Con el respectivo promedio, decimos que:

- 2,38 KWh/día es el 100%, cuanto será el porcentaje de energía del colector y calefón.

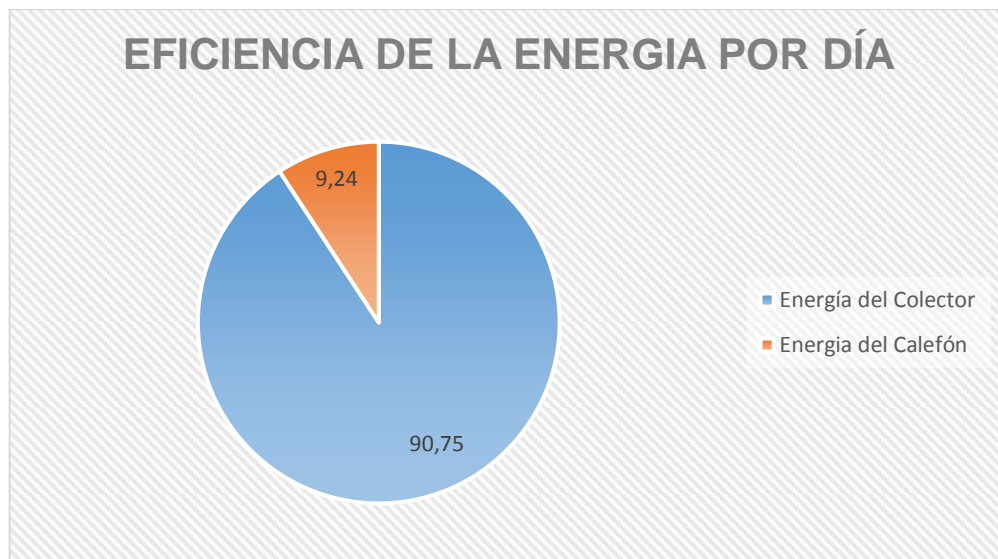
Energía del Colector

$$\frac{2,38 \text{ KWh/día}}{2,16 \text{ KWh/día}} \cdot \frac{100}{X} = 90,75\%$$

Energía del Calefón

$$\frac{2,38 \text{ KWh/día}}{0,22 \text{ KWh/día}} \cdot \frac{100}{X} = 9,24\%$$

Gráfico 5.- Eficiencia de la energía



Fuente: Autor (2018)

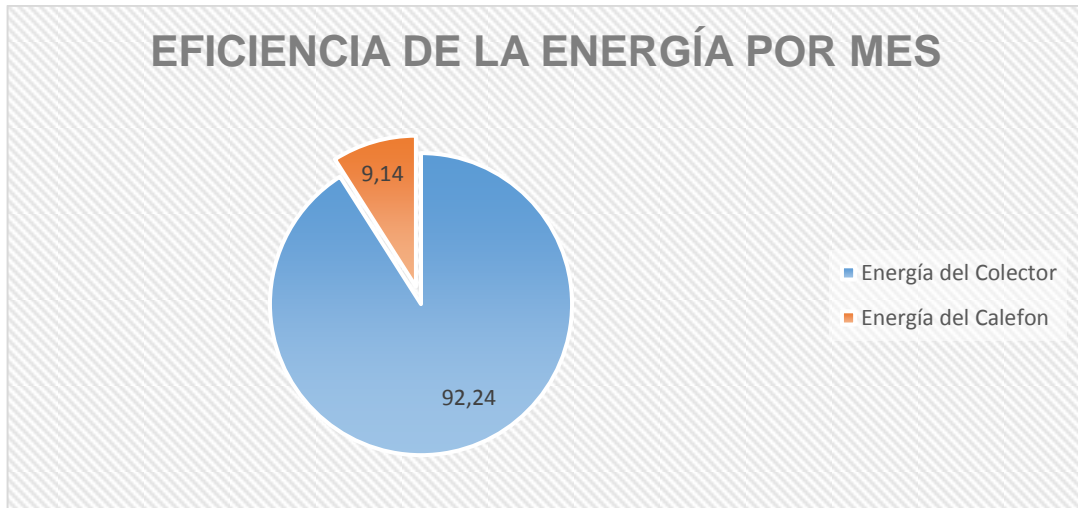
- 71,4 KWh/mes es el 100%, cuanto será el porcentaje de energía del colector y calefón.

Energía del Colector

$$\frac{71,4 \text{ KWh/mes}}{65,86 \text{ KWh/mes}} \cdot \frac{100}{X} = 92,24\%$$

Energía del Calefón

$$\frac{71,4 \text{ KWh/mes}}{6,53 \text{ KWh/mes}} \cdot \frac{100}{X} = 9,14\%$$

Gráfico 6.- Eficiencia de la energía por mes

Fuente: Autor (2018)

Por lo que tenemos un ahorro energético del 92,24% de energía mensual por parte del colector solar, reduciendo una gran demanda de energía del calefón. El sistema principal solo tendrá un aporte del 8,82% mensual al calentamiento de agua.

En los meses de Agosto y Septiembre se tienen valores negativos para el calefón, por lo que estos meses no se necesitara comprar energía, ya que el cubre la demanda total de energía requirente para el día.

11.5. Determinación del Ahorro Económico

Para la determinar el ahorro económico se procede a realizar los cálculos para saber cuánto cuesta un kWh del propano (GLP)

Precio de la energía del cilindro de Gas:

- 1 Cilindro tiene 15 Kg (Propano)
- 1 Cilindro cuesta 3,50 USD (A domicilio)

Entonces el precio de 1 Cilindro de Gas es:

$$\frac{3,50 \text{ USD}}{1 \text{ Cilindro Propano}} = \frac{3,50 \text{ USD}}{15 \text{ Kg (Propano)}}$$

Se requiere saber el precio de la energía del Propano en KWh, entonces utilizando el poder calorífico interno del propano que es 11.082 Kcal/Kg, y sabiendo que 1 Kcal = 0,00116222 KWh.

$$\frac{3,50 \text{ USD}}{15 \text{ Kg (Propano)} * 11.082 \frac{\text{Kcal (Propano)}}{\text{Kg (Propano)}} * \frac{0.00116222 \text{ KWh (Propano)}}{1 \text{ Kcal (Propano)}}} = 0,018 \frac{\text{USD}}{\text{KWh (Propano)}}$$

- **Ahorro Económico de la Energía del Colector Solar**

En la tabla 21 se determina la comparación económica de la energía del colector solar, siendo esta comparada con el costo del propano, se determina lo que se pagaría en caso que esta energía fuera consumida por el calefón.

Tabla 21.- Comparación económica del colector solar

COMPARACIÓN ECONÓMICA DEL COLECTOR SOLAR				
	ENERGÍA DEL COLECTOR SOLAR	COSTO DE ENERGIA DEL CALEFON	COSTO DE ENERGÍA AHORRADA POR EL PANEL SOLAR	COSTO DE ENERGÍA AHORRADA POR EL PANEL SOLAR MENSUAL
	[kWh/día]	[USD/kWh]	[USD/día]	[USD/mes]
Enero	2,05	0,018	0,04	1,14
Febrero	2,05	0,018	0,04	1,03
Marzo	2,05	0,018	0,04	1,14
Abril	2,05	0,018	0,04	1,11
Mayo	2,09	0,018	0,04	1,17
Junio	2,26	0,018	0,04	1,22
Julio	2,34	0,018	0,04	1,31
Agosto	2,5	0,018	0,05	1,40
Septiembre	2,46	0,018	0,04	1,33
Octubre	2,09	0,018	0,04	1,17
Noviembre	2,05	0,018	0,04	1,11
Diciembre	2,97	0,018	0,05	1,66
		Promedio de ahorro [USD]	0,04	1,23

Fuente: Autor (2018)

- **Ahorro Económico de la Energía del Calefón**

Tabla 22.- Comparación económica del calefón

COMPARACIÓN ECONÓMICA				
	ENERGÍA DEL CALEFÓN	COSTO DE ENERGÍA	COSTO DE ENERGÍA AHORRADA POR EL CALEFÓN	COSTO DE ENERGÍA AHORRADA POR EL CALEFÓN MENSUAL
	[kWh/día]	[USD/kWh]	[USD/día]	[USD/mes]
Enero	0,328	0,018	0,0059	0,18
Febrero	0,328	0,018	0,0059	0,17
Marzo	0,328	0,018	0,0059	0,18
Abril	0,328	0,018	0,0059	0,18
Mayo	0,28696	0,018	0,0052	0,16
Junio	0,1228	0,018	0,0022	0,07
Julio	0,04072	0,018	0,0007	0,02
Agosto	-0,12344	0,018	-0,0022	-0,07
Septiembre	-0,0824	0,018	-0,0015	-0,04
Octubre	0,28696	0,018	0,0052	0,16
Noviembre	0,328	0,018	0,0059	0,18
Diciembre	0,41008	0,018	0,0074	0,23
		Promedio de ahorro	0,0039	0,12

Fuente: Autor (2018)

Con la presentación de la tabla 21 y 22, se realiza la siguiente tabla comparativa:

Tabla 23.- Comparación mensual económica del ahorro del colector y gasto del calefón

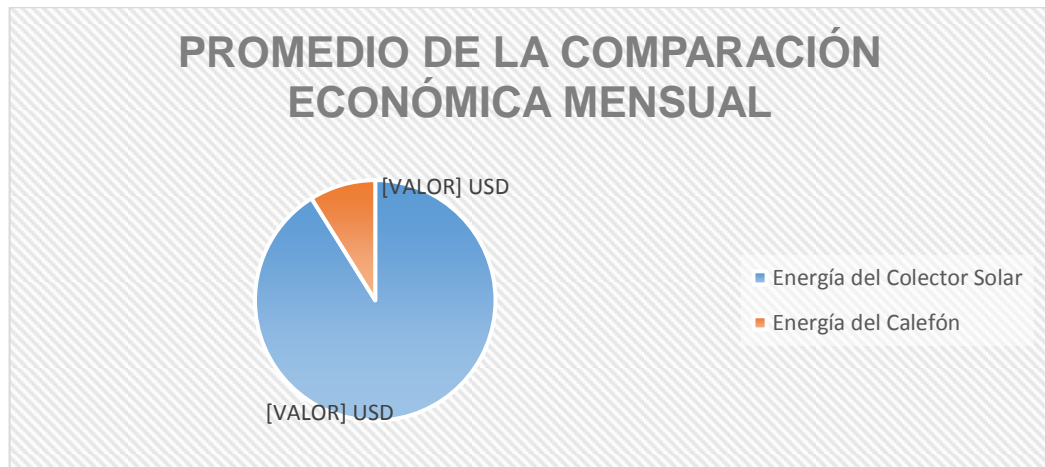
	COSTO DE ENERGÍA REQUERIDA PARA CALENTAR EL AGUA AL MES	COSTO DE ENERGÍA AHORRADA POR EL PANEL SOLAR	COSTO DE ENERGÍA A PAGAR POR MES DEL CALEFÓN
	[USD/mes]	[USD/mes]	[USD/mes]
Enero	1,32	1,14	0,18
Febrero	1,20	1,03	0,17
Marzo	1,32	1,14	0,18
Abril	1,29	1,11	0,18
Mayo	1,33	1,17	0,16
Junio	1,29	1,22	0,07
Julio	1,33	1,31	0,02
Agosto	1,35	1,40	-0,07
Septiembre	1,29	1,33	-0,04
Octubre	1,33	1,17	0,16
Noviembre	1,29	1,11	0,18
Diciembre	1,89	1,66	0,23

Fuente: Autor (2018)

Tabla 24.- Promedio de la comparación económica

PROMEDIO DE LA COMPARACIÓN ECONÓMICA	
ENERGÍA DEL COLECTOR SOLAR	ENERGÍA DEL CALEFÓN
1,23 USD/mes	0,12 USD/mes

Fuente: Autor (2018)

Gráfico 7.- Promedio de la comparación económica mensual

Fuente: Autor (2018)

Por lo que tenemos un ahorro promedio económico del 1,23 USD de costo mensual por parte del colector solar, reduciendo un gran gasto económico de energía del calefón. Por el sistema principal solo tendremos que pagar 0,12 USD mensual por el calentamiento de agua.

En los meses de Agosto y Septiembre se tienen valores negativos para el calefón, por lo que estos meses no se necesitara pagar el costo de energía, ya que el cubre la demanda total de energía requirente para el día el calefón.

12. IMPACTOS

- **TÉCNICO**

En la investigación realizada, la situación actual del suministro de agua caliente es un calefón, siendo este sistema principal, en cuanto la energía consumida en su totalidad es por este sistema, lo que nos lleva a requerir un sistema secundario de ayuda para el ACS. El desarrollo

del sistema secundario ayudara en el ahorro del suministro de energía y gasto, asegurando la reducción del sistema principal y teniendo una mejor eficiencia en la microempresa.

- **SOCIAL**

En este impacto el proyecto incidirá en el cambio de hábito del consumo de energía no renovable para el calentamiento de agua y por ende a una reducción energética del gas licuado de petróleo (GLP), beneficiándose la dueña de la microempresa con la reducción de la energía y gasto, siendo esto por el sistema secundario, que suplirá de energía para calentar el agua, por lo que con estas reducciones se traduce a una mejor calidad de vida.

- **AMBIENTAL**

Para contar con un buen manejo ambiental, se está realizando el proyecto con energía limpia y renovable, para reducir las contaminaciones con energía fósil, lo cual proviene de petróleo y otros contaminantes dañinos al medio ambiente. Por lo que, al trabajar con una energía renovable suma de mucha importancia a la hora de querer obtener el respectivo certificado ambiental, establecido en el Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente – Libro VI de la Calidad Ambiental.

- **ECONÓMICO**

La microempresa se beneficiará económicamente, gracias a la disminución de energía requerida para calentar el agua, siendo esta suplida por el colector solar; por tal se reduce también el costo de gasto mensual de requerimiento de pago por energía para el ACS, siendo este ahorro de 1,23 USD/mes, por lo que contará con ingresos extras a la economía de la microempresa.

13. PRESUPUESTO PARA LA ELABORACION DEL PROYECTO

En la siguiente tabla se detalla los gastos constituidos para el proyecto

Tabla 25.- Presupuesto

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL [USD]
PERSONAL					
1	Costo de capacitación de Ansys	1	horas empleadas	250	250
EQUIPOS Y SOFTWARE					
2	Computadora	1	unidad	550	550
3	Impresora	1	unidad	90	90
4	Termómetro de mercurio	1	unidad	15	15
5	Flexómetro	1	unidad	4,5	4,5
MATERIAL Y SUMINISTRO					
6	Resma de papel	1	paquete (500H)	3,5	3,5
7	Grapadora	1	unidad	0,5	0,5
8	Grapas	2	unidad	0,3	0,6
9	Carpeta	3	unidad	0,35	1,05
10	Cuaderno	1	unidad	0,4	0,4
11	Esferos	2	unidad	0,25	0,50
GASTOS POR SUMINISTROS					
11	Internet	300	horas empleadas	0,025	7,5
12	Electricidad	300	horas empleadas	0,04	12
13	Impresiones	300	impresiones	0,07	21
14	Copias	50	copias	0,03	1,5
GASTOS POR TRANSPORTES					
15	Transporte (Revisión del proyecto en la UTC)	10	visitas	0,5	5
16	Transporte (Visita al lugar del proyecto)	30	viajes	3,5	105

GASTOS VARIOS					
17	Alimentación	50	almuerzos	2,5	125
18	Software AUTOCAD	1	unidad	3	3
19	Software Ansys	1	unidad	10	10
TOTAL					1206,05

Fuente: Autor (2018)

Se realizó los costos, en caso que la Gerenta desee construir el colector solar, se anexa los estados de gasto del colector (Anexo15)

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- En la microempresa, se requiere una demanda diaria de 93 litros de agua caliente a una temperatura de 40°C, por lo que se realizó un estudio de la situación actual para la adquisición de energía para el calentamiento de agua del comedor, siendo esta suplida por un sistema de calefón de GLP (Propano), por lo que este tipo de sistema demanda toda la energía para calentar el agua, por ende se propuso un sistema secundario de un colector solar con energía renovable para tener un ahorro energético.
- A través de la determinación de la variable, siendo esta la energía; se reduce el rendimiento energético del sistema principal en un 92,24%, siendo este porcentaje reemplazado por el sistema secundario.
- Para reducir la demanda de energía del sistema de calefón de la microempresa, se ha determinado un sistema de calentamiento solar con las siguientes características, siendo esta el área de captación de 1,80 m², con un serpentín conformado por una tubería de cobre de 9m de longitud y un diámetro de 1", por lo cual se obtendrá un ahorro del consumo de energía del 92,24%.
- Para determinar un colector solar eficiente, se realizó una investigación bibliográfica de los colectores realizando una tabla comparativa de ventajas y desventajas, siendo este el más óptimo el colector solar plano.
- Para el análisis del estudio de captación de calor, se lo realizo la determinación de la demanda diaria de agua caliente siendo esta de 93 litros, permitiendo así tener un diseño y análisis del colector solar, para poder tener un sistema secundario para la reducción de energía del sistema principal.
- Para la determinación de pruebas de diferentes incidencias solares de meses del año con mayo de 5,1 kWh, agosto de 6,1 kWh y octubre de 5,1 kWh, siendo estas los tres meses con más incidencia solar, para lo que se simulo con el módulo de Ansys, teniendo como resultado la temperatura de la superficie externa de la tubería de cobre de 40,39°C y el flujo de calor de 8,1122 W/m².
- Se concluye que después de haber realizado todos los aportes, que cumple la optimización de la energía a la hora de calentar el agua, reduciendo el consumo de

energía del sistema principal, y ahorrando en el gasto un promedio mensual de 1,23 USD.

Recomendaciones:

- Se recomienda que, para una próxima investigación y diseño de un colector solar, se trate de poner la placa de cobre la más delgada, para así tener una mayor concentración y una mejor conducción de energía en la tubería de cobre.
- Para tener un mejor mallado, en la elaboración del modelo en 3D se debe utilizar “layers” para tener no tener una dificultad a la hora de mallar en el módulo del Ansys, teniendo en cuenta que si no tiene capas (layers) el módulo del programa le tomara como una sola pieza sólida.
- Se recomienda a la hora de guardar el archivo del modelo en 3D, se debe guardar en una versión 2010 o inferior para que le reconozca el módulo de Ansys.

15. BIBLIOGRAFÍA

- Abril, V. H. (7 de 3 de 2013). Metodología de la Investigación. Obtenido de Metodología de la Investigación.
- Barrera, A. (13 de 4 de 2017). Energia Solar.
- Bólivar Torres, P., & Leonidivna Naidiuk, O. (16 de 10 de 2018). Introducción al análisis térmico y fluidos mediante Ansys. Quito, Pichincha, Ecuador. Obtenido de Repositorio de la Universidad Politecnica Salesiana.
- Brundtland, H. (1987). Informe Brundtland. Noruega: Oxford University Press.
- Cedillo Sarmiento, J. A., & Marín Lazo, J. P. (Marzo de 2015). Estudio experimental y computacional mediante CFD ANSYS del flujo de aire a través de techos de edificaciones usando un túnel de viento. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Fausto, P. (13 de 04 de 2014). Universidad de los Andes Venezuela - Geoenseñanza. San Cristóbal, Táchira, Venezuela. Obtenido de Geoenseñanza Universidad de los Andes Venezuela.
- Holman, J. P. (1999). Transferencia de Calor. México: Compañía editorial continental, s.a. de c.v. México.
- Méndez, D. R. (2012). MIEMDNE, Dirección nacional de energía. Obtenido de MIEMDNE, Dirección nacional de energía.
- Peñañiel Saraguro, J. C., & Silva Manzano, C. H. (2012). Análisis, diseño e implementación de un sistema de energía auxiliar automatizado para colectores solares y calefones en el uso racional y eficiente de energía. Riobamba, Chimborazo, Ecuador.
- Universidad Nacional Experimental del Táchira. (2016). Fenómenos de Transporte. San Cristóbal, Táchira, Venezuela.
- Varas, V., & Pinedo, F. (2015). DISEÑO DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA MENOR A 1MW CONECTADA ALA S/E DE DISTRIBUCIÓN KENNEDY NORTE EN GUAYAQUIL (PAG.11). Guayaquil.

LINKOGRAFIA

- Ansys - Thermal. (EN LÍNEA). ANSYS. Obtenido de ANSYS: <https://www.ansys.com/products/structures/thermal-analysis>
- Ansys. (EN LÍNEA). Ansys Productos. Obtenido de <https://www.ansys.com/products/fluids>
- Ansys. (EN LÍNEA). Computational Fluid Dynamics Solution. Obtenido de http://www.ansys.stuba.sk/13_AUM_05/data/ANSYS_materialy/ANSYS_10_brochure/cfd-solution-10.pdf
- Carlos, P. (2 de 3 de 2015). Nergiza. Obtenido de Nergiza: <https://nergiza.com/sistema-solar-por-termosifon-que-es-y-como-funciona/>

- Grajales, T. (14 de 10 de 2002). Liferder. Obtenido de <https://www.liferder.com/tipos-investigacion-cientifica/>
- MEER. (21 de 3 de 2018). Factor Energia. Obtenido de Factor Energia: <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/que-es-la-eficiencia-energetica/>
- Mejía, G. M. (2018). Municipio de Mejia . Obtenido de <http://www.municipiodemejia.gob.ec/>
- Orrego, M. S. (EN LÍNEA). Simulacion de fluidos utilizando computadoras. Obtenido de http://mecanica.eafit.edu.co/~sorrego/IntroCFD_Mecapl.pdf
- Perez, C. (2015). Nergiza. Obtenido de <https://nergiza.com/>
- Renovable, E. S. (2017). Actiweb. Obtenido de <http://www.actiweb.es/solarenovable/pagina2.html>
- Selectra. (2018). Propanogas. Obtenido de Propanogas: <https://propanogas.com/faq/gas-licuado>
- Sharcnet. (EN LÍNEA). Sharcnet C.a. Obtenido de Sharcnet C.a.: https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/help/wb_sim/ds_static_thermal_analysis_type.html
- Weather Spark. (2019). *Weather Spark*. Obtenido de Weather Spark: <https://es.weatherspark.com/y/20030/Clima-promedio-en-Machachi-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Wolf, C. (11 de 5 de 2012). *Skenta*. Obtenido de <http://www.skenta.com.ar/colectores-solares/Aplicaciones>

ANEXOS

ANEXO 1. Ubicación más clara de la peladora “Chicken Farm”.



Ilustración 1.- Ubicación de la Peladora "Chicken Farm"



Fuente: Google Maps (2019)

ANEXO 2. Calefón a Gas de la Peladora “Chicken Farm”.

Fotografía 1.- Calefón Comando



Fuente: Autor (2019)

Fotografía 2.- Lugar donde se encuentra el calefón



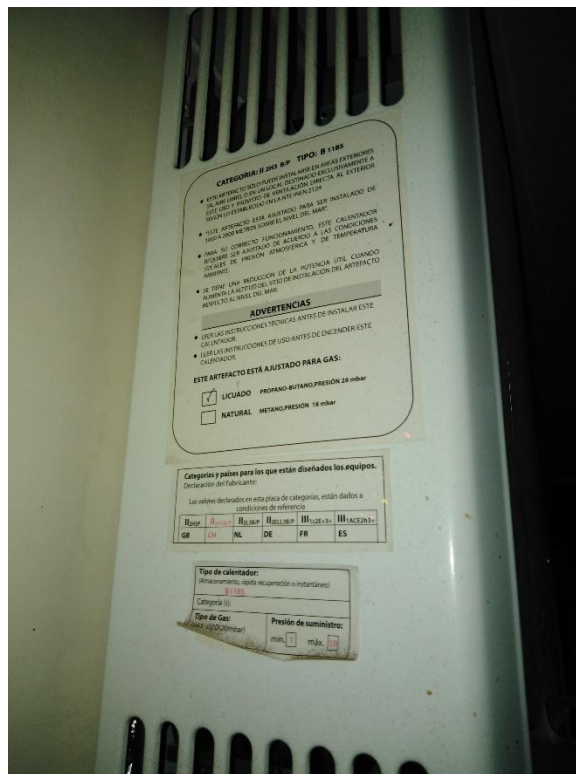
Fuente: Autor (2019)

Fotografía 3.- Tanques de gas del comedor de la peladora Chicken Farm



Fuente: Autor (2019)

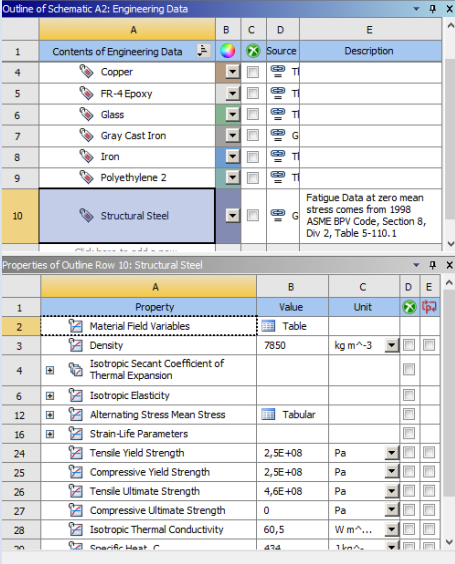
Fotografía 4.- Características del Calefón



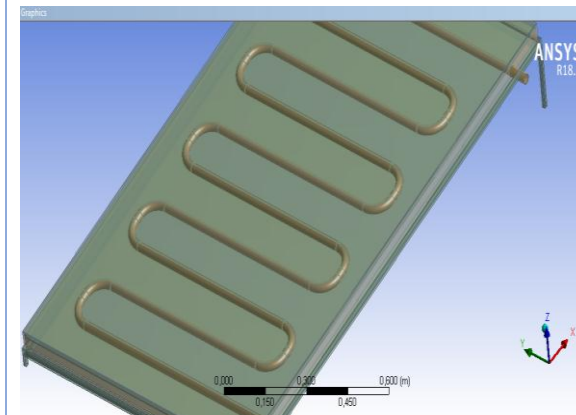
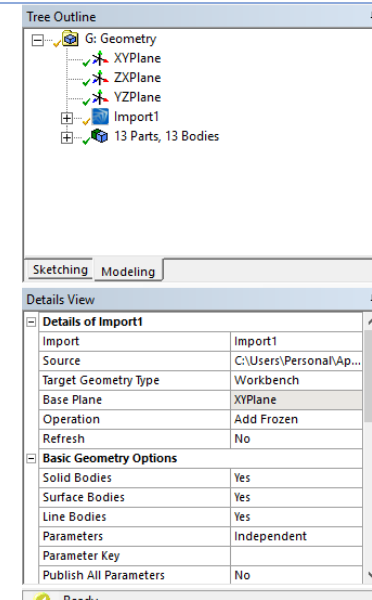
Fuente: Autor (2019)

ANEXO 3. Parámetros de Ansys Steady State Thermal.

Tabla.- 1 Parámetros de Ansys Thermal

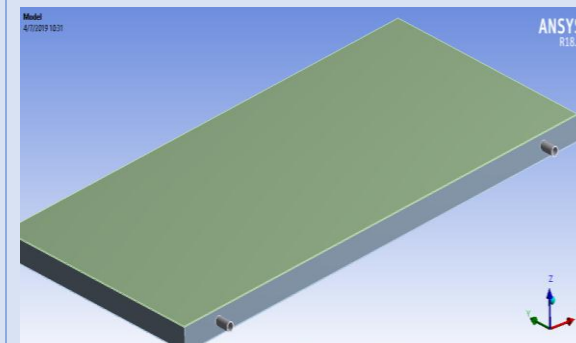
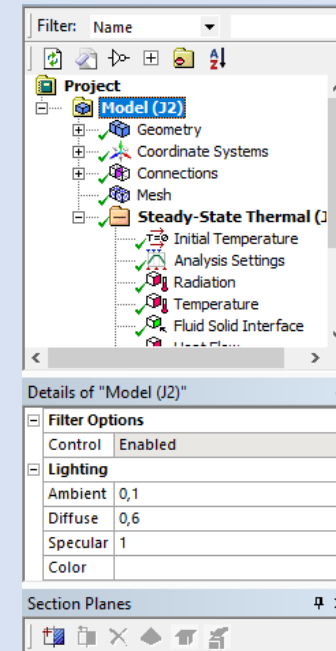
PARÁMETROS DEL ANSYS THERMAL	DESCRIPCIÓN	ILUSTRACIÓN
Engineering Date	<p>Consiste en los datos previos para realizar la simulación, aquí se introduce todos los puntos de inicio para la solución de ecuaciones, en esta parte se deben definir de una manera clara, la geometría de dominios, además de la creación de una malla adecuada para la resolución numérica, además de ellos las propiedades físicas del fluido y de otros materiales que formaran parte de la solución.</p>	 <p>The image shows two screenshots from the Ansys Engineering Data interface. The top screenshot, titled 'Outline of Schematic A2: Engineering Data', displays a list of materials including Copper, FR-4 Epoxy, Glass, Gray Cast Iron, Iron, Polyethylene 2, and Structural Steel. The bottom screenshot, titled 'Properties of Outline Row 10: Structural Steel', shows a table of material properties for Structural Steel, including Density (7850 kg m^-3), Tensile Yield Strength (2.5E+08 Pa), and Isotropic Thermal Conductivity (60.5 W m^-1 K^-1).</p>
Geometry	<p>Ansys Thermal, tiene a DesignModeler que es una herramienta de geometría diseñada específicamente para la creación y modificación de la geometría para el análisis. Pero también se puede exportar de otros modeladores o creadores en 3D; los cuales son como por ejemplo el</p>	

AutoCAD y SolidWork. El software DesignModeler proporciona un vínculo directo y bidireccional con los modelos geométricos creados en una amplia variedad de paquetes de CAD existentes, lo cual; en sí es una misma herramienta de CAD fácil de usar.



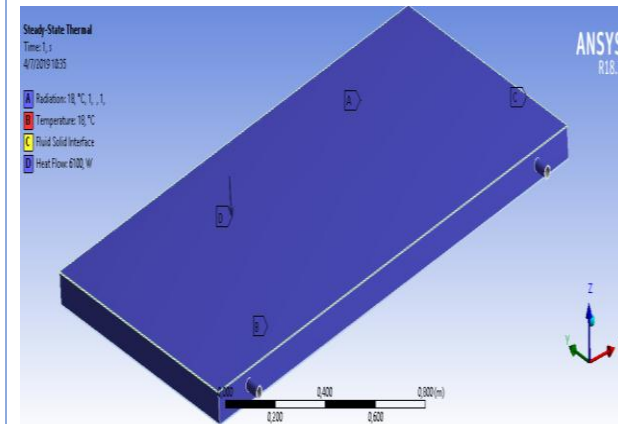
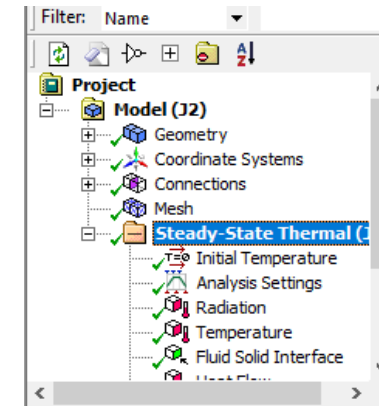
Model

Para proporcionar resultados precisos, CFD requiere tecnología de mallado, para eso existe dos opciones para los requisitos de mallado, dentro de la solución, los productos MeshTM y ICEM, el tamaño de mallado es importante para obtener un buen resultado, por tal razón se necesita que el refinado de la malla sea el idóneo en el área de estudio dependiendo de la precisión y la capacidad computacional del computador.



Setup

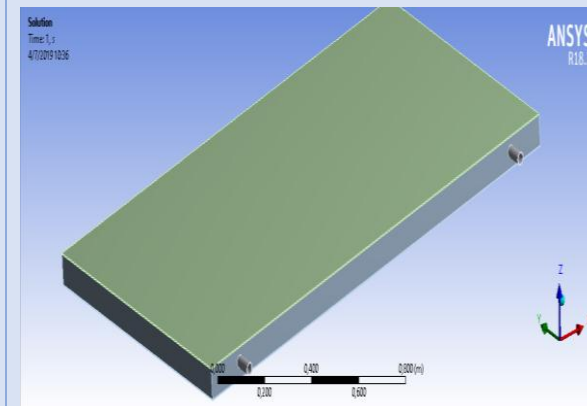
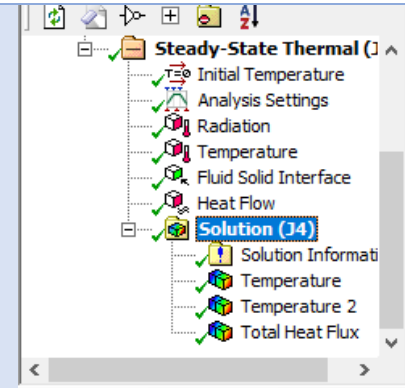
El módulo PreTM es una interfaz moderna, coherente e intuitiva para la definición de la compleja física, a veces necesaria para un análisis CFD. Además, esta herramienta lee uno o más mallas de una variedad de fuentes y proporciona al usuario con opciones para la asignación de dominio, así como las condiciones del contorno deben ser las precisas y considerar todo aspecto que influirá en los resultados.



Solution

El corazón avanzado de CFD en la interfaz de Ansys, es el solucionador multigrad algebraica CFX acoplado. En pocas palabras, se logra la convergencia fiable y rápida resolviendo así las ecuaciones. El solucionador es totalmente escalable alcanzando un aumento lineal en

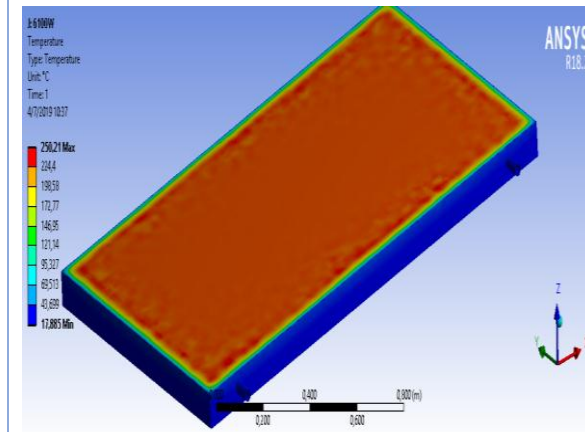
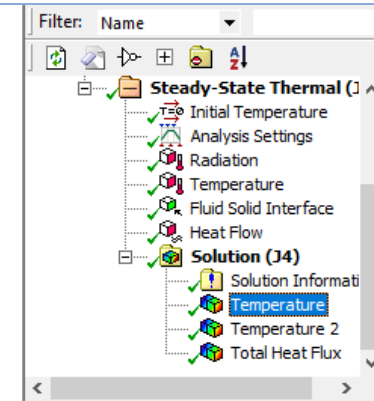
el tiempo de la CPU con el tamaño del problema, es fácil de configurar en ambos entornos y es representativa de la física verdadera. El Solver Manager™, proporciona información sobre el progreso de convergencia. El solucionador ANSYS CFX se ejecuta en el modo de alta precisión por defecto, lograr predicciones precisas de flujo robusta y fiable.



Results

Los resultados de Post-Procesamiento de CFD, utiliza una interfaz de usuario intuitiva para representar resultados tanto gráficos como cuantitativos. Las potentes capacidades de visualización de CFD-Post pueden proporcionar rápidamente información sobre el comportamiento del campo de flujo con características como

superficies, rebanadas, vectores, parcelas de superficie, animaciones y líneas de corriente.



Fuente: (Cedillo Sarmiento & Marín Lazo, 2015)

ANEXO 4. Datos Técnicos Climatológicos de la Ciudad de Estudio.

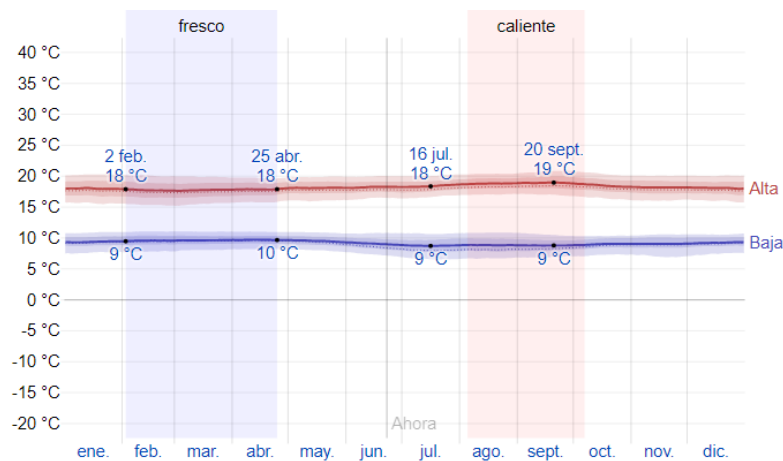
En base a la puntuación de turismo, la mejor época del año para visitar la ciudad para actividades de tiempo caluroso es desde mediados de junio hasta mediados de septiembre.

- **Temperatura:**

La temporada templada dura 2 meses, del 5 de agosto al 7 de octubre, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 19 °C. El día más caluroso del año es el 20 de septiembre, con una temperatura máxima promedio de 19 °C y una temperatura mínima promedio de 9 °C.

La temporada fresca dura 2,7 meses, del 2 de febrero al 25 de abril, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 18 °C. El día más frío del año es el 16 de julio, con una temperatura mínima promedio de 9 °C y máxima promedio de 18 °C.

Ilustración 2.- Temperatura máxima y mínima promedio



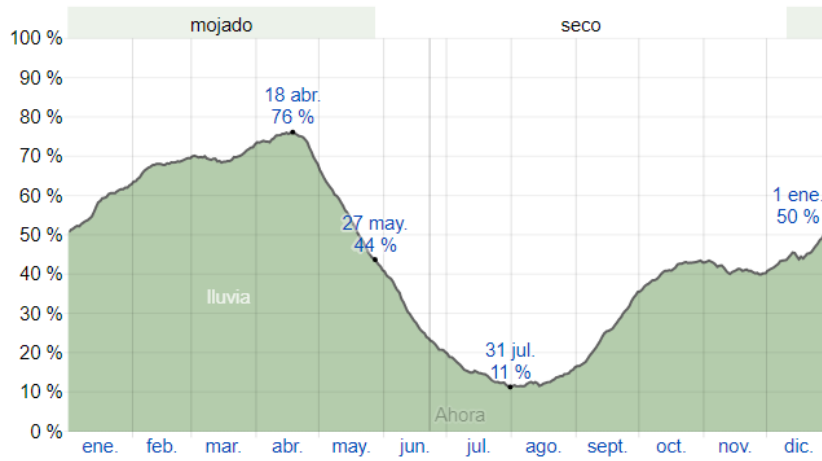
Fuente: Weather Spark (2019)

- **Precipitación:**

Un día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en la ciudad varía muy considerablemente durante el año. La temporada más lluviosa dura 5,5 meses, de 10 de diciembre a 27 de mayo, con una probabilidad de más del 44 % de que cierto día será un día lluvioso. La probabilidad máxima de un día lluvioso es del 76 % el 18 de abril.

La temporada más seca dura 6,5 meses, del 27 de mayo al 10 de diciembre. La probabilidad mínima de un día lluvioso es del 11 % el 31 de julio.

Ilustración 3.- Probabilidades diarias de precipitación



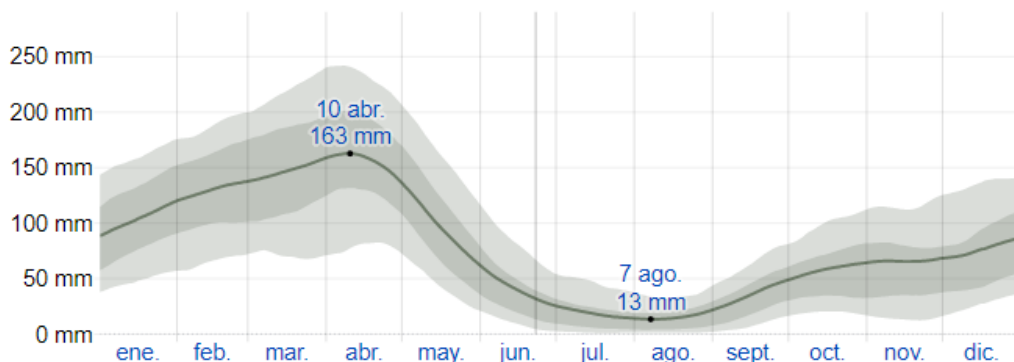
Fuente: Weather Spark (2019)

- **Lluvia:**

Para mostrar la variación durante un mes y no solamente los totales mensuales, mostramos la precipitación de lluvia acumulada durante un período móvil de 31 días centrado alrededor de cada día del año. La mayoría de la lluvia cae durante los 31 días centrados alrededor del 10 de abril, con una acumulación total promedio de 163 milímetros.

La fecha aproximada con la menor cantidad de lluvia es el 7 de agosto, con una acumulación total promedio de 13 milímetros.

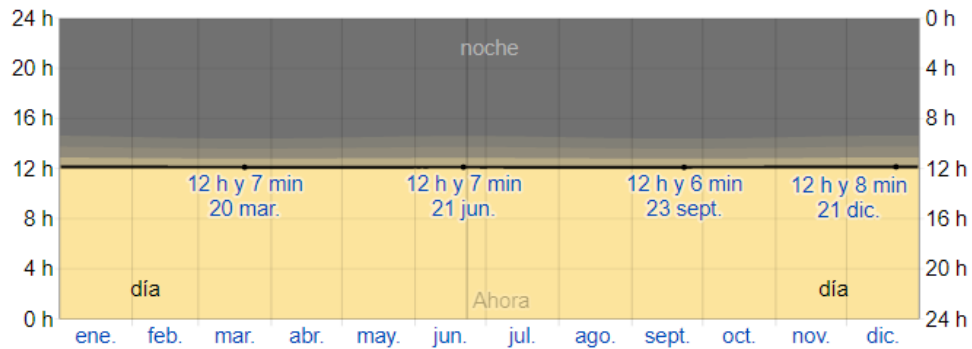
Ilustración 4.- Precipitación de lluvia mensual promedio



Fuente: Weather Spark (2019)

- **Sol:**

Ilustración 5.- Horas de luz natural y crepúsculo



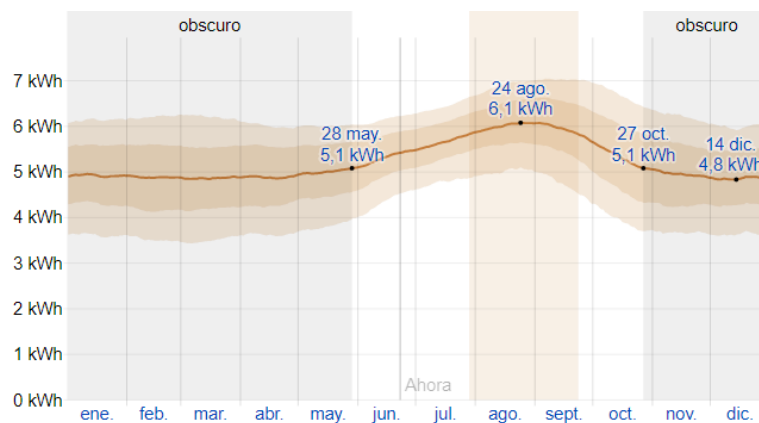
Fuente: Weather Spark (2019)

- **Energía Solar:**

Esta sección trata sobre la energía solar de onda corta incidente diaria, total que llega a la superficie de la tierra en un área amplia, tomando en cuenta las variaciones estacionales de la duración del día, la elevación del sol sobre el horizonte y la absorción de las nubes y otros elementos atmosféricos. El período más resplandeciente del año dura 1,8 meses, del 28 de julio al 23 de septiembre, con una energía de onda corta incidente diario promedio por metro cuadrado superior a 5,8 kWh. El día más resplandeciente del año es el 24 de agosto, con un promedio de 6,1 kWh.

El periodo más obscuro del año dura 7,0 meses, del 27 de octubre al 28 de mayo, con una energía de onda corta incidente diario promedio por metro cuadrado de menos de 5,1 kWh. El día más obscuro del año es el 14 de diciembre, con un promedio de 4,8 kWh.

Ilustración 6.- Energía solar de onda corta incidente diario promedio

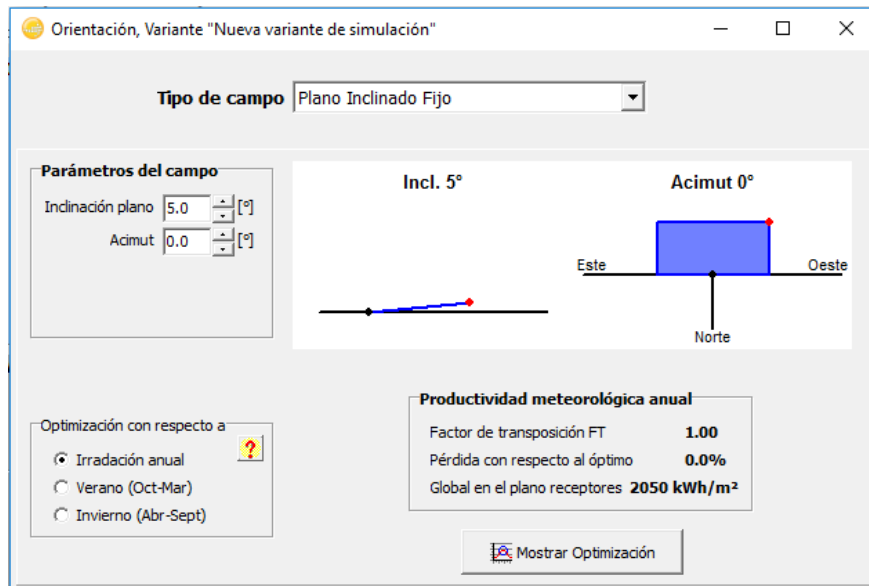


Fuente: Weather Spark (2019)

ANEXO 5. Inclinación del Panel.

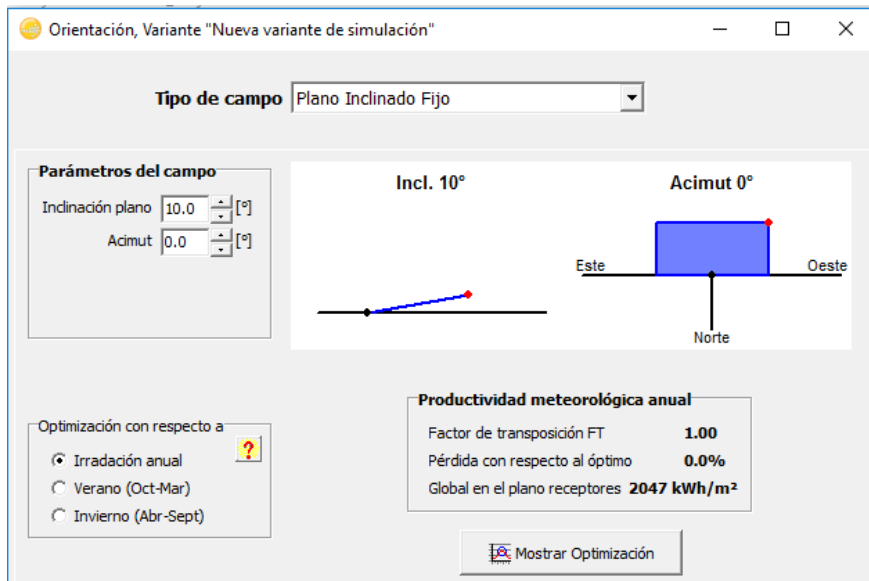
Para la inclinación se realizó las siguientes simulaciones en el software PVSyst, para la ciudad de Machachi, para así poder lograr la mejor inclinación del panel, receptando la mayor energía solar posible en el colector. Para lo cual se realizó pruebas con inclinación en una escala de 5° cada uno

Ilustración 7.- Inclinación de 5°



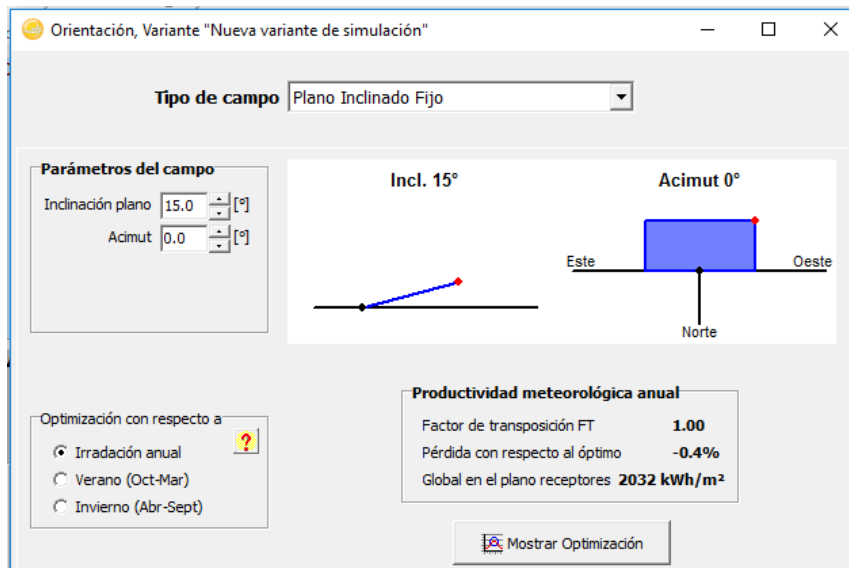
Fuente: Software PVSyst

Ilustración 8.- Inclinación de 10°



Fuente: Software PVSyst

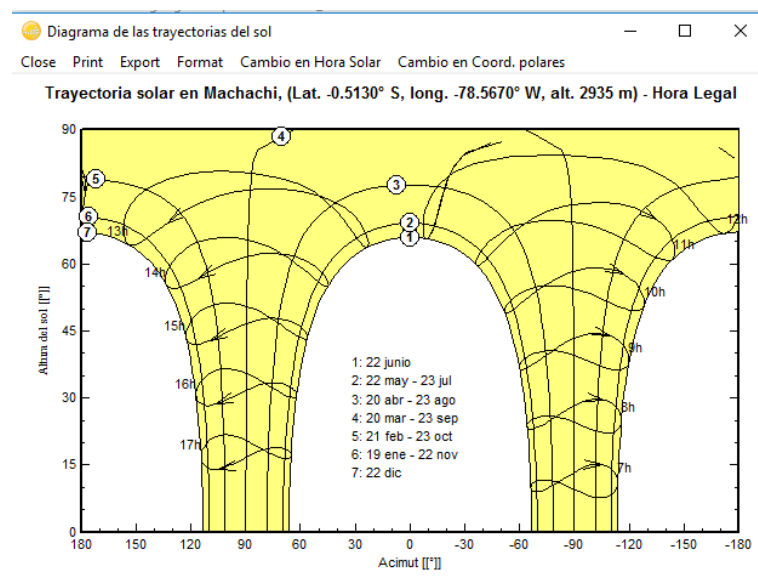
Ilustración 9.- Inclinación de 15°



Fuente: Software PVSyst

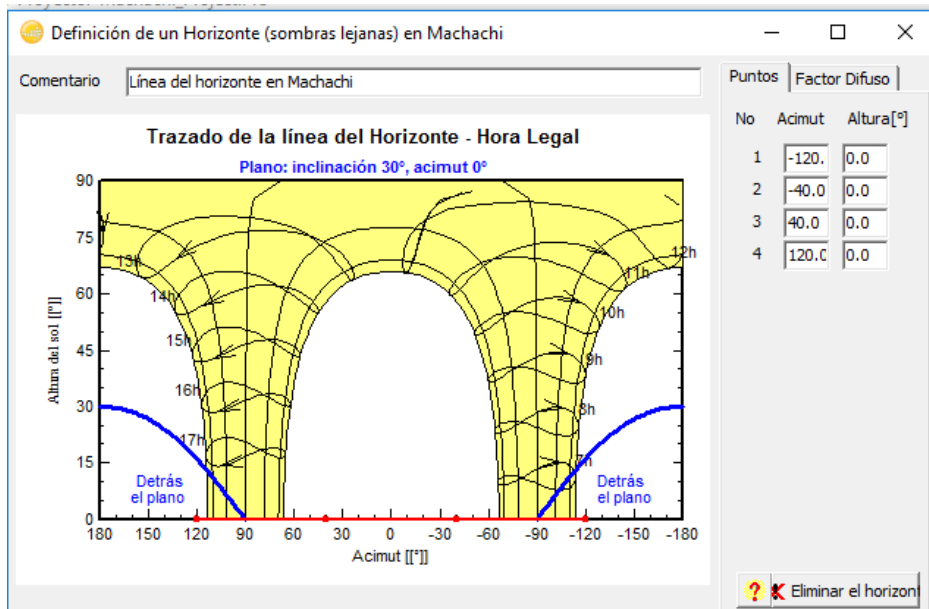
Lo cual se puede observar, la inclinación del panel a un ángulo de 15°, las pérdidas en la productividad del aprovechamiento de la irradiación anual aumentan hasta casi un 0.5%, mientras que con una inclinación de 5° las pérdidas son del 0%, por lo que el ángulo de inclinación del panel solar debe ser el menor posible de pérdidas de acuerdo a la ubicación. Por lo que se seleccionó un plano inclinado fijo, con ángulo Beta de 5° y Acimut de 0°.

Ilustración 10.- Inclinación de 5° - Diagrama de Trayectoria del Sol



Fuente: Software PVSyst

Ilustración 11.- Trazado de la línea del horizonte

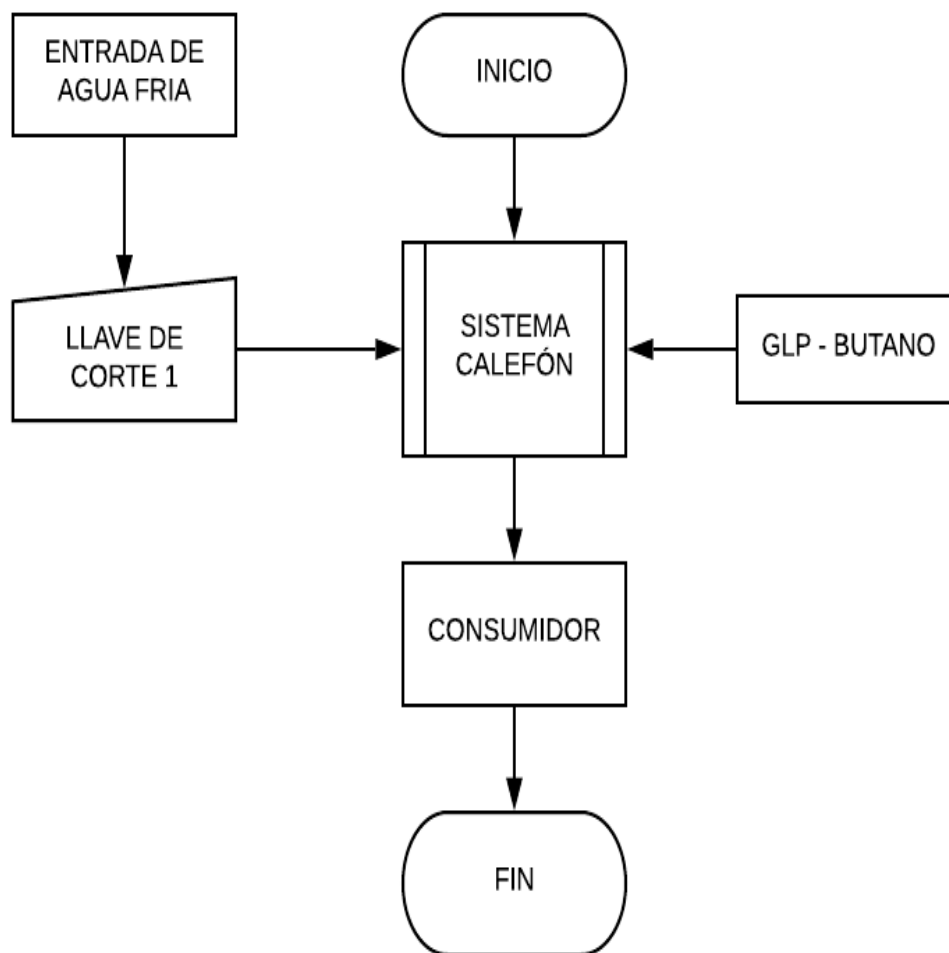


Fuente: Software PVSyst

La inclinación también se considera por el lugar en el que nos encontramos, estando el Ecuador en el centro de la tierra, por lo que el sol se encuentra sobre nosotros. Lo cual no es crítico tanto la inclinación, ya que como se recalcó nos encontramos en un lugar estratégico del sol.

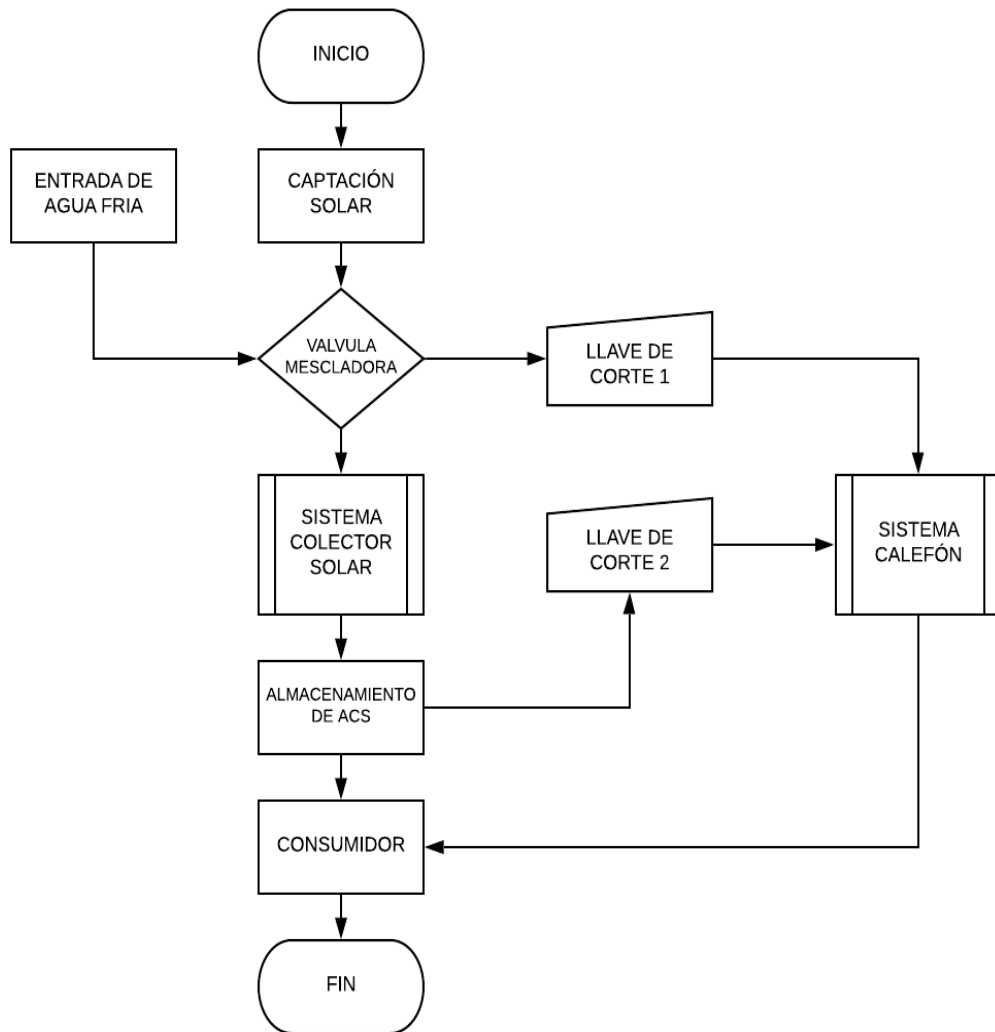
ANEXO 6. Diagrama de flujo del Sistema de ACS

Diagrama 1.- Diagrama de flujo del sistema normal para ACS



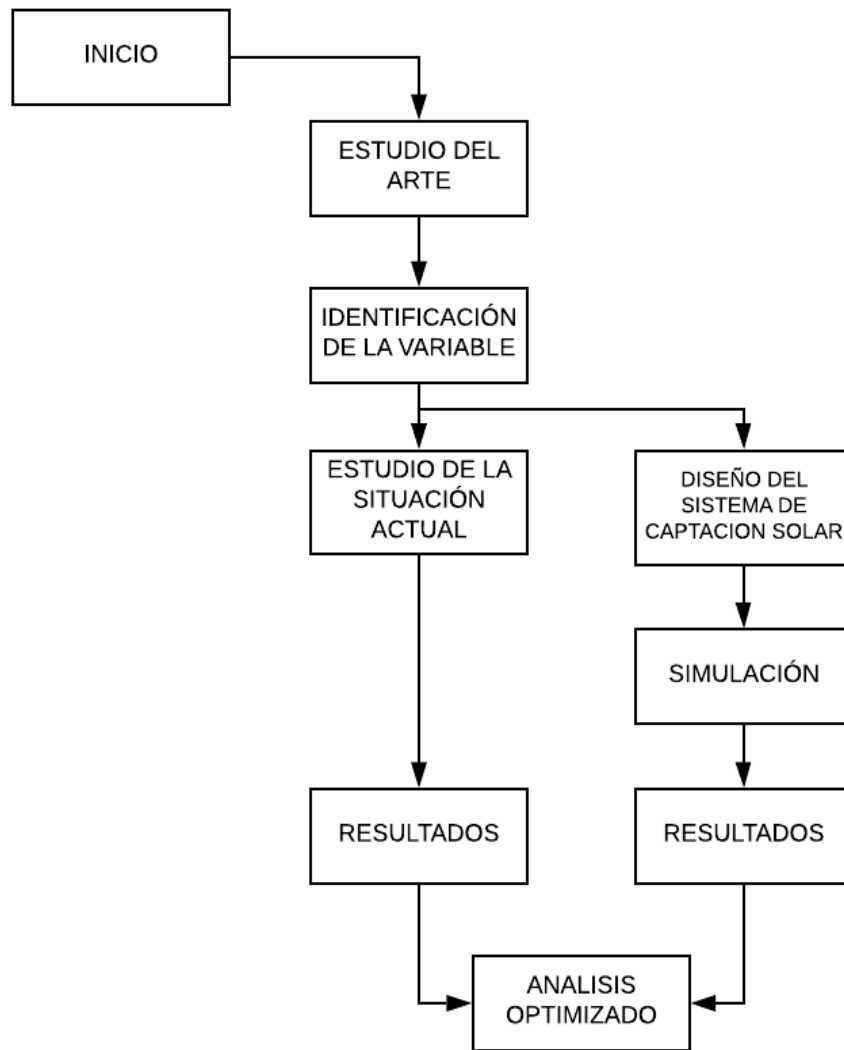
Fuente: Autor (2019)

Diagrama 2.- Diagrama de flujo del sistema optimizado para ACS



Fuente: Autor (2019)

Diagrama 3.- Diagrama de flujo del proyecto



Fuente: Autor (2019)

ANEXO 7. Fotografías de la toma de muestras para la demanda diaria.

Fotografía 5.- Toma de Muestras en el Comedor



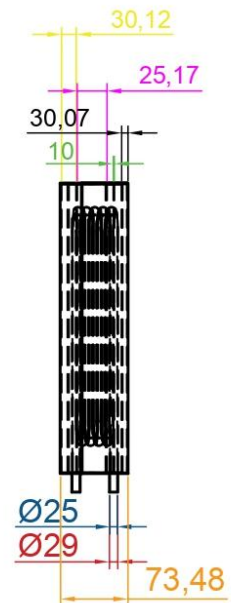
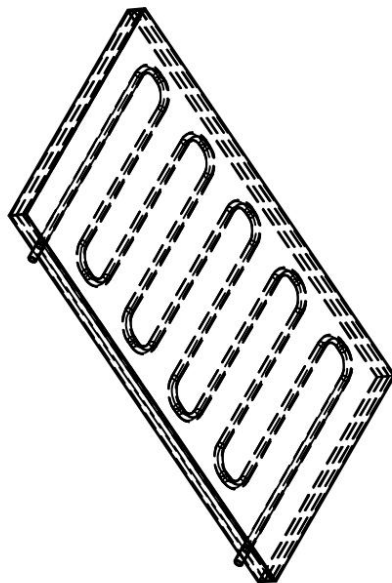
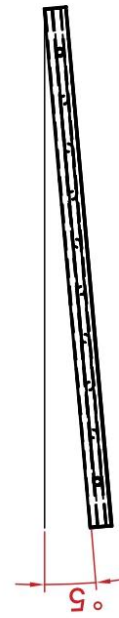
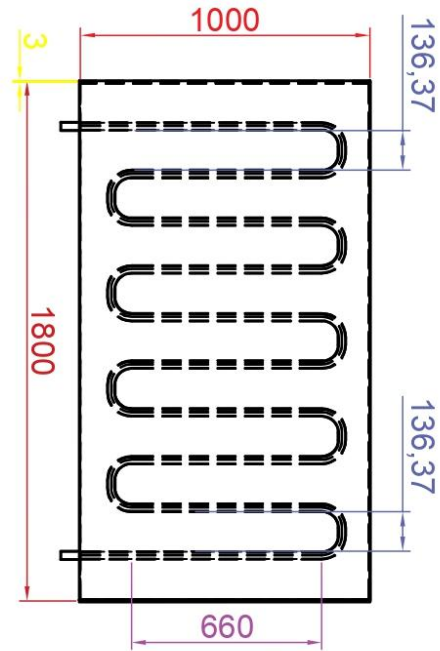
Fuente: Autor (2018)

Fotografía 6.- Toma de Muestras



Fuente: Autor (2018)

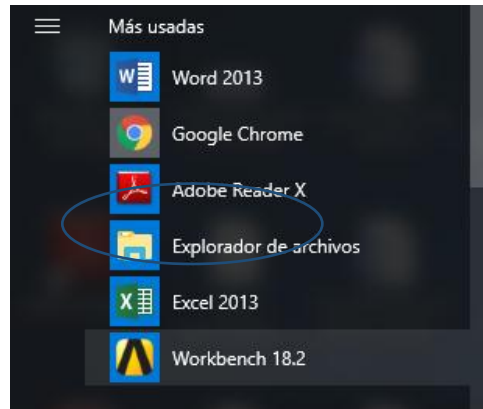
ANEXO 8. Diseño y medidas del modelo del Panel Solar.



ANEXO 9. Datos de Ingeniería

1. Ingresamos en el Ansys dando doble clic izquierdo.

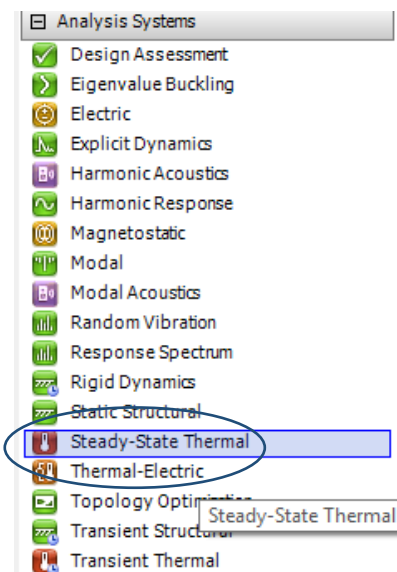
Ilustración 12.- Workbench 18.2



Fuente: Ansys (2019)

2. Buscamos en la barra de menú izquierda del programa el modulo “Steady – State Thermal” y damos doble clic izquierdo.

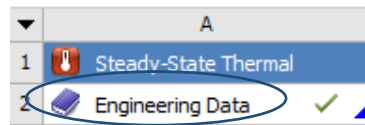
Ilustración 13.- Menú del Sistema de Análisis



Fuente: Ansys (2019)

3. Una vez abierto el modulo, procedemos a cargar los datos

Ilustración 14.- Datos de Ingeniería



Fuente: Ansys (2019)

A continuación se detalla las propiedades que encontramos dentro de datos de ingeniería. El bloque de manejo de los materiales filtra los contenidos de tal manera que se visualizan solo los elementos aplicables para la selección actual.

Tabla.- 2 Descripción del área de trabajo

LITERAL	ENCABEZADO DE LA VENTANA	DESCRIPCIÓN
A	Toolbox, (ventana de propiedades de materiales)	Contiene propiedades, que pueden ser utilizadas al seleccionar los materiales.
B	Outline Filter, (ventana de fuentes de datos)	Visualiza las fuentes de datos de los materiales, su ubicación y descripción.
C	Properties Pane, (panel de propiedades)	Visualiza las propiedades del elemento seleccionado en el panel de estructura de datos (Outline Pane).
D	Table Pane, (panel de tablas)	Visualiza los datos tabulados de elemento seleccionado en el panel de propiedades (Properties Pane).
E	Chart Pane, (panel de diagramas)	Visualiza el diagrama del elemento seleccionado en el panel de propiedades (Properties Pane).

Fuente: (Bólivar Torres & Leonidivna Naidiuk, 2018)

Ilustración 15.- Engineering Date

TRANSFERENCIA DE CALOR - Workbench

File Edit View Tools Units Extensions Jobs Help

Project A2:Engineering Data

Filter Engineering Data Engineering Data Sources

Toolbox

Outline of Schematic A2: Engineering Data

Table of Properties Row 2: Structural Steel Field Variables

Properties of Outline Row 10: Structural Steel

Chart: No data

Ready Job Monitor... Show Progress Show 0 Messages

A

B

C

D

E

	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data				Description
4	Copper				
5	FR-4 Epoxy				
6	Glass				
7	Gray Cast Iron				
8	Iron				
9	Polyethylene 2				
10	Structural Steel				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1

	A	B	C	D	E
1	Variable Name	Unit	Default Data	Lower Limit	Upper Limit
2	Temperature	C	22	Program Controlled	Program Controlled

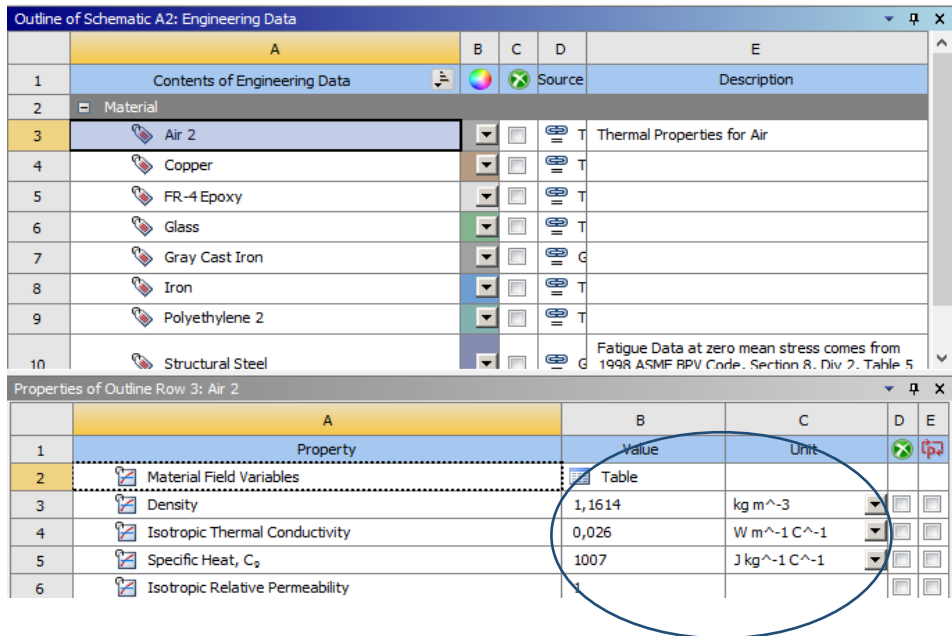
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular			
16	Strain-Life Parameters				
24	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa		
25	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa		
26	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		
28	Isotropic Thermal Conductivity	60,5	W m ⁻¹ K ⁻¹		
29	Specific Heat	434	J kg ⁻¹ K ⁻¹		

Fuente: Ansys Thermal (2019)

4. Como se muestra en las siguientes ilustraciones, en esta parte tenemos todas las variables (partes del colector) que compone el panel solar, cada elemento o material esta introducido directamente desde el programa, por lo que el software tiene diferentes materiales, lo que viene sus datos cargados, por lo mismo solo tenemos que elegir sin tener la necesidad de modificar o cambiar algún valor del elemento.

- **Aire:**

Ilustración 16.- Datos del entorno del Aire



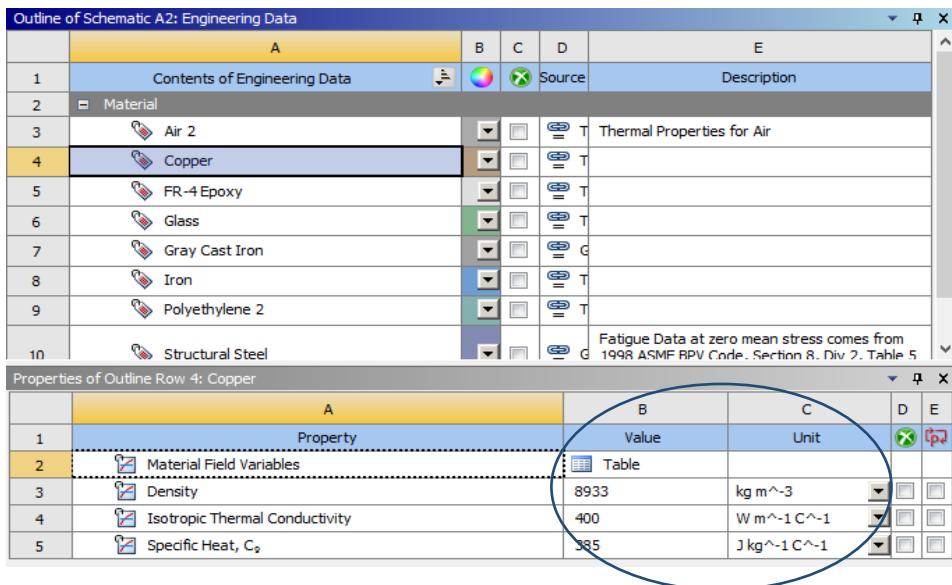
A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data	Source		Description
2	Material			
3	Air 2			Thermal Properties for Air
4	Copper			
5	FR-4 Epoxy			
6	Glass			
7	Gray Cast Iron			
8	Iron			
9	Polyethylene 2			
10	Structural Steel			Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASMF BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5

A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	1,1614	kg m ⁻³	
4	Isotropic Thermal Conductivity	0,026	W m ⁻¹ C ⁻¹	
5	Specific Heat, C _p	1007	J kg ⁻¹ C ⁻¹	
6	Isotropic Relative Permeability			

Fuente: Ansys Thermal & Weather Spark

- **Cobre:**

Ilustración 17.- Datos de las propiedades del Cobre



A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data	Source		Description
2	Material			
3	Air 2			Thermal Properties for Air
4	Copper			
5	FR-4 Epoxy			
6	Glass			
7	Gray Cast Iron			
8	Iron			
9	Polyethylene 2			
10	Structural Steel			Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASMF BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5

A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	8933	kg m ⁻³	
4	Isotropic Thermal Conductivity	400	W m ⁻¹ C ⁻¹	
5	Specific Heat, C _p	385	J kg ⁻¹ C ⁻¹	

Fuente: Ansys Thermal

- **Fibra de vidrio:**

Ilustración 18.- Datos de las propiedades de la fibra de vidrio

Outline of Schematic A2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	Air 2			T	Thermal Properties for Air
4	Copper			T	
5	FR-4 Epoxy			T	
6	Glass			T	
7	Gray Cast Iron			G	
8	Iron			T	
9	Polyethylene 2			T	
10	Structural Steel			G	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5

Properties of Outline Row 5: FR-4 Epoxy					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	1900	kg m ⁻³		
4	Isotropic Thermal Conductivity	0,294	W m ⁻¹ C ⁻¹		
5	Specific Heat, C _p	1150	J kg ⁻¹ C ⁻¹		

Fuente: Ansys Thermal

- **Vidrio:**

Ilustración 19.- Dato de las propiedades del vidrio

Outline of Schematic A2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
4	Copper			T	
5	FR-4 Epoxy			T	
6	Glass			T	
7	Gray Cast Iron			G	
8	Iron			T	
9	Polyethylene 2			T	
10	Structural Steel			G	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1
*	Click here to add a new material				

Properties of Outline Row 6: Glass					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	2500	kg m ⁻³		
4	Isotropic Thermal Conductivity	1,4	W m ⁻¹ C ⁻¹		
5	Specific Heat, C _p	750	J kg ⁻¹ C ⁻¹		

Fuente: Ansys Thermal

- **Hierro Fundido:**

Ilustración 20.- Datos de las propiedades del hierro fundido

Outline of Schematic A2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	Air 2			Therm	Thermal Properties for Air
4	Copper			Therm	
5	FR-4 Epoxy			Therm	
6	Glass			Therm	
7	Gray Cast Iron			General	
8	Iron			Therm	
9	Polyethylene 2			Therm	
10	Structural Steel			General	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div

Properties of Outline Row 7: Gray Cast Iron					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7200	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
12	Tensile Yield Strength	0	Pa		
13	Compressive Yield Strength	0	Pa		
14	Tensile Ultimate Strength	2,4E+08	Pa		
15	Compressive Ultimate Strength	8,2E+08	Pa		
16	Isotropic Thermal Conductivity	52	W m ⁻¹ C ⁻¹		
17	Specific Heat, C _p	447	J kg ⁻¹ C ⁻¹		
18	Isotropic Relative Permeability	10000			
19	Isotropic Resistivity	9,6E-08	ohm m		

Fuente: Ansys Thermal

- **Aislamiento de Poliestireno:**

Ilustración 21.- Datos de las propiedades del poliestireno

Outline of Schematic A2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
4	Copper			T	
5	FR-4 Epoxy			T	
6	Glass			T	
7	Gray Cast Iron			G	
8	Iron			T	
9	Polyethylene 2			T	
10	Structural Steel			G	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1
*	Click here to add a new material				

Properties of Outline Row 9: Polyethylene 2					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	930	kg m ⁻³		
4	Isotropic Thermal Conductivity	0,4	W m ⁻¹ C ⁻¹		
5	Specific Heat, C _p	2380	J kg ⁻¹ C ⁻¹		

Fuente: Ansys Thermal

- **Acero Estructural:**

Ilustración 22.- Datos de las Propiedades del acero

The image shows two screenshots from the Ansys Thermal software. The top screenshot displays the 'Outline of Schematic A2: Engineering Data' table, where 'Structural Steel' is selected. The bottom screenshot shows the 'Properties of Outline Row 10: Structural Steel' table, with several rows circled in blue to highlight specific material properties and their values.

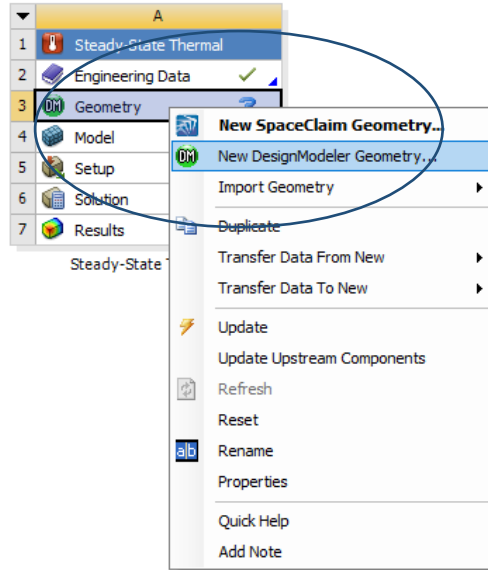
Property	Value	Unit
Material Field Variables	Table	
Density	7850	kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
Isotropic Elasticity		
Alternating Stress Mean Stress	Tabular	
Strain-Life Parameters		
Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa
Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa
Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa
Compressive Ultimate Strength	0	Pa
Isotropic Thermal Conductivity	60,5	W m ⁻¹ C ⁻¹
Specific Heat, C _p	434	J kg ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Relative Permeability	10000	
Isotropic Resistivity	1,7E-07	ohm m

Fuente: Ansys Thermal

ANEXO 10. Geometría.

1. En geometría damos clic derecho y abrimos la ventana “DesingModeler”

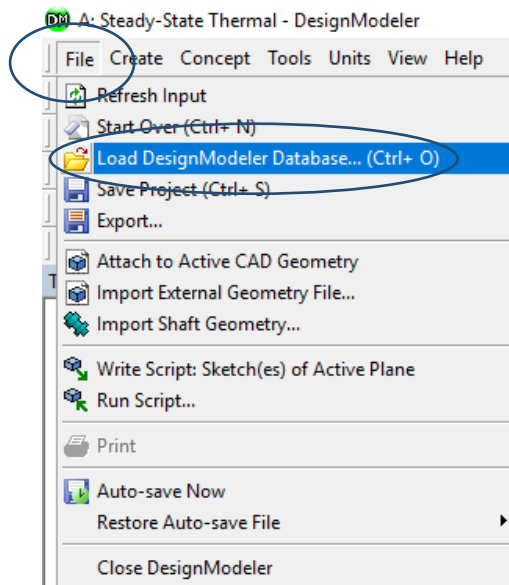
Ilustración 23.- Geometría



Fuente: Ansys (2019)

2. Una vez abierto la ventana, en la parte superior izquierda, en la barra de menú damos clic izquierdo en “File” y doble clic izquierdo en “Load DesingModeler”

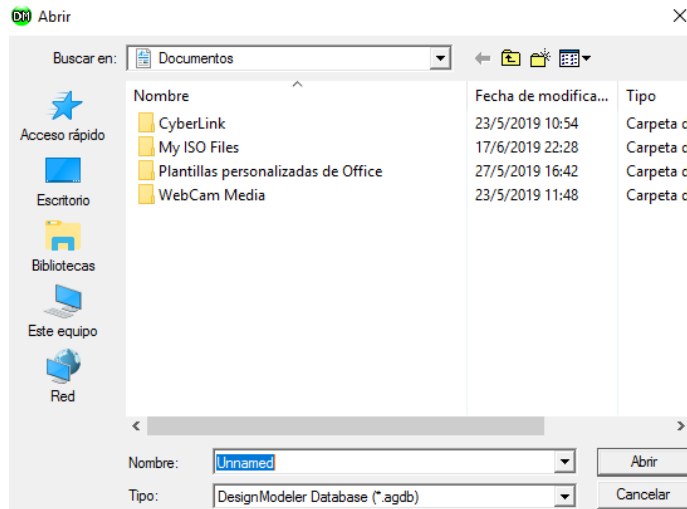
Ilustración 24.- DesingModeler



Fuente: Ansys (2019)

- Una vez abierta la ventana procedemos a cargar el modelo previamente realizado en algún programa de 3D, en este caso se lo realizo en AutoCAD 2018.

Ilustración 25.- Cargar el modelo

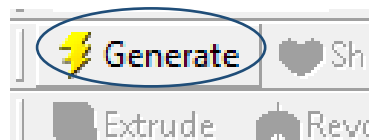


Fuente: Ansys (2019)

Nota: para cargar el modelo de 3D en el DesingModeler, tiene que estar guardado el archivo del AutoCAD en una versión 2010 para bajo, caso contrario el DesingModeler lanzara un error y no abrirá el archivo.

- Una vez cargado el archivo del modelo en 3D, en la parte superior derecha damos clic izquierdo en “Generate” y esperamos a que cargue.

Ilustración 26.- Generate

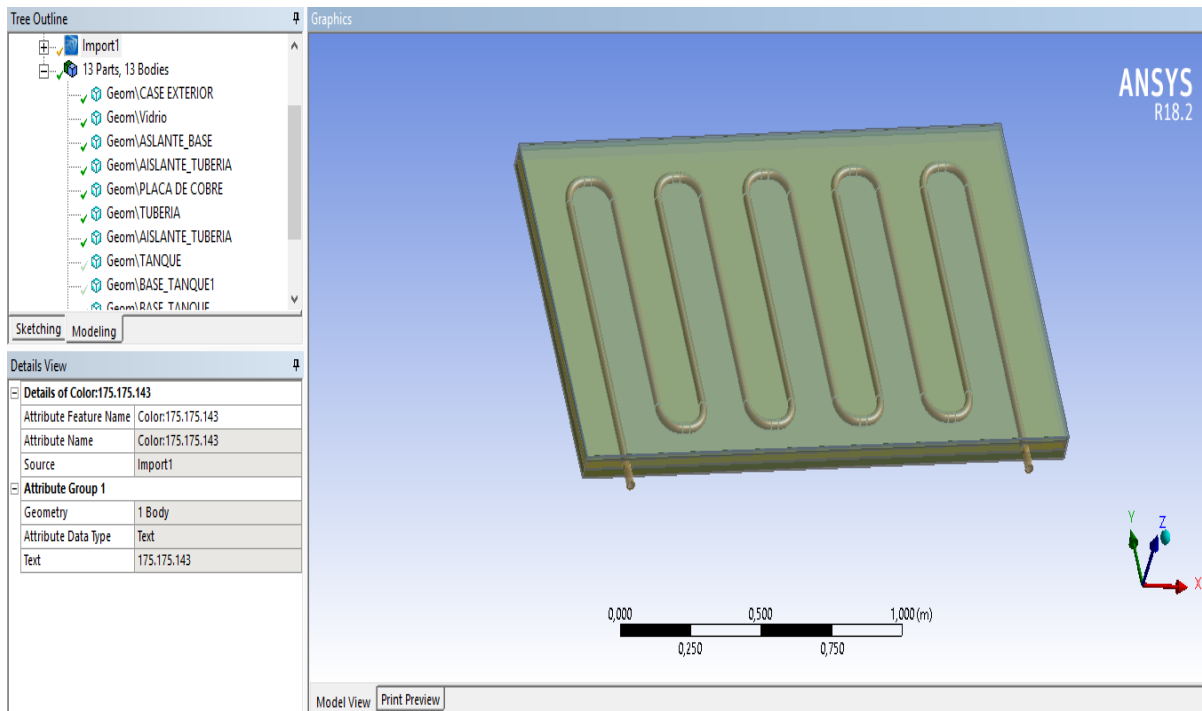


Fuente: Ansys (2019)

- Como se muestra en la ilustración 30, tenemos la geometría del modelo en 3D del panel solar cargado, el cual fue realizado este modelo en AUTOCAD 2018, por lo que el programa ANSYS viene por default cargado el modelador DesingModeler en el cual se procedió solo a abrir archivo del modelo en 3D. Para cual en esta parte solo se necesita cargar el modelo y esperar a que se malle automáticamente.

Nota: tener en cuenta que para cargar el modelado necesita tener capas (layers), caso contrario el DesingModeler le toma como una sola figura.

Ilustración 27.- Geometría del panel solar

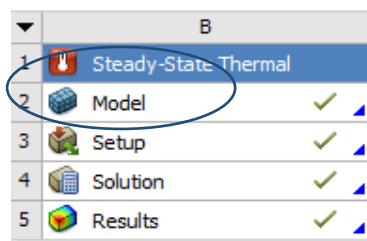


Fuente: Ansys (2019)

ANEXO 11. Mallado.

1. Para realizar el mallado, damos doble clic izquierdo en la parte que dice “Mesh”

Ilustración 28.- Mallado



Fuente: Ansys (2019)

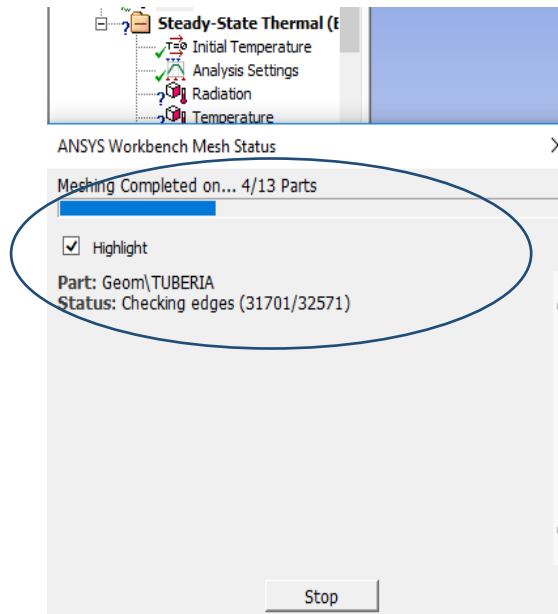
2. Una vez abierto la ventana, damos doble clic izquierdo en “Solve” lo cual nos procederá a generar la malla.

Ilustración 29.- Solve



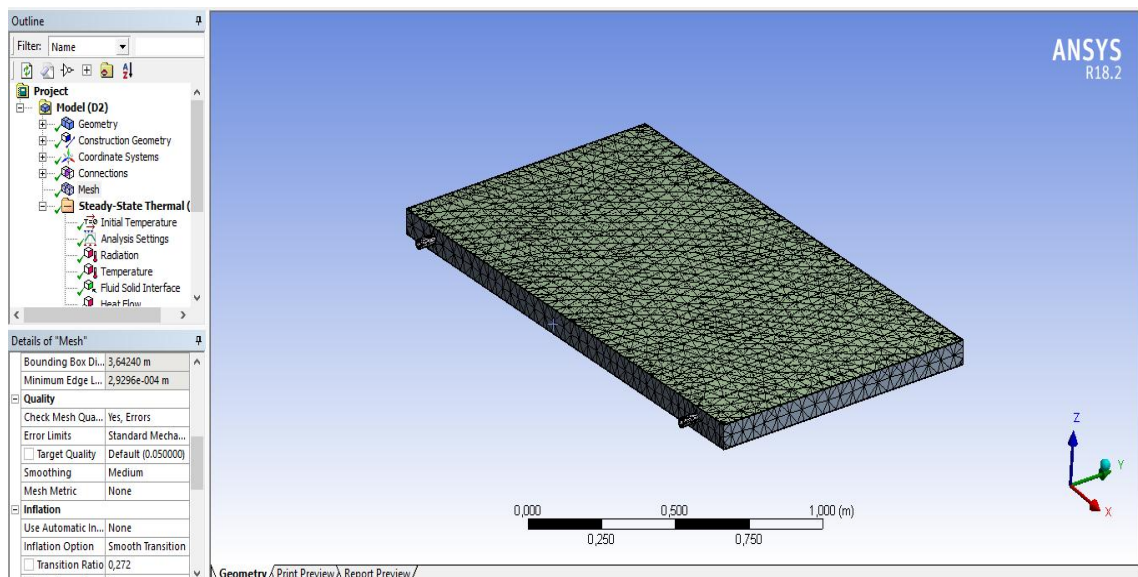
Fuente: Ansys (2019)

Ilustración 30.- Generando la malla



Fuente: Ansys (2019)

Ilustración 31.- Mallado del panel solar



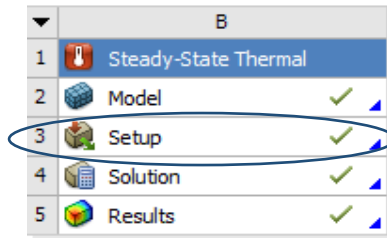
Fuente: Ansys (2019)

Como se puede observar en la ilustración 34, está es una malla establecida por el Ansys, la dificultad de los modelos a simular estará limitada por la estructura de malla ya que su generación presenta un grado de dificultad, debido a que trabaja con superficies perforadas.

ANEXO 12. Preparación.

1. Para realizar la preparación, damos doble clic izquierdo en la parte que dice “Setup”

Ilustración 32.- Setup



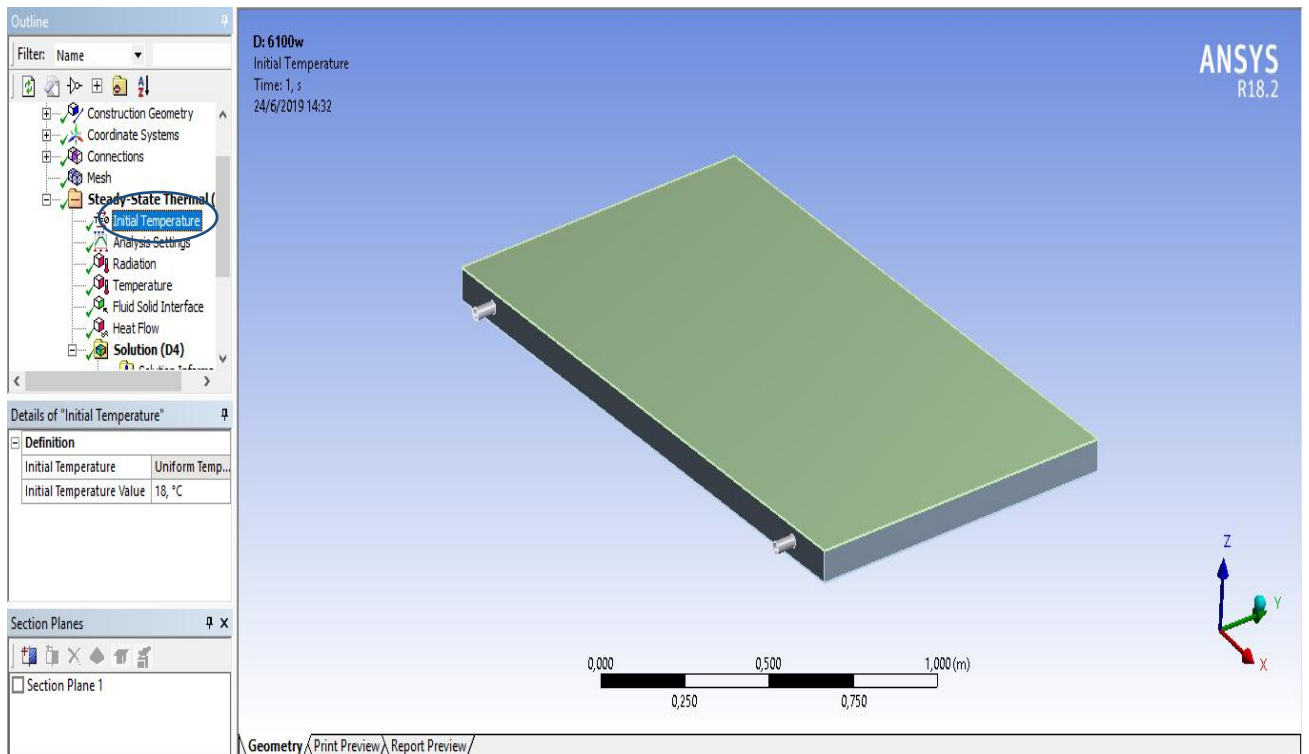
Fuente: Ansys (2019)

2. Se nos abrirá la siguiente ventana en la cual debemos ir llenando los siguientes datos:

- **Temperatura Inicial**

La temperatura inicial es 18°C, que es la temperatura ambiente del agua.

Ilustración 33.- Temperatura inicial

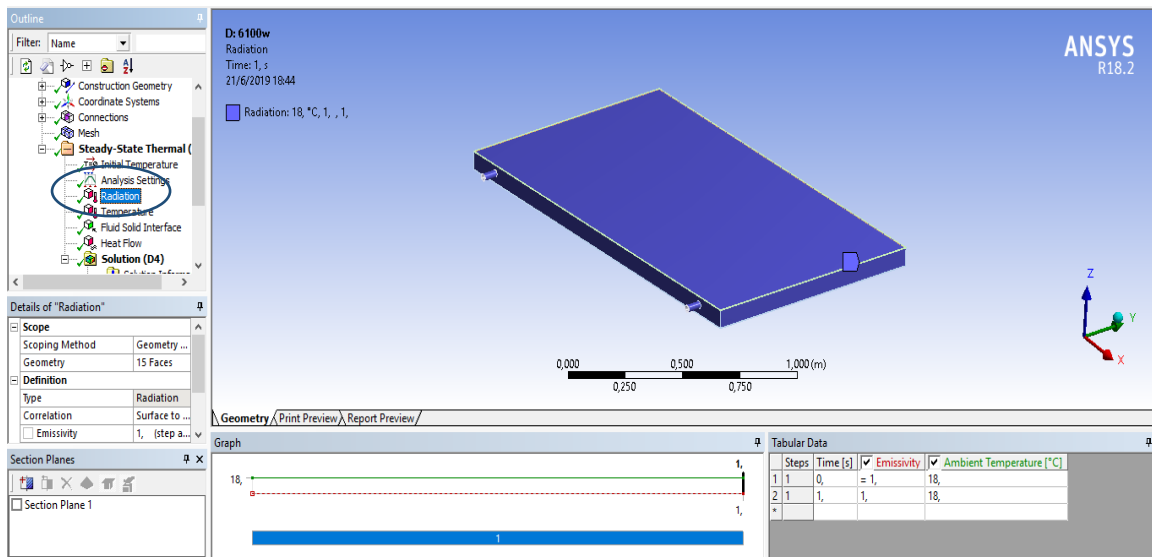


Fuente: Ansys Thermal

- **Radicación**

La radiación ultravioleta es 1UV, que es una radiación muy baja para el lugar del proyecto.

Ilustración 34.- Radiación

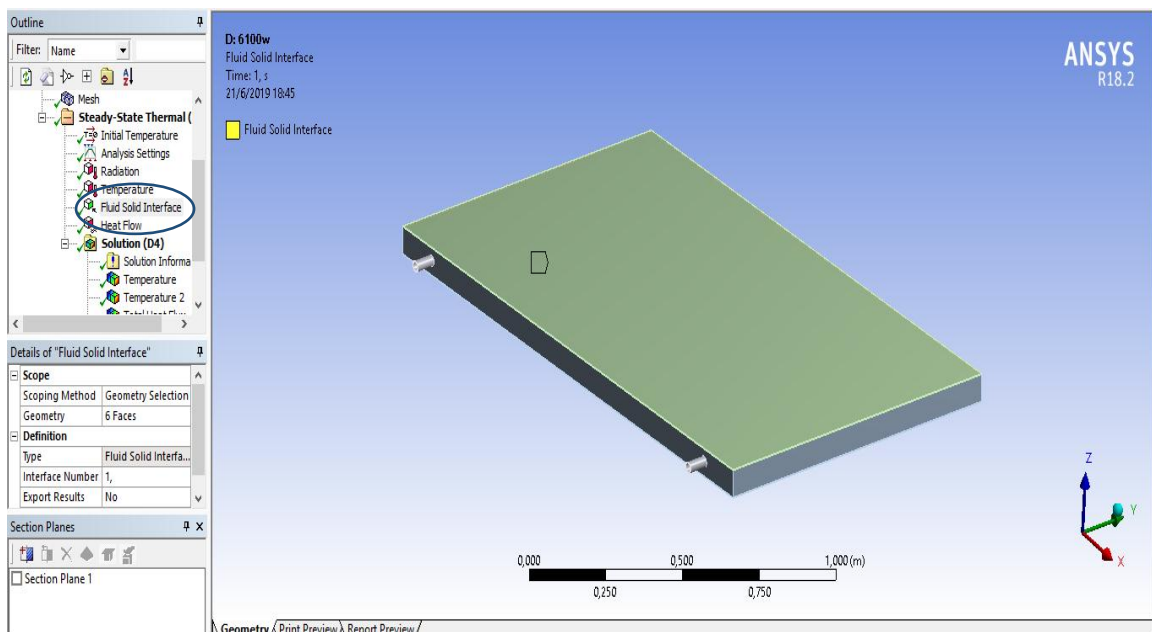


Fuente: Ansys Thermal

- **Interfaz de fluidos a salidos**

Se utiliza una condición de borde de la interfaz de sólido para identificar la interfaz donde se produce la transferencia de cargas hacia y desde los solucionadores de fluidos externos.

Ilustración 35.- Interfaz de fluidos a solidos

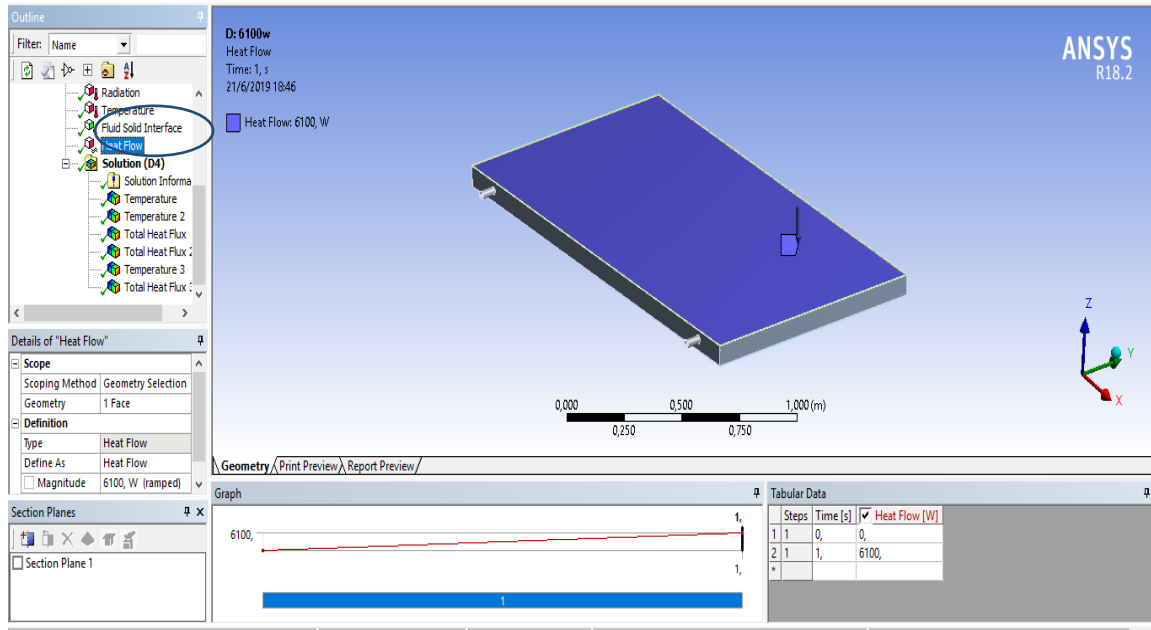


Fuente: Ansys Thermal

- **Flujo de calor**

El flujo de calor es 6100W, que es la energía solar reflectada en el panel.

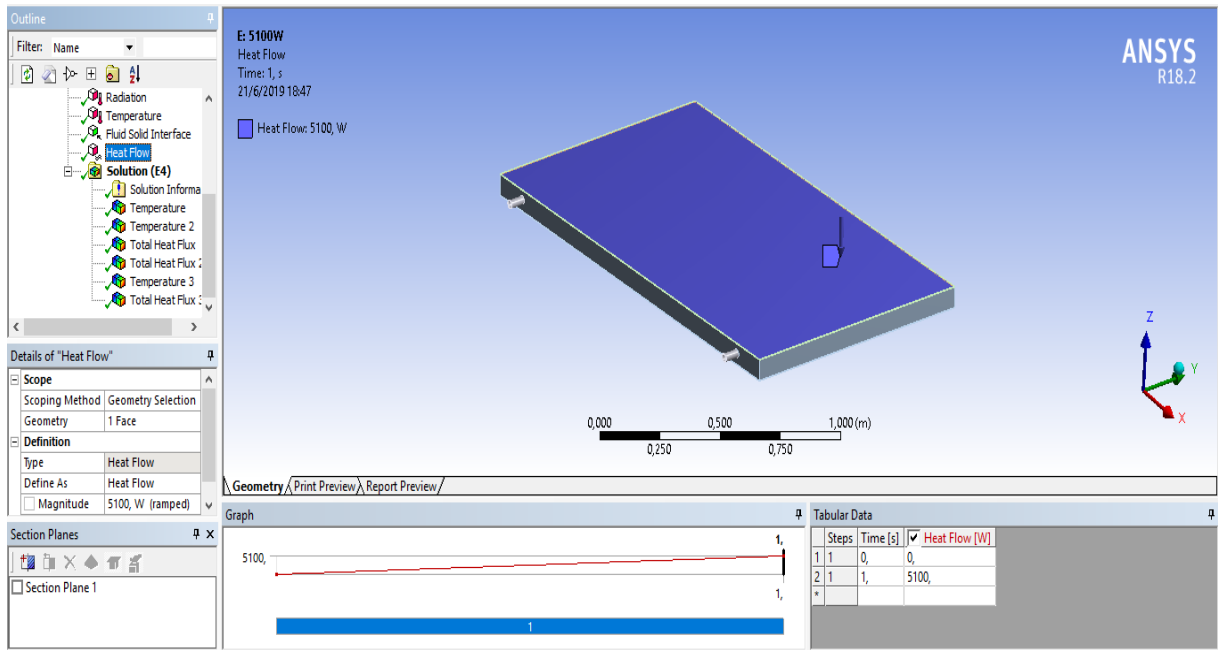
Ilustración 36.- Flujo de calor de 6100w



Fuente: Ansys Thermal

El flujo de calor es 5100W, que es la energía solar reflectada en el panel.

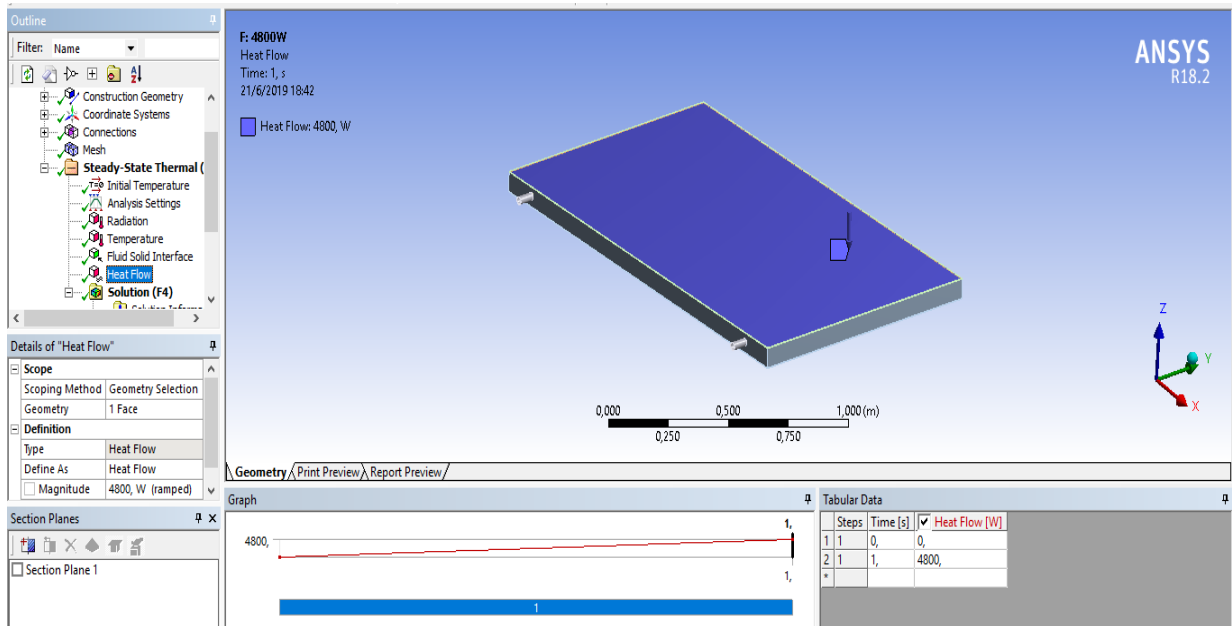
Ilustración 37.- Flujo de calor de 5100w



Fuente: Ansys Thermal

El flujo de calor es 4800W, que es la energía solar reflejada en el panel.

Ilustración 38.- Flujo de calor de 4800w

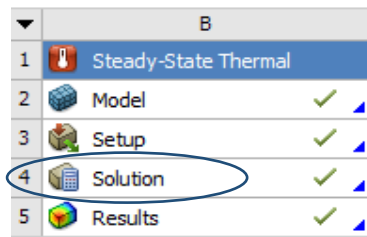


Fuente: Ansys Thermal

ANEXO 13. Resultados de simulación CFD Thermal

1. Para realizar la solución, damos doble clic izquierdo en la parte que dice “Solution”

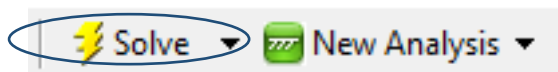
Ilustración 39.- Solución



Fuente: Ansys Thermal

2. Una vez abierto la ventana, damos doble clic izquierdo en “Solve” lo cual nos procederá a generar la malla.

Ilustración 40.- Solve



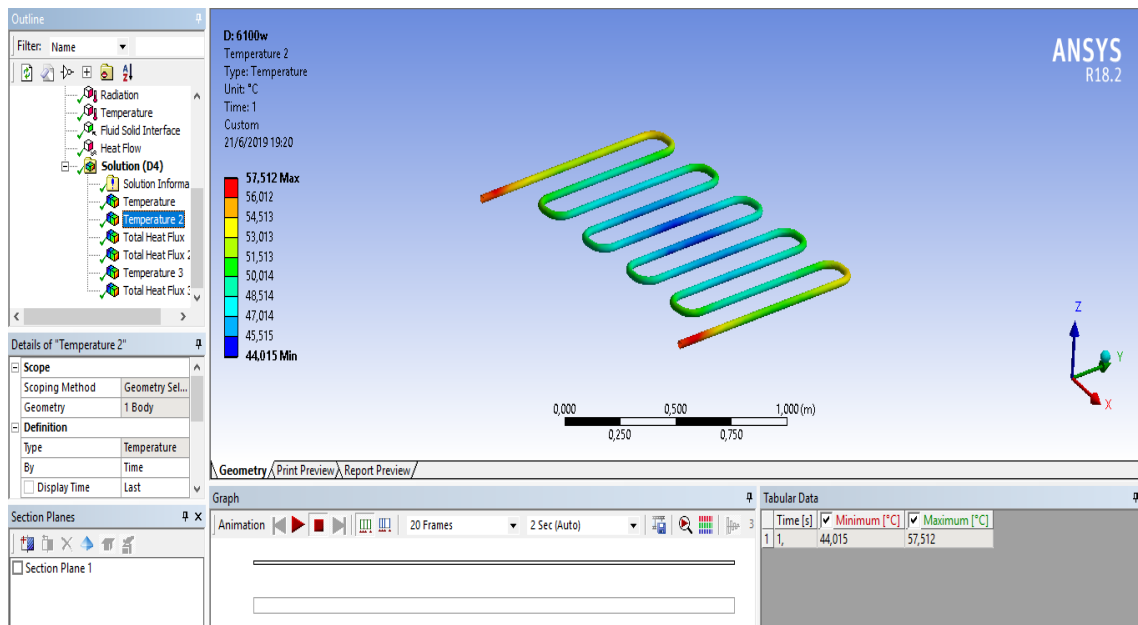
Fuente: Ansys (2019)

3. Una vez resuelto el programa nos dará los resultados de la simulación, siendo los siguientes

- **6100w**

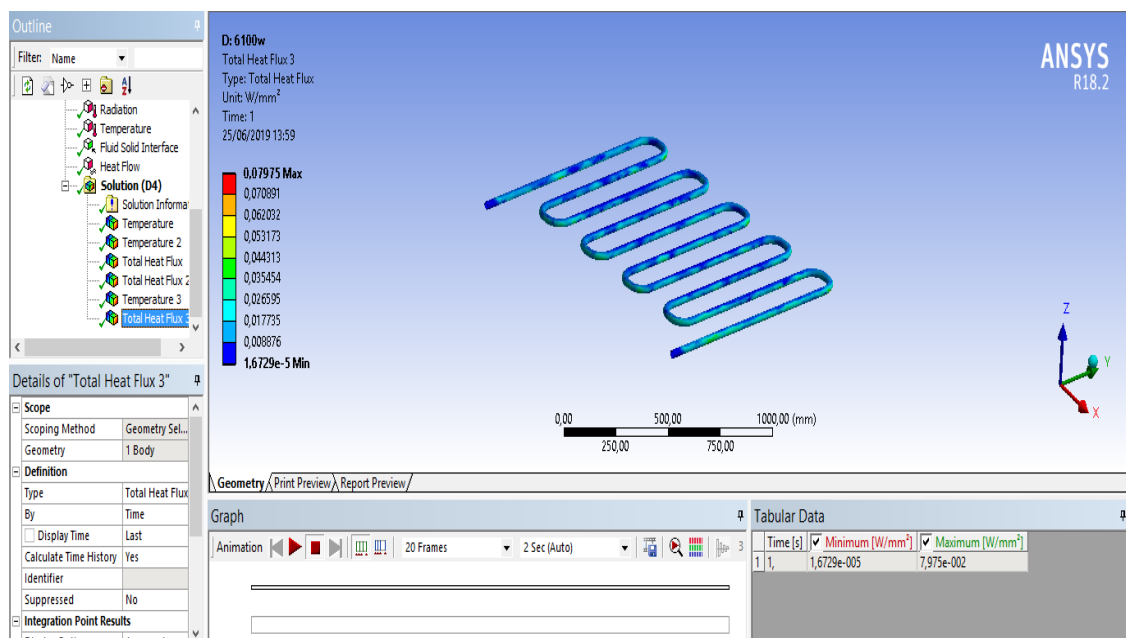
En la ilustración 35 se puede ver que la mayor cantidad de calor se concentra en los exteriores de la tubería, siendo este más preciso en la entrada y salida de la tubería.

Ilustración 41.- Temperatura de la Tubería (de 6100w)



Fuente: Ansys Thermal

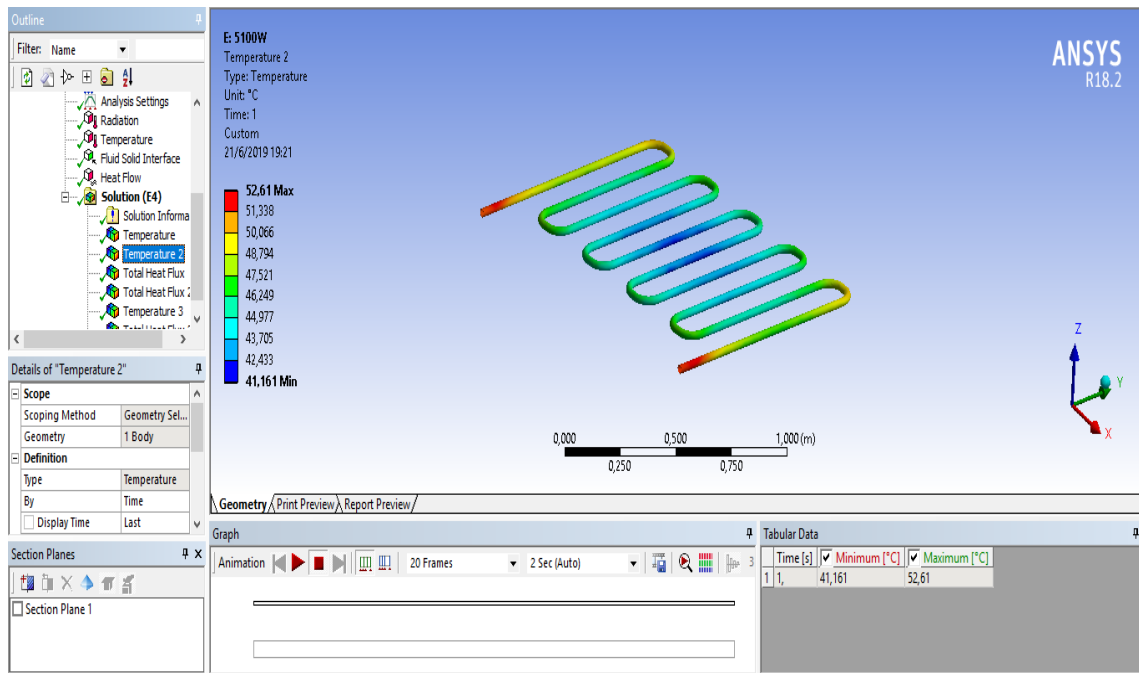
Ilustración 42.- Flujo de Calor



Fuente: Ansys Thermal

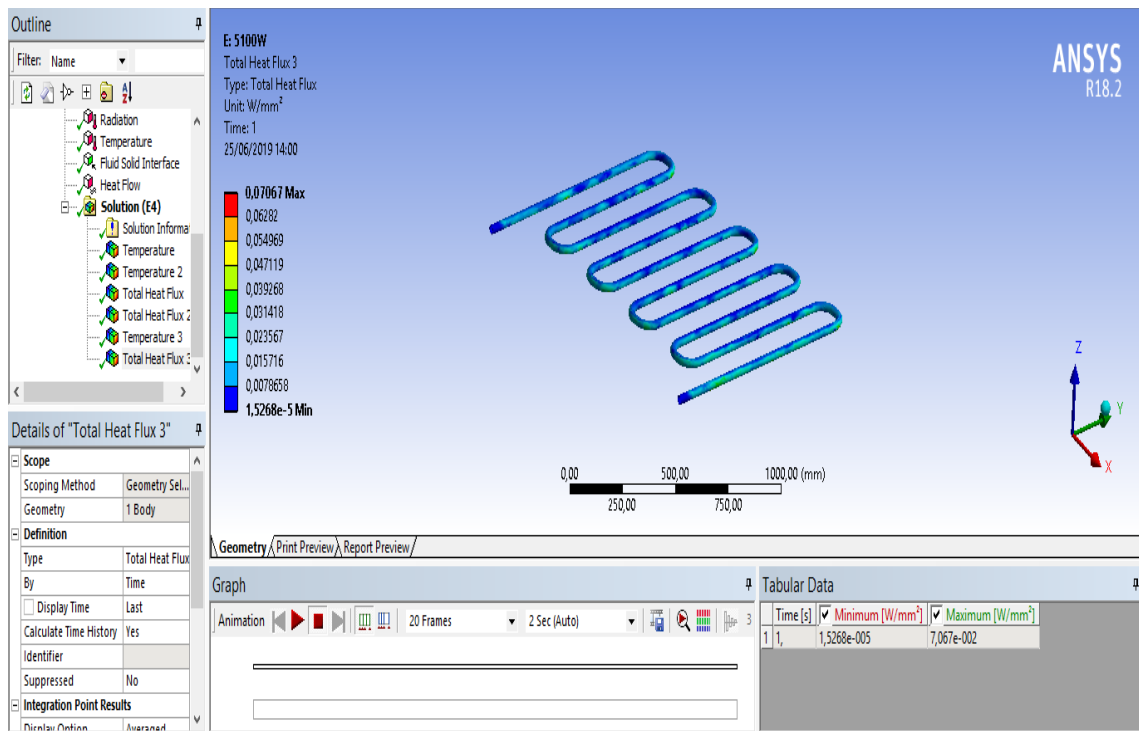
- 5100w

Ilustración 43.- Temperatura de la Tubería (de 5100w)



Fuente: Ansys Thermal

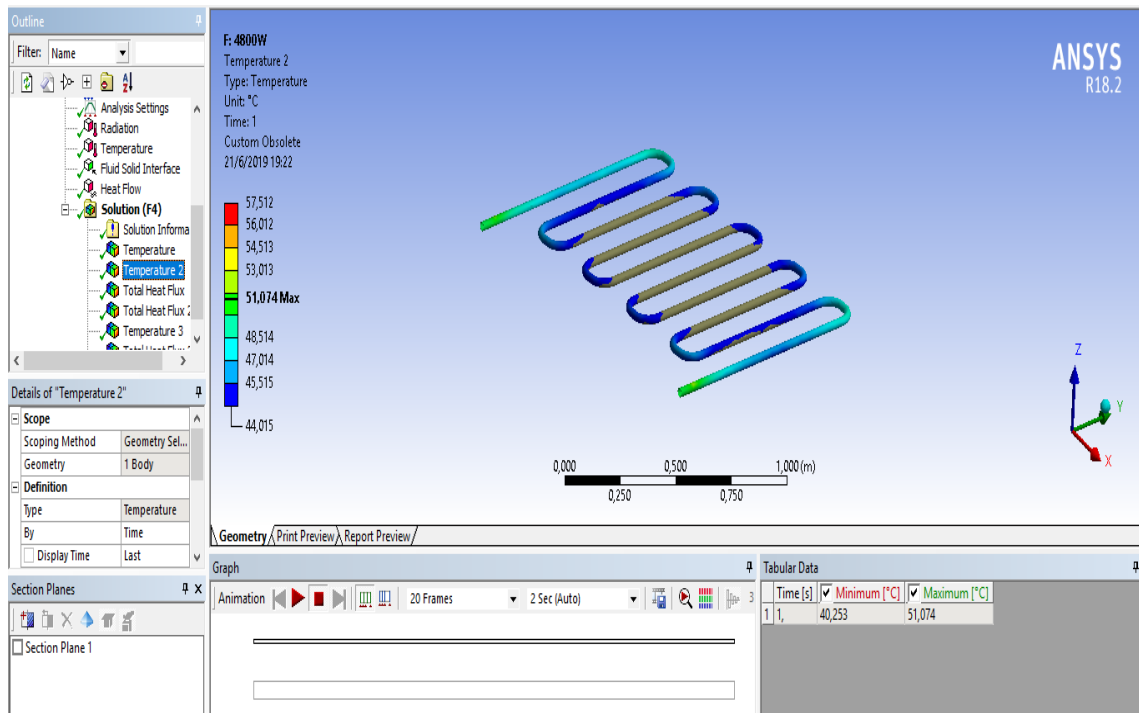
Ilustración 44.- Flujo de Calor



Fuente: Ansys Thermal

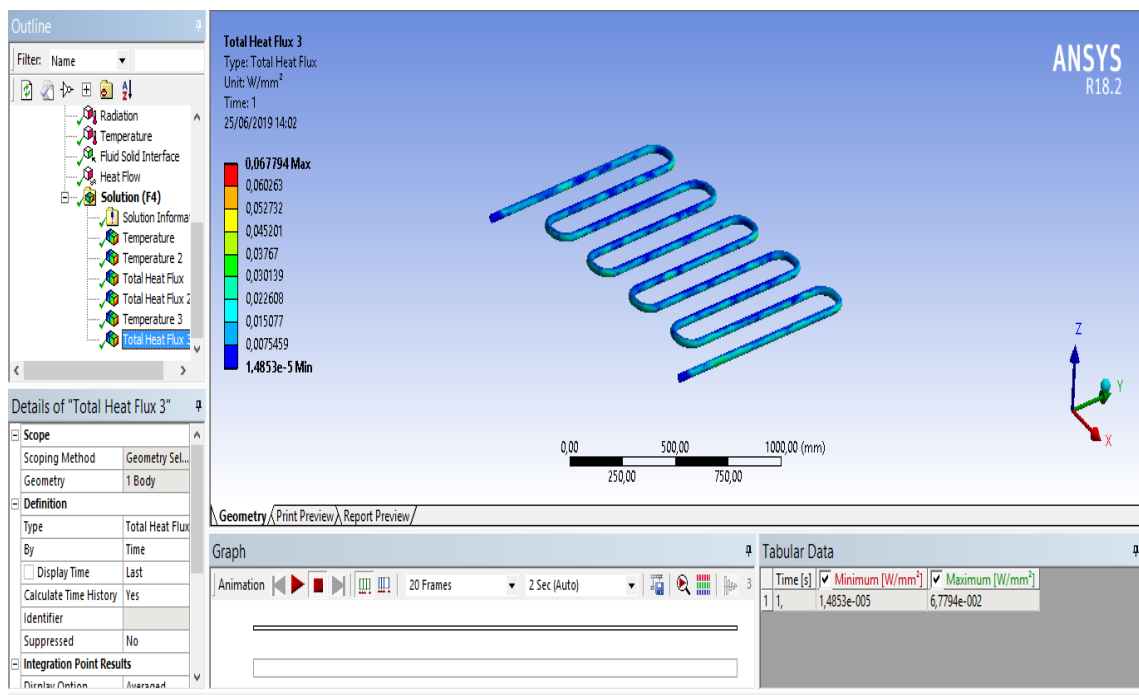
- 4800w

Ilustración 45.- Temperatura de la tubería (de 4800w)



Fuente: Ansys Thermal

Ilustración 46.- Temperatura de la Tubería



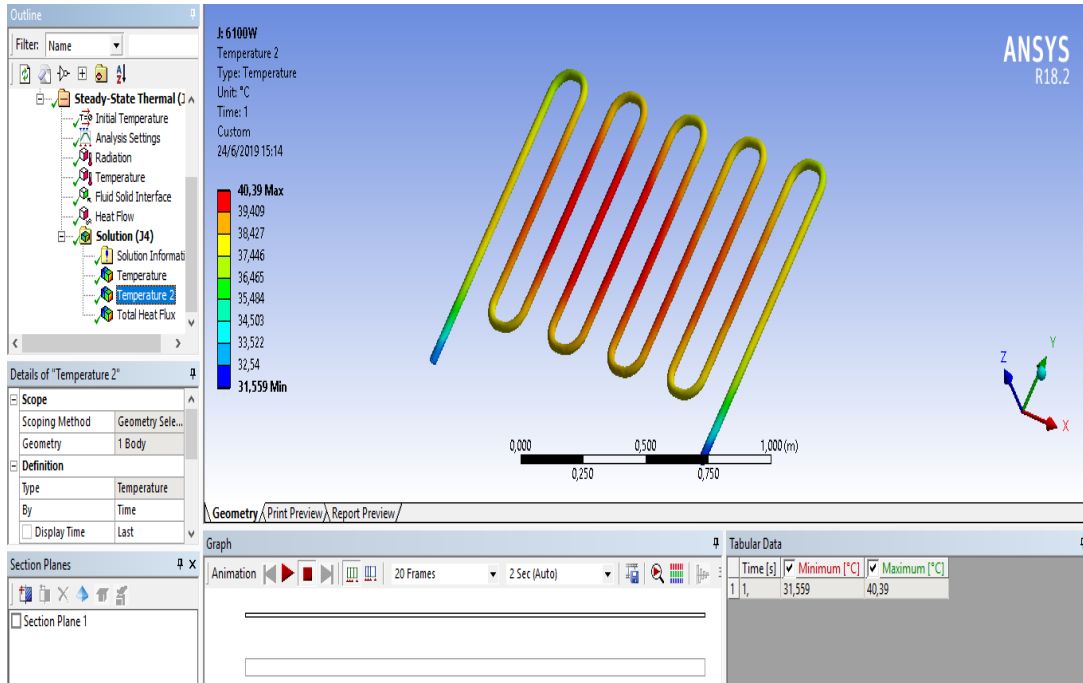
Fuente: Ansys Thermal

ANEXO 14. Resultados de la Optimización.

En la ilustración 50 se puede ver que la mayor cantidad de calor se concentra en el centro de la tubería.

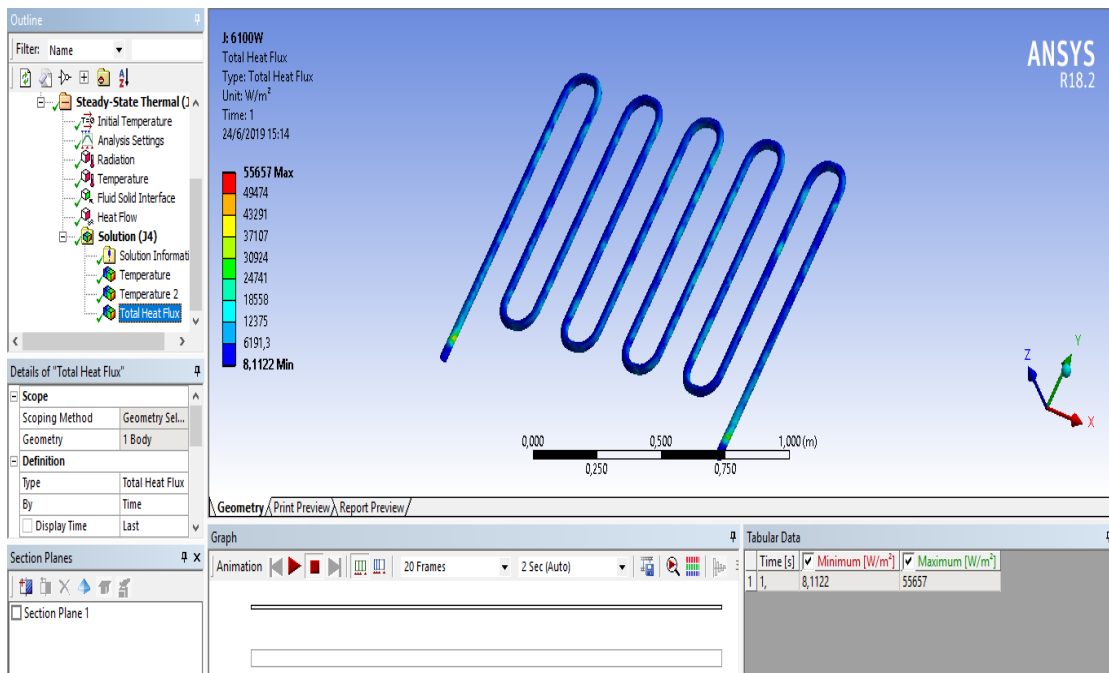
- 6100w

Ilustración 47.- Calor de la tubería (de 6100w)



Fuente: Ansys Thermal

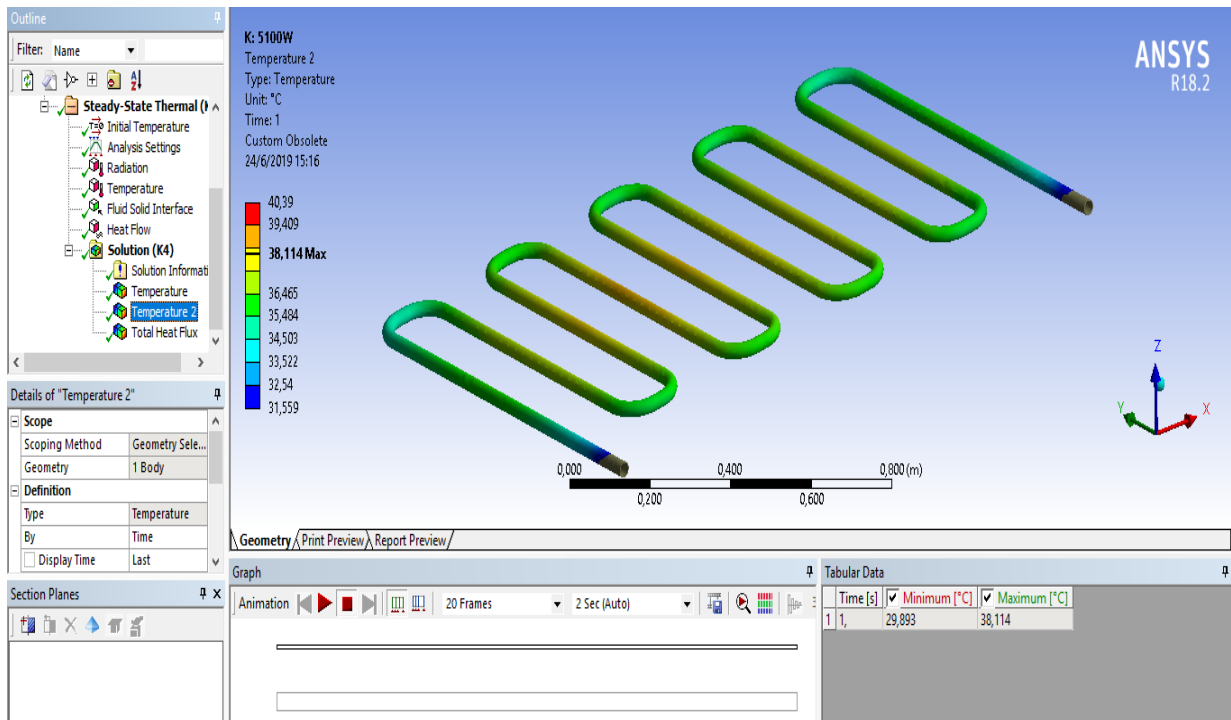
Ilustración 48.- Flujo de Calor



Fuente: Ansys Thermal

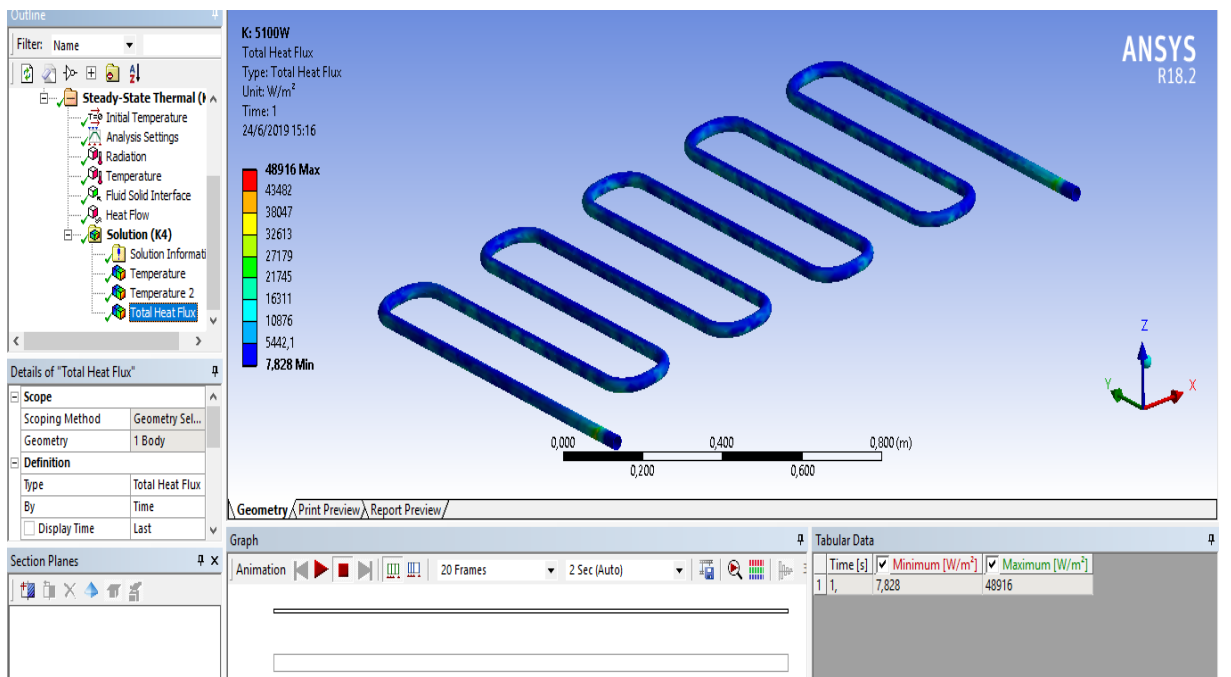
- 5100w

Ilustración 49.- Calor de la tubería (de 5100w)



Fuente: Ansys Thermal

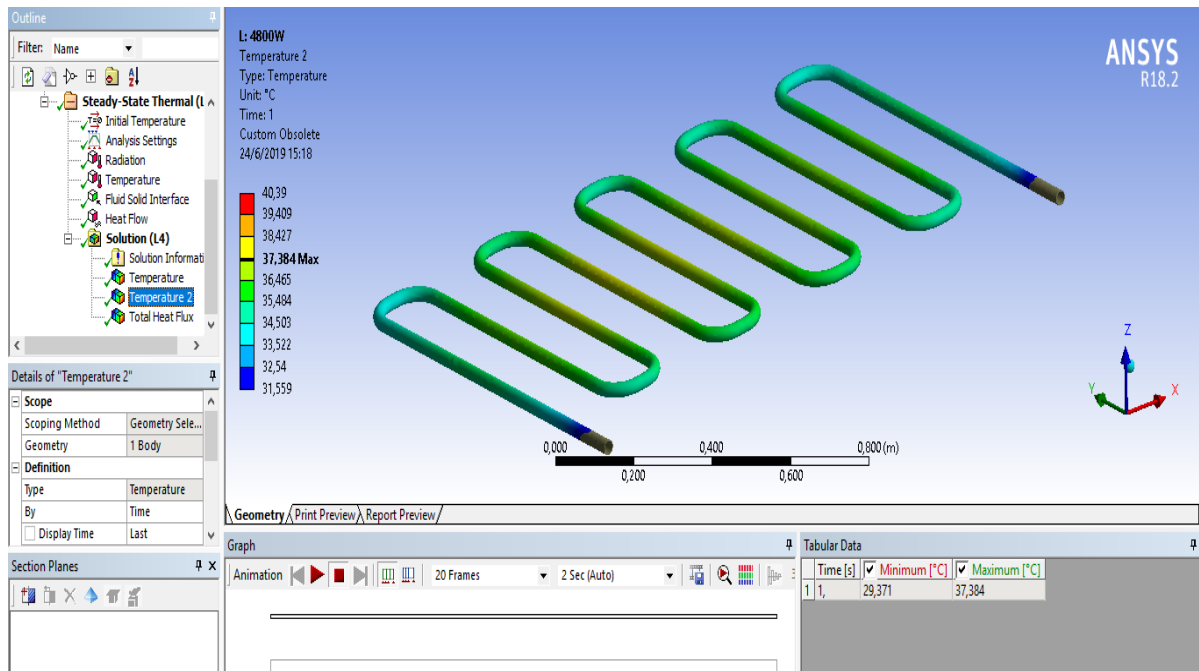
Ilustración 50.- Flujo de calor



Fuente: Ansys Thermal

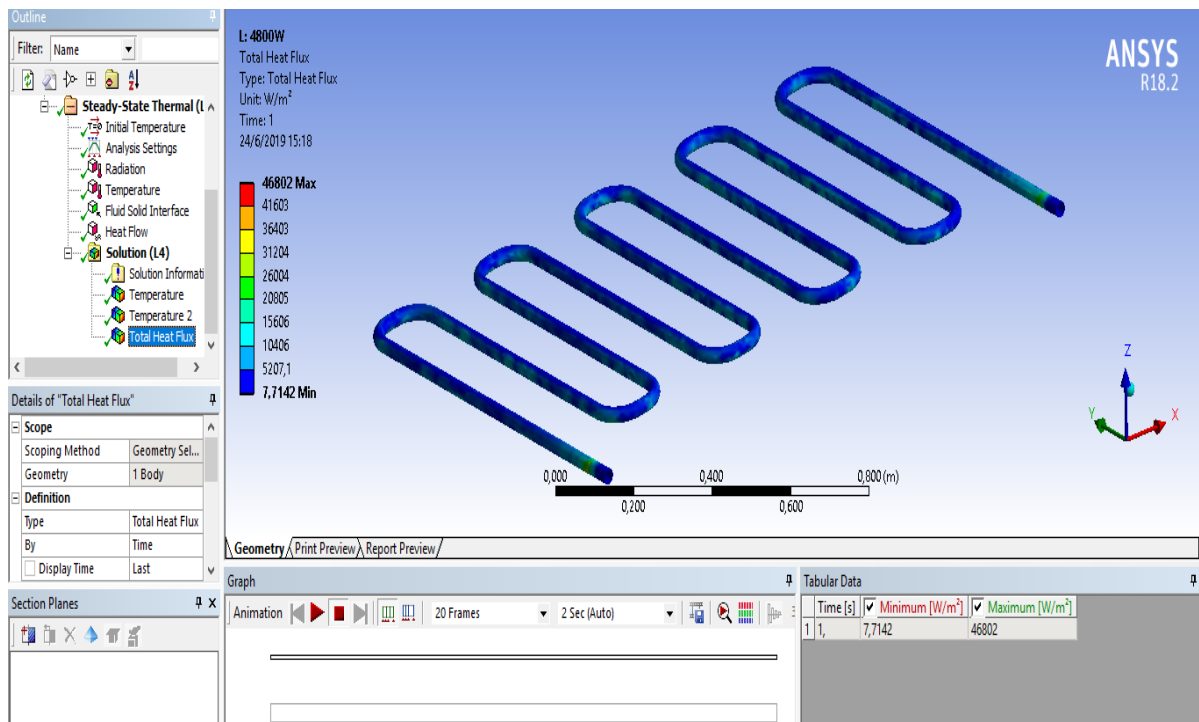
- 4800w

Ilustración 51.- Calor de la Tubería (de 4800w)



Fuente: Ansys Thermal

Ilustración 52.- Flujo de calor



Fuente: Ansys Thermal

ANEXO 15. Gastos necesarios en caso la dueña desee construir.

Tabla.- 3 Elementos necesarios para el armazón del tanque

ITEM	DESCRIPCION	CAN.	UNID.	V. UNIT. \$	V. TOTAL \$
1	Tanque termo-solar, acero inoxidable – 120lt	1	unidad	340	340
2	Tambor Plástico 200lt tapa ancha a rosca	1	unidad	22,00	22,00
3	Tela fibra de vidrio	3	metros	2,18	6,54
4	Cinta de Aluminio 2" x 50 Yardas	1	unidad	14,00	14,00
5	Perfil L Laminado A36 100mx100mm x 6m - Dipacmanta	1	unidad	7,54	7,54
				SUMA	390,08
				DSCTO %	0
				SUBTOTAL	390,08
				IVA 12%	46,80
				TOTAL \$	436,88

Fuente: Autor (2018)

Tabla.- 4 Elementos necesarios para el armazón del panel

ITEM	DESCRIPCION	CAN.	UNID.	V. UNIT. \$	V. TOTAL \$
1	Planchas de Tol de 1.22 x 2.44 mts	1	plancha	130	130
2	¼ de galón de pintura pintuco de color negro	1	unidad	7,50	7,50
3	Placa de cobre 1,00 x 1,80	1	plancha	67,32	67,32
4	Tubo de cobre 1” 25 mm – 10m	1	unidad	57,63	57,63
5	Hoja de vidrio templado 3mm, 1,00 x 1,80	1	unidad	2,15	3,87
6	Perfil L Laminado A36 100mmx100mm x 6m - Dipacmanta	2	unidad	7,54	15,08
7	Sellador acrílico multiuso 300 ml blanco	1	unidad	3,90	3.90
				SUMA	285,30
				DSCTO %	0
				SUBTOTAL	285,30
				IVA 12%	34,23
				TOTAL \$	319,53

Fuente: Autor (2018)

Tabla.- 5 Elementos necesarios para el armazón del panel entre el tanque

ITEM	DESCRIPCION	CAN.	UNID.	V. UNIT. \$	V. TOTAL \$
1	Tubo PP Roscable 1 x 6 m (Agua Caliente) - Plastigama	1	unidad	18,94	18,94
2	Cinta Teflón 12mm x 10m con Carrete - Plastigama	3	unidad	0,36	1,08
3	Codo PP R/R 1" x 90 - Plastigama	7	unidad	0.54	3,78
4	Codo PP R/R 1" x 45 - Plastigama	1	unidad	2,07	2,07
5	Tee R/R PP 1" - Plastigama	1	unidad	2,01	2,01
6	Unión Universal R/R PP 1" - Plastigama	4	unidad	3,67	14,68
7	Llave de Paso Manija Cruz 1" E471.01 BR - FV	3	unidad	10,65	31,95
8	Válvula de bola 1" bronce E487.11 BR - FV	1	unidad	11,15	11,15
9	Tapón RM PP 1" - Plastigama	2	unidad	1,08	2,16
10	Cinta de Aluminio 2" x 50 Yards	1	unidad	14,00	14,00
11	Válvula de seguridad 1" bronce 50 -100 PSI BR - FV	1	unidad	6,90	6,90
12	Bomba	1	unidad	11,99	11,99

	Centrífuga LEO ACm75				
				SUMA	120,71
				DSCTO %	0
				SUBTOTAL	120,71
				IVA 12%	14,49
				TOTAL \$	135,20

Fuente: Autor (2018)

Tabla.- 6 Elementos para la instalación del sistema del agua potable con el colector solar plano y con el fregadero

ITEM	DESCRIPCION	CAN.	UNID.	V. UNIT. \$	V. TOTAL \$
1	Sellador acrílico multiuso 300 ml blanco	1	unidad	3,90	3,90
2	Pistola de silicona acrílica metal	1	unidad	4,00	4,00
3	Cinta Teflón 12mm x 10m con Carrete - Plastigama	2	unidad	0,36	0,72
4	Manguera de agua fría 1" blanco	6	metros	1,80	10,80
5	Manguera para agua caliente 1" sellada	6	metros	2,20	13,20
6	Válvula check 1" bronce	1	unidad	16,84	16,84

	E499.13 BR - FV				
7	Llave de Paso Manija Cruz 1” E471.01 BR - FV	1	c/u	10,65	10,65
				SUMA	60,11
				DSCTO %	0
				SUBTOTAL	60,11
				IVA 12%	7,21
				TOTAL \$	67,32

Fuente: Autor (2018)

Tabla.- 7 Inversión Total del Proyecto

INVERSION	DEL	PROYECTO
Concepto		USD [\$]
Elementos necesarios para el armazón del tanque		436,88
Elementos necesarios para el armazón del panel		319,53
Elementos necesarios para el armado del panel entre tanque		135,20
Elementos para la instalación del sistema del agua potable con el colector solar plano y con el fregadero		67,32
TOTAL		959,93
Gastos Indirectos 10%		95,89
TOTAL		1055,82

Fuente: Autor (2018)



Telefono: 022252881 022462793

GAVILANES BUENANIO MILTON HUGO

Ruc: 1801237452001 Teléfono: 022252881
DE LAS VIOLETAS N47-270 Y AV. ELOY ALFARO

E-mail: ventas@ferreteria-macons.com
E-mail: macons.mil@hotmail.com

CLIENTE *CONSUMIDOR FINAL
RUC 9999999999999 1105
DIRECCION DE LAS VIOLETAS N47-270 Y ELOY ALFARO
MONTE SERRIN
QUITO TELF: 2252881

PROFORMA

Nr: PRO20190000589

Fecha: 12 JUN 2019 16:20:

Vendedor: IVAN

COD.	CANT.	UNID.	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	PRECIO	VALOR
11509	1	LT	PINTURA ESMALTE TAN NEGRO-401-LITRO CONDOR	4.890	4.890
18557	2	U	TUBO DE COBRE " M " 1" SEMI-REFORZADO	48.200	96.400
12158	1	U	TUBO 1" PRESION ROSCABLE 6 METROS PLASTIGAMA	20.020	20.020
13260	7	U	CODO POLIMEX 1" X 90	1.950	13.650
13261	1	U	CODO POLIMEX 1" X 45	2.580	2.580
13269	1	U	TEE POLIMEX 1"	2.440	2.440
13273	1	U	UNIVERSAL POLIMEX 1"	5.130	5.130
11053	4	U	LLAVE COMPUERTA RED WHITE 1"	31.390	125.560
11053	1	U	LLAVE COMPUERTA RED WHITE 1"	31.390	31.390
13268	2	U	TAPON MACHO POLIMEX 1"	0.910	1.820
11572	1	U	PISTOLA PARA SILICON - AZUL	1.550	1.550
11918	2	U	TEFLON 1/2" ALEMAN ROJO	0.470	0.940

\$311.27 DOLARES

En caso de haberse producido variación en los precios de los productos, la proforma varía.

Por Favor emitir el cheque a nombre de:
Milton Gavilanes

DESCUENTO	28.450
SUBTOTAL	277.920
VENTA TARIFA 12%	277.920
VENTA TARIFA 0%	
IVA 12%	33.350
TOTAL.	\$311.27



Digital Computer

Machachi, González Suárez S-85 y de 10 de Agosto
Telf. 2315-718 2309-143 Cel.0997665614
www.digitalcomputerpc.com
E-mail: aguirre_edwin@hotmail.com
RUC. 1714238811001



NOTA DE ENTREGA

N°. 202

CLIENTE: FERNANDO CUMBAJIN

MACHACHI 23 DE MAYO DEL 2019

CAN	DESCRIPCIÓN	SERIES
1	CPU INTEL CORE I3 8va g MOTHERBOAR ASROCK DISCO DURO 1TB MEMORIA 4GB KINGSTONG DVDWRITER LG CARE READER MONITOR 19" TFT PLANA LG	U9U244S00145 92MOXB216007 WCC6Y5YJEVCP P001426 008NDPHGD416

NOTA: El equipo tiene un año de garantía por defectos de fabricación.

PRECIO: \$550 ENTRADA:\$200 3 PAGOS :\$116.66

ENTREGA:

RECIBE: