



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA
SUMINISTRO Y CONTROL DE AGUA CALIENTE
UTILIZANDO UN COLECTOR SOLAR CON
MATERIALES FLEXIBLES**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
MECATRÓNICA**

MARCO ALEJANDRO ACUÑA CORREA

DIRECTOR: ING. LUIS ARMANDO HIDALGO

Quito, agosto 2016

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2016
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo **MARCO ALEJANDRO ACUÑA CORREA**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en ese documento.

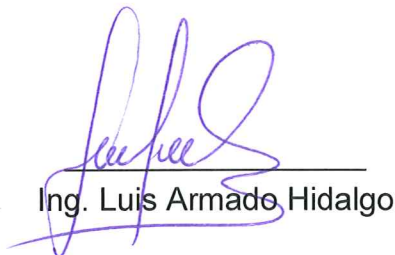
La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional Vigente.



MARCO ALEJANDRO ACUÑA CORREA
C.I.: 1717872210

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título **“Diseño y construcción de un sistema para suministro y control de agua caliente utilizando un colector solar con materiales flexibles”**, que, para aspirar al título de **Ingeniero en Mecatrónica** fue desarrollado por **Marco Alejandro Acuña Correa**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19,27 y 28.



Ing. Luis Armado Hidalgo

DIRECTOR DEL TRABAJO

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios, a mis hijos Martin y Emilio, a mi esposa Gaby, a mis Padres Marco y Celia y mis hermanas Sharilay, María Belén y mi hermano Xavier que han sido el apoyo y el pilar fundamental para la culminación de mi carrera universitaria. Dedico también este trabajo a todos los familiares y personas que me apoyaron para que este trabajo sea posible.

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO**PROYECTO DE TITULACIÓN**

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1717872210
APELLIDO Y NOMBRES:	ACUÑA CORREA MARCO ALEJANDRO
DIRECCIÓN:	VERACRUZ N36-31 Y MAÑOSCA
EMAIL:	marco.aac27@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	02 2 923489
TELÉFONO MOVIL:	0998631219

DATOS DE LA OBRA	
TITULO:	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA PARA SUMINISTRO Y CONTROL DE AGUA CALIENTE UTILIZANDO UN COLECTOR SOLAR CON MATERIALES FLEXIBLES
AUTOR O AUTORES:	MARCO A. ACUÑA CORREA
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	03-06-2016
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	ING. LUIS HIDALGO
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO MECTRÓNICO
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	El presente proyecto tuvo como objetivo construir un sistema para el suministro de Agua caliente Sanitaria (ACS) mediante la utilización de un colector solar diseñado y fabricado con materiales plásticos flexibles, el cual fue instalado en una vivienda unifamiliar ubicada en la ciudad de Quito, parroquia de


Pifo, provincia de Pichincha. Por la ubicación, características de la zona y la demanda de agua caliente que requieren los usuarios, es óptima la instalación de sistemas de captación solar para el calentamiento de agua. Para el cumplimiento del objetivo se aplicó una metodología que contempla el diseño, análisis e implementación del sistema de suministro de ACS, siguiendo un proceso de diseño mediante cálculos matemáticos para la determinación de pérdidas de energía. Una vez elegidas las principales alternativas de diseño se pasó a un proceso de simulación en sistemas CAD-CAE, bajo los mismos parámetros y condiciones, para discernir la mejor opción mediante un análisis de selección de material. Partiendo de los resultados obtenidos se procedió a la construcción del sistema con manguera reciclada de PVC, priorizando variables de costos, accesibilidad dentro del mercado y grado de eficiencia del material, alcanzando parámetros de eficiencia similares a los

	<p>sistemas de colectores de placa plana que existen en el mercado, generalmente fabricados en cobre. Para la adquisición de datos de temperatura y el estudio de eficiencia del colector se realizó un sistema de monitoreo integrando sensores controlados a través de una interfaz gráfica Arduino-Visual. Para el suministro de ACS se diseñó un sistema de control utilizando un PLC controlando sensores y actuadores que permitan el abastecimiento de ACS a una temperatura adecuada de acuerdo a las necesidades de los usuarios, para ello se aplicaron las ramas de la Mecatrónica y contribuyendo a la preservación del medio ambiente utilizando energías renovables.</p>
PALABRAS CLAVES:	Eficiencia Energética, Colectores Solares, Control de temperatura, PVC, ANSYS, Balance de energético, PLC LOGO, ACS (Agua de Consumo Sanitario)
ABSTRACT:	This project aims to perform and build a hot water sanitary system using a manifold designed and

manufactured with flexible plastic materials. The project has been designed and installed in a house located in Pifo. Because of the characteristics of the area and the user's demand requirements, this kind of solar energy system is ideal for this application. To fulfill the objectives, it was used a mechatronic methodology to design, analyze and implement a system to supply hot water for domestic consumption. A design process was followed using methods and mathematical calculations for determining energy losses. Once the requirements were obtained, they were transferred to a CAD-CAE system for simulation process under the same parameters and conditions and then discern the best choice by material selection analysis. With the obtained results it was proceeded to build the system reaching levels of flat plate collectors systems average efficiency found in the market usually made of copper. The project is complemented by the design of a data acquisition system for the study of the

	<p>collector' efficiency by integrating software such as Arduino and Visual Studio and a control system for supplying hot water using a PLC with an expansion module which controls all sensors and actuators that supply hot water at a suitable temperature according to the users' needs. Most branches of mechatronics were applied at the time that renewable energy has been used to preserve the environment. With the results of this research, it was possible to build a system with recycled PVC hoses, giving priority to the low cost and the efficiency of the material.</p>
KEYWORDS	Energy Efficiency, Solar Collectors, temperature control, PVC, ANSYS, Energy Balance, PLC LOGO, ACS

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f: 
ACUÑA CORREA MARCO ALEJANDRO

1717872210

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **ACUÑA CORREA MARCO ALEJANDRO**, CI 1717872210 autor del proyecto titulado: **DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA PARA SUMINISTRO Y CONTROL DE AGUA CALIENTE UTILIZANDO UN COLECTOR SOLAR CON MATERIALES FLEXIBLES** previo a la obtención del título de **INGENIERO MECATRÓNICO** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 18 de agosto del 2016

f: 

ACUÑA CORREA MARCO ALEJANDRO

1717872210

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUCCION	
2. MARCO TEORICO	
2.1 ENERGÍA SOLAR.....	3
2.1.1 TIPOS DE ENERGÍA SOLAR	3
2.1.1.1 Energía Solar Fotovoltaica	4
2.1.1.2 Energía Solar Térmica	4
2.1.2 RADIACIÓN SOLAR	5
2.1.2.1 Tipos de Radiación Solar	6
2.1.2.2 Ángulo de inclinación y ángulo de incidencia.....	7
2.1.3 RADIACIÓN SOLAR EN EL ECUADOR.....	8
2.2 DEMANDA DE AGUA POTABLE EN LA CIUDAD QUITO Y ESTIMACIÓN DE ACS.	10
2.3 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.....	12
2.3.1 TIPOS DE INSTALACIONES PARA SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS	13
2.3.1.1 Instalación por Termosifón	13
2.3.1.2 Instalación por Circulación Forzada	14
2.3.2 COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA.....	15
2.3.3 SISTEMA DE CAPTACIÓN.....	15
2.3.3.1 Colectores Solares.....	15
2.3.3.2 Clasificación Colectores Solares.....	16
2.3.3.3 Colectores Solares Planos	17
2.3.3.4 Elementos de un Colector Plano.....	18
2.3.3.5 Principio de Funcionamiento del Colector Plano.....	23
2.3.3.6 Criterios de selección de colectores solares planos.....	23
2.3.3.7 Diseño de un colector plano.....	24
2.3.4 BALANCE DE ENERGÍA EN UN SISTEMA CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA.....	26
2.3.5 BALANCE ENERGÉTICO EN EL COLECTOR SOLAR	27
2.3.5.1 Cálculo de pérdidas en el colector	28

2.3.6	SISTEMA DE ACUMULACIÓN	32
2.3.7	SISTEMA HIDRÁULICO.	33
2.3.7.1	Elementos de sistema hidráulico.....	34
2.3.7.2	Tuberías	34
2.3.7.3	Válvulas.....	35
2.3.8	SISTEMA DE ENERGÍA AUXILIAR O APOYO.....	37
2.3.9	SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	38
2.3.9.1	Sensores	38
2.3.9.2	PLC	43
2.4	HERRAMIENTAS DE DISEÑO	44
2.4.1	CAD - COMPUTER AIDED DESIGN	44
2.4.2	CAM - COMPUTED AIDED MANUFACTURING	44
2.4.3	CAE - COMPUTER AIDED ENGINEERING	44
2.4.3.1	Software ANSYS	45

3. METODOLOGIA

3.1	PARÁMETROS Y VARIABLES EXTERNAS.....	47
3.1.1	GENERALIDADES DEL ENTORNO	48
3.1.1.1	Ubicación	48
3.1.1.2	Radiación Solar de la zona	49
3.1.1.3	Temperatura Ambiente de la zona.....	49
3.1.1.4	Inclinación	49
3.1.1.5	Orientación.....	50
3.1.1.6	Caudal de ingreso a la vivienda	51
3.1.2	REQUERIMIENTOS DEL USUARIO	51
3.1.3	RESTRICCIONES DEL SISTEMA	51
3.2	SELECCIÓN DE MATERIALES.....	52
3.3	SIMULACIÓN CAD- CAE.....	52
3.3.1	METODOLOGÍA PARA SIMULACIÓN EN ANSYS	53
3.4	DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO.....	54
3.5	SISTEMAS DE CONTROL.....	54
3.5.1	SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	55
3.5.2	CONTROL DE SUMINISTRO Y PRESIÓN EN EL COLECTOR.....	55
3.5.3	CONTROL DE TEMPERATURA.....	55
3.6	CONSTRUCCIÓN	56

3.7	PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA EL PROTOTIPO	57
-----	--	----

4. DISEÑO

4.1	PARAMETROS INICIALES DE DISEÑO PARA EL SISTEMA PARA SUMINSTRO DE ACS.....	58
4.1.1	PARÁMETROS DEL ENTORNO	58
4.1.1.1	Determinación del caudal y velocidad de la red de agua potable.....	58
4.1.1.2	Determinación de la temperatura ambiente promedio	59
4.1.1.3	Determinación de la radiación solar incidente.....	60
4.1.2	PARÁMETROS DE DISEÑO	60
4.1.2.1	Calculo de Masa de agua caliente de consumo.....	61
4.1.2.2	Calculo de la demanda.....	61
4.1.3	DISPOSICIÓN DEL COLECTOR.....	62
4.1.3.1	Determinación del número de tubos secundarios	63
4.1.4	UBICACIÓN DEL SISTEMA.....	63
4.2	SELECCIÓN DE MATERIALES DEL SISTEMA	64
4.2.1	MATERIALES COLECTOR.....	64
4.2.1.1	Alternativas de diseño del colector.....	64
4.2.1.2	Selección de materiales	65
4.2.1.3	Simulaciones CAD-CAE.....	67
4.2.2	SELECCIÓN DEL ACUMULADOR O TERMO TANQUE.....	71
4.3	BALANCE ENERGÉTICO DEL COLECTOR	72
4.3.1.1	Calculo de pérdidas del colector	72
4.3.1.2	Pérdidas de calor en el colector	76
4.3.1.3	Calculo del calor útil recibido por el colector	76
4.3.1.4	Eficiencia real del colector.....	76
4.4	DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL.....	77
4.4.1	DISEÑO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	77
4.4.2	DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE ACS.	79
4.4.2.1	Funcionamiento del sistema.....	79
4.4.2.1	Programación en Software Logo Soft Confort.....	81
4.4.2.2	Diseño del prototipo	82
4.5	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA	83
4.5.1	CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR	83
4.5.2	CONSTRUCCIÓN DE LA CAJA	84

4.5.3	TABLERO DE CONTROL.....	85
4.5.4	MONTAJE DEL EQUIPO	86

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

5.1	ANÁLISIS DE VARIABLES Y PARAMETROS INICIALES.....	87
5.2	ANÁLISIS DE LA SIMULACION Y SELECCION DEL MATERIAL	88
5.3	DIMENSIONAMIENTO.....	89
5.4	RENDIMIENTO DEL COLECTOR	90
5.5	IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE CONTROL.....	91
5.5.1	FACTIBILIDAD DEL SISTEMA VS VALOR ECONÓMICO.....	91
5.6	PRUEBAS Y ANALISIS.....	94
5.6.1	RESULTADOS DE LA VARIACION DE TEMPERATURA EN EL COLECTOR.....	94
5.6.2	AUTONOMÍA DEL SISTEMA.....	96

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	CONCLUSIONES.....	98
	RECOMENDACIONES	100

BIBLIOGRAFIA

7. ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Tipos de Captación Solar.....	3
Figura 2. Proceso para captación de la energía fotovoltaica	4
Figura 3. Aplicaciones residenciales de la energía solar térmica.....	5
Figura 4. Diagrama de radiación solar terrestre	6
Figura 5. Angulo de inclinación del colector sobre una superficie terrestre.....	7
Figura 6. Mapa de Insolación global del Ecuador	8
Figura 7. Histograma de Irradiación Global promedio para el Ecuador.....	9
Figura 8. Consumo promedio según tipología del lugar	11
Figura 9. Consumo de ACS promedio para uso doméstico por áreas.....	11
Figura 10. Aprovechamiento de la energía solar térmica	12
Figura 11. Sistema Termosifón tipo Directa	13
Figura 12. Sistema Termosifón tipo Indirecta.....	14
Figura 13. Configuración circulación Forzada	14
Figura 14. Sistema de Calefacción y Suministro de Agua caliente con colector solar	16
Figura 15. Clasificación por rango de temperatura	17
Figura 16. Partes de un colector plano	18
Figura 17. Colector tipo Parrilla.....	20
Figura 18. Colector tipo Serpéntin	21
Figura 19. Gráfico de Eficiencia vs Número de tubos en un colector.....	21
Figura 20. Gráfica de eficiencia del colector vs dimensiones del tubo distribuidor.....	22
Figura 21. Valores Kt según latitud y ángulo de inclinación para la ciudad de Quito-Ecuador.....	26
Figura 22. Balance de energía del sistema.....	27
Figura 23. Diagrama de pérdidas en un colector solar plano	28
Figura 24. Tanque estratificado para uso de sistemas solares	33
Figura 25. Tipos de tubería a emplearse en sistemas solares.....	34
Figura 26. Electroválvulas de riego usada en el prototipo.....	36
Figura 27. Resistencia 1500 W ubicada en el interior del tanque	

acumulador	37
Figura 28. Potencia de la resistencia auxiliar según capacidad del sistema	37
Figura 29. Diagrama de flujo de un Sistema de adquisición de datos.....	38
Figura 30. Clases de sensores según su aplicación	38
Figura 31. Cuadro comparativo para criterios de selección de sensores de temperatura	39
Figura 32. Temperatura vs Valor resistencia en un PT100	40
Figura 33. Termopar DS18B20	40
Figura 34. Posiciones para el montaje de una sonda dentro de una tubería.....	41
Figura 35. Principio de Funcionamiento de los sensores Fotoeléctricos.....	42
Figura 36. Sensor Infrarrojo de presencia E18-D80NK.....	42
Figura 37. Modulo LOGO - SIEMENS.....	43
Figura 38. Simulación de un Fluido en ANSYS con Modulo FLUENT	46
Figura 39. Metodología Mecatrónica.....	47
Figura 40. Fotografía satelital ubicación de la Vivienda	48
Figura 41. Casa donde se proyecta la instalación del proyecto	49
Figura 42. Ángulo de inclinación recomendado para Ecuador	50
Figura 43. Orientación del colector solar en la vivienda.....	50
Figura 44. Histograma de registro de temperatura en el mes de abril	59
Figura 45. Ubicación del sistema de suministro en la terraza de la vivienda	63
Figura 46. Modelamiento Manguera de Caucho en SolidWorks	68
Figura 47. Modelamiento de manguera de PVC en SolidWorks	68
Figura 48. Transferencia de calor - Manguera de Caucho.....	69
Figura 49. Transferencia de calor Manguera de Caucho - Fluido	69
Figura 50. Transferencia de Calor manguera de PVC	70
Figura 51. Transferencia de calor Manguera PVC – Fluido	70
Figura 52. Acumulador seleccionado para el sistema.....	71
Figura 53. Ubicación de sensores y Electroválvulas en el prototipo	77
Figura 54. Tarjeta para Adquisición de datos con ARDUINO	78
Figura 55. Adquisición de datos ARDUINO-VISUAL STUDIO	78

Figura 56. Sistema de Control - Diagrama de flujo	79
Figura 57. Diagrama Eléctrico de conexión del tablero de control	79
Figura 58. Conexión del sensor PT100 al módulo AM2 RTD.....	81
Figura 59. Simulación en LOGO Soft Confort V8.0.....	81
Figura 60. Plano del sistema de ACS, ubicación de los elementos	82
Figura 61. Vista lateral del prototipo.....	83
Figura 62. Construcción del tubo distribuidor con acoples	84
Figura 63. Instalación de acoples manguera y alzas	84
Figura 64. Tablero de control montado sobre la pared de la vivienda.....	85
Figura 65. Tablero de Control	85
Figura 66. Pantalla principal Modulo Principal LOGO SIEMENS	86
Figura 67. Sistema Colector Solar instalado	86
Figura 68. Salto térmico Tubo de PVC entrada vs salida.....	88
Figura 69. Dimensiones de la placa del Colector Solar.....	90
Figura 70. Distribución del equipo y conexiones dentro de la vivienda	91
Figura 71. Ganancia de Calor del fluido en el Colector en función del tiempo.....	95
Figura 72. Ganancia de Calor del fluido en el Sistema	96
Figura 73. Comportamiento del sistema en momento de consumo de ACS	97

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Datos Meteorológicos de la ciudad de Quito	9
Tabla 2. Valores de Radiación Global en la Ciudad de Quito.....	10
Tabla 3. Valores de volumen vs tiempo tomados en campo	58
Tabla 4. Rangos de Temperatura Ambiente mes de abril	59
Tabla 5. Datos iniciales de diseño para la determinación de la demanda.....	61
Tabla 6. Materiales para el colector Solar	64
Tabla 7. Método de criterios ponderados para selección del material para la construcción del colector	66
Tabla 8. Parámetros y Medidas para simulación en ANSYS.....	67
Tabla 9. Características constructivas del acumulador	71
Tabla 10. Parámetros iniciales para el cálculo de balance de energía en la placa del colector	72
Tabla 11. Materiales empleados en la construcción del colector.....	83
Tabla 12. Resultados de las variables del prototipo	87
Tabla 13. Parámetros obtenidos del usuario	87
Tabla 14. Características del material seleccionado	89
Tabla 15. Dimensiones y características del colector.....	89
Tabla 16. Colectores de placa plana disponibles en el mercado ecuatoriano	90
Tabla 17. Materiales Construcción del Colector	92
Tabla 18. Presupuesto del sistema para el control de suministro de ACS	93
Tabla 19. Presupuesto Global del sistema solar	93
Tabla 20. Variación de Temperatura en el colector en un periodo de 20 días	95

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
Anexo 1. Características de los elementos del sistema de control	104
Anexo 2. Inclinação de 10° del techo de la vivienda	105
Anexo 3. Valores de radiación promedio diaria para el mes de abril	106
Anexo 4. Valores de temperatura ambiente promedio para el mes de abril	107
Anexo 5. Tabla de Propiedades del PVC	108
Anexo 6. Propiedades del Caucho EPDM	109
Anexo 7. Ficha Técnica de Sistemas ACS en el mercado	110
Anexo 8. Datos de temperatura del prototipo tomados en campo	113

RESUMEN

El presente proyecto tuvo como objetivo construir un sistema para el suministro de Agua caliente Sanitaria (ACS) mediante la utilización de un colector solar diseñado y fabricado con materiales plásticos flexibles, el cual fue instalado en una vivienda unifamiliar ubicada en la ciudad de Quito, parroquia de Pifo, provincia de Pichincha. Por la ubicación, características de la zona y la demanda de agua caliente que requieren los usuarios, es óptima la instalación de sistemas de captación solar para el calentamiento de agua. Para el cumplimiento del objetivo se aplicó una metodología que contempla el diseño, análisis e implementación del sistema de suministro de ACS, siguiendo un proceso de diseño mediante cálculos matemáticos para la determinación de pérdidas de energía. Una vez elegidas las principales alternativas de diseño se pasó a un proceso de simulación en sistemas CAD-CAE, bajo los mismos parámetros y condiciones, para discernir la mejor opción mediante un análisis de selección de material. Partiendo de los resultados obtenidos se procedió a la construcción del sistema con manguera reciclada de PVC, priorizando variables de costos, accesibilidad dentro del mercado y grado de eficiencia del material, alcanzando parámetros de eficiencia similares a los sistemas de colectores de placa plana que existen en el mercado, generalmente fabricados en cobre. Para la adquisición de datos de temperatura y el estudio de eficiencia del colector se realizó un sistema de monitoreo integrando sensores controlados a través de una interfaz gráfica Arduino-Visual. Para el suministro de ACS se diseñó un sistema de control utilizando un PLC controlando sensores y actuadores que permitan el abastecimiento de ACS a una temperatura adecuada de acuerdo a las necesidades de los usuarios, para ello se aplicaron las ramas de la Mecatrónica y contribuyendo a la preservación del medio ambiente utilizando energías renovables.

ABSTRACT

This project aims to perform and build a hot water sanitary system using a manifold designed and manufactured with flexible plastic materials. The project has been designed and installed in a house located in Pifo. Because of the characteristics of the area and the user's demand requirements, this kind of solar energy system is ideal for this application. To fulfill the objectives, it was used a mechatronic methodology to design, analyze and implement a system to supply hot water for domestic consumption. A design process was followed using methods and mathematical calculations for determining energy losses. Once the requirements were obtained, they were transferred to a CAD-CAE system for simulation process under the same parameters and conditions and then discern the best choice by material selection analysis. With the obtained results it was proceeded to build the system reaching levels of flat plate collectors systems average efficiency found in the market usually made of copper. The project is complemented by the design of a data acquisition system for the study of the collector' efficiency by integrating software such as Arduino and Visual Studio and a control system for supplying hot water using a PLC with an expansion module which controls all sensors and actuators that supply hot water at a suitable temperature according to the users' needs. Most branches of mechatronics were applied at the time that renewable energy has been used to preserve the environment.

With the results of this research, it was possible to build a system with recycled PVC hoses, giving priority to the low cost and the efficiency of the material.

1. INTRODUCCION

Para el inicio de la investigación se va a tener en cuenta las nuevas tecnologías y conceptos utilizados en los sistemas de calentamiento de agua que son ocupados para uso común de una persona.

Uno de los mayores retos en el campo de las energías renovables es generar un sistema que sea totalmente eficiente y que se base dentro del concepto de la llamada “energía limpia” es decir, utilizando recursos de fuentes virtualmente inagotables.

La corriente del uso de energías renovables y el problema del calentamiento global son factores que han hecho que la sociedad adopte una mentalidad de ahorro, conservación y eficiencia del uso de los diferentes tipos de energías no renovables el momento de su consumo. El agua caliente constituye un consumo energético importante en una casa teniendo diversos usos como la higiene personal y la limpieza de la casa. Actualmente existen diversos sistemas para el calentamiento de agua en el mercado siendo el más utilizado los colectores solares; su eficiencia va a depender de muchos factores tales como ambiente, ubicación, formas, tamaño, materiales, y costos.

En el Ecuador se estima un aumento en el uso de estos sistemas, ya que las políticas adoptadas por el gobierno tienden a eliminar el uso de calentadores de agua con sistemas a gas (calefones), dando una alternativa de un sistema de calentamiento eléctrico, pero que puede resultar en un elevado consumo de energía aumentando los costos en planillas de luz eléctrica. Por esta razón, el calentamiento de agua mediante energía solar, más allá de ser una alternativa ecológica, se ha convertido en una tecnología económicamente atractiva y competitiva.

Este proyecto tendrá como objetivo principal el diseño y construcción de un sistema de suministro y control de Agua Caliente de Consumo Sanitario (ACS) utilizando un colector solar elaborado con materiales plásticos flexibles que sean de fácil acceso dentro del mercado ecuatoriano.

Los siguientes objetivos específicos ayudarán al cumplimiento del objetivo principal planteado:

- Determinar las variables, parámetros y requerimientos que intervienen en un sistema basado en colectores solares de placa plana para suministrar

ACS.

- Simular el comportamiento de los materiales con mayores opciones a ser usados en el colector solar en un Software de simulación ingenieril que permita seleccionar el material para la construcción del prototipo.
- Encontrar un modelo matemático que permita determinar un grado de eficiencia de acuerdo a las diferentes variables y parámetros ya determinados.
- Construir el prototipo, empleando el material plástico flexible seleccionado de acuerdo a la fase de diseño y simulación.
- Diseñar y construir un sistema de control automático para suministro de ACS.
- Realizar pruebas y validación del prototipo de suministro de ACS respecto a los requerimientos del usuario.

El alcance de este estudio se basará en el análisis y selección de los materiales determinando las variables que intervienen en el sistema, ya sean factores internos propios del material y de los componentes o externos como ubicación, climatología entre otros, que permitan encontrar un comportamiento a través de un modelo matemático. Este estudio y la selección de materiales se soportarán en un análisis por simulaciones a través de un software especializado y así reducir costos y tiempo de construcción de los diferentes materiales que se pueden usar en el sistema.

Por otro lado, en un sistema de calentamiento de agua termo solar, el reabastecimiento de agua y el control de la temperatura son operaciones que no se deben controlar manualmente, por lo que es necesario implementar sistemas de control de temperatura y abastecimiento automático que generen una óptima calidad en el suministro y temperatura de ACS de acuerdo a los requerimientos del usuario.

Para el control automático se utilizará actuadores electrónicos los cuales serán controlados por un PLC configurado y programado para que realice todas las operaciones automáticas para garantizar el suministro de agua caliente.

2. MARCO TEORICO

2.1 ENERGÍA SOLAR

La energía solar es una energía renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol, se puede transformar en otra forma de energía útil para la actividad humana: en calor, en energía eléctrica o en biomasa.

Según el Instituto especializado en energía solar Consolar cada hora el sol envía a la Tierra más energía de la que sería necesaria para satisfacer las necesidades mundiales de energía durante un año entero. La energía solar es la tecnología utilizada para aprovechar la energía del sol y hacerla utilizable. En la actualidad, la tecnología produce menos de una décima parte del 1% de la demanda mundial de energía.

2.1.1 TIPOS DE ENERGÍA SOLAR

Como se muestra en la Figura 1 existen dos formas principales de utilizar la energía solar, una como fuente de calor en sistemas solares térmicos y que es objeto del estudio y la otra como fuente de electricidad en sistemas solares fotovoltaicos. A su vez cada sistema tiene diferentes aplicaciones y mecanismos de acuerdo a la temperatura que se requiere alcanzar y su uso.



Figura 1. Tipos de Captación Solar

(Ligero, 2013)

2.1.1.1 Energía Solar Fotovoltaica

Se refiere a la electricidad producida por la transformación de una parte de la radiación solar con una célula fotoeléctrica (es un componente electrónico que, expuesto a la luz (fotones), genera una tensión). Varias celdas están conectadas entre sí en un módulo solar fotovoltaico. A su vez varios módulos se agrupan para formar un sistema solar para uso individual o una planta de energía solar fotovoltaica, que suministra una red de distribución eléctrica (San Jose, 2009), como puede observarse en la Figura 2, en la cual se detalla el proceso desde la captación solar hasta la utilización de la energía eléctrica.

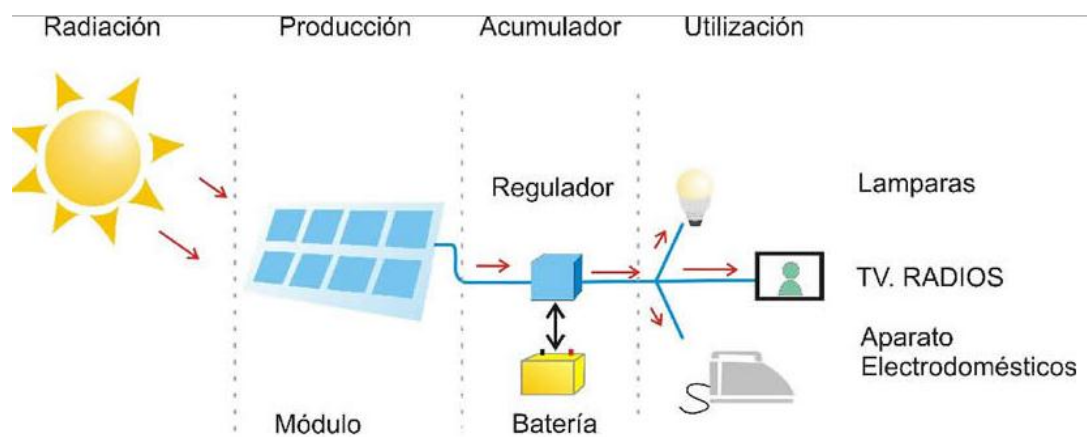


Figura 2. Proceso para captación de la energía fotovoltaica
(FotoHogar, 2014)

2.1.1.2 Energía Solar Térmica

La energía solar térmica designa todas las tecnologías que utilizando como fuente la radiación del sol, transforman su energía en calor utilizable para satisfacer directamente cualquier necesidad calorífica (Tous, 2009), entre sus aplicaciones domesticas de uso frecuentes se encuentra en sistemas de calefacción, suministro de ACS y climatización de piscinas como se muestra en la Figura 3. La cocción de alimentos, la producción de energía mecánica y de esta manera generar energía eléctrica o alimentar una máquina de refrigeración por absorción, que emplea calor en lugar de electricidad para producir frío son otras aplicaciones encontradas para el uso de este tipo de energía.

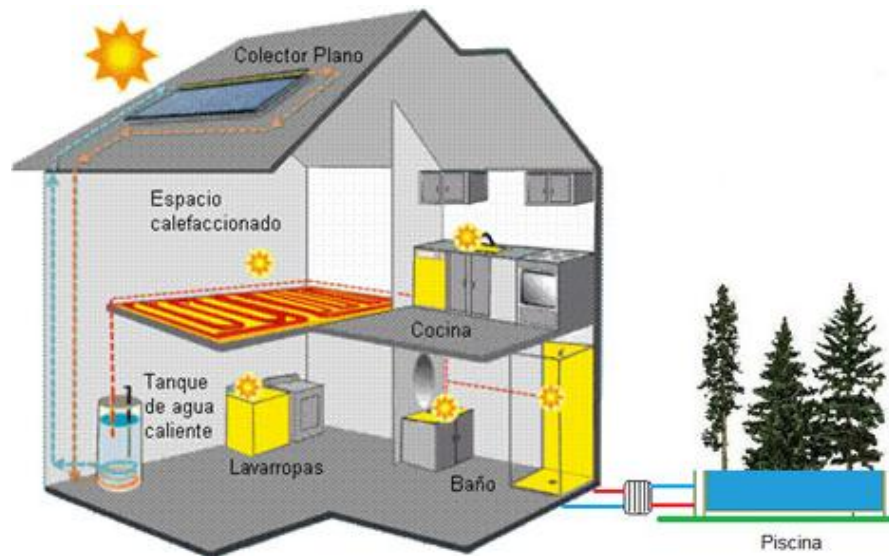


Figura 3. Aplicaciones residenciales de la energía solar térmica
(CENSOLAR, 2012)

2.1.2 RADIACIÓN SOLAR

El Sol es una estrella que en su superficie alcanza 5780 Kelvin. Por la ley de Wien, se sabe que la energía máxima de esa radiación se encuentra en el rango de longitudes de onda de la luz visible.

$$\gamma_{max} * T = 0.0028976 [mK] \quad [1]$$

Dónde:

γ_{max} : Longitud de onda del pico de emisión [m]

T : Temperatura del cuerpo negro [K]

También conocida con el nombre de irradiación, es la energía proveniente del Sol que incide sobre una superficie de un metro cuadrado en la superficie y tiene estas unidades [J/m²].

Por la distancia media que hay entre el Sol y la Tierra, una unidad astronómica (1UA), y teniendo en cuenta la ley de Stefan-Boltzmann que mide la radiación que desprende un cuerpo negro, se calcula que la radiación que llega a la superficie de la tierra es del 51.6%. La atmósfera atenúa aproximadamente un 48.4% de toda esta radiación debido a fenómenos de absorción y reflexión causada por partículas en la atmósfera como el vapor de agua y la capa de ozono (Abal, 2012)

Irradiancia solar. - Es la energía incidente por unidad de tiempo (potencia) sobre la unidad de superficie; por lo cual su unidad es [W/m²]

Es máxima en el Ecuador y disminuye hacia los polos.

$$1367 \pm 7 \text{ W/m}^2$$

Si la irradiancia solar se la integra durante un cierto período de tiempo, se puede expresar a la radiación solar como [Wh/m²] (Viloria, 2012).

2.1.2.1 Tipos de Radiación Solar

La radiación solar que llega a la superficie terrestre varía de acuerdo a los diferentes factores causados por la atmósfera terrestre y a efectos astronómicos relacionados por la geometría de la Tierra con el Sol.

Se definen de la siguiente manera:

Radiación Global: Es la cantidad de energía incidente por unidad de superficie terrestre y resulta de la suma de la radiación directa, reflejada y difusa la como su muestra en la Figura 4.

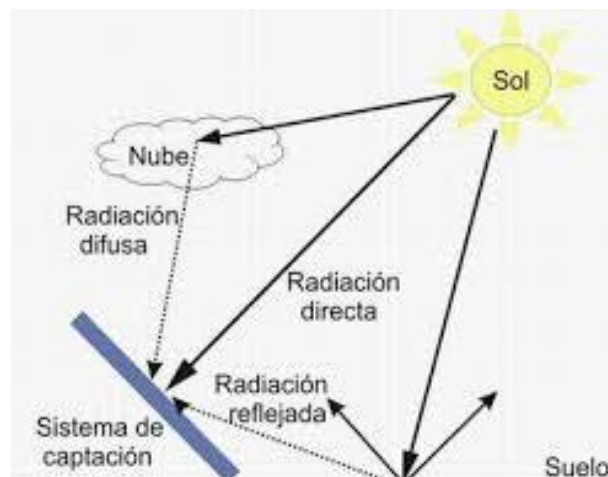


Figura 4. Diagrama de radiación solar terrestre

(Tous, 2009)

$$I_g = I_{df} + I_{dr} + I_{rf} \quad [2]$$

Donde:

I_g : Radiación total emitida por el sol [W/m²]

I_{df} : Radiación difusa [W/m²]

I_{rf} : Radiación reflejada [W/m²]

I_{di} : Radiación directa [W/m²]

Radiación Directa: es la que llega directamente del sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan. (Prados, 2007)

Radiación Difusa: Es la radiación reflejada o absorbida por la atmosfera, va en todas las direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no solo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. (Prados, 2007)

Radiación Reflejada: Es aquella reflejada por la superficie terrestre, la cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie. Las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben. (Prados, 2007)

2.1.2.2 Ángulo de inclinación y ángulo de incidencia.

El ángulo de inclinación (α) es aquel entre la superficie colectora y el plano horizontal (Figura 5). Debido al cambio de posición del sol durante el año, la inclinación de los colectores solares varía en función de la latitud en la cual se encuentre la instalación. Según el NEC-11, en el Ecuador este ángulo puede ser máximo hasta 15° para aprovechar la mayor parte de recursos energéticos y por motivos de mantenimiento.

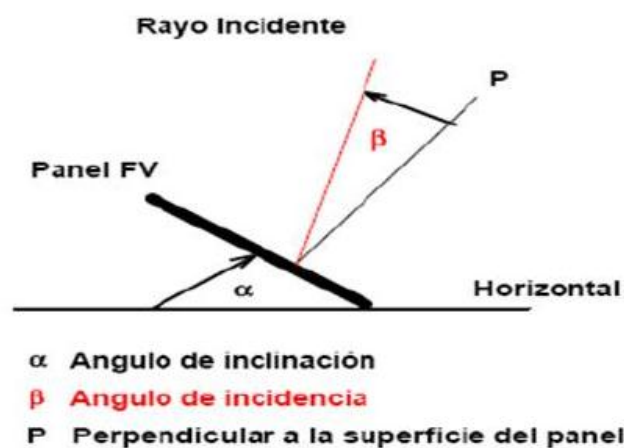


Figura 5. Angulo de inclinación del colector sobre una superficie terrestre
(NEC-11, 2011)

2.1.3 RADIACIÓN SOLAR EN EL ECUADOR

El Ecuador al estar atravesado por la Línea Equinoccial, tiene poca variabilidad en la posición del sol durante todo el año por lo cual favorece la aplicación de la energía solar para producir electricidad y calor, ya que en promedio hay 12 horas de sol durante el día.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que la radiación solar se ve directamente afectada por la cantidad de nubosidad existente; razón por la cual, los niveles de irradiación son inferiores a los que era de esperar

El Consejo Nacional de Electricidad en el año 2008 publicó el “Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica”, en el cual muestra resultados de la radiación solar directa, difusa y global con variaciones por cada mes del año. En la Figura 6 se observa el mapa de irradiación global promedio del Ecuador y que de acuerdo a la gama de colores detallado en la Figura 7 el país tiene un promedio de radiación de 4700 a 4920 Wh/m². día.

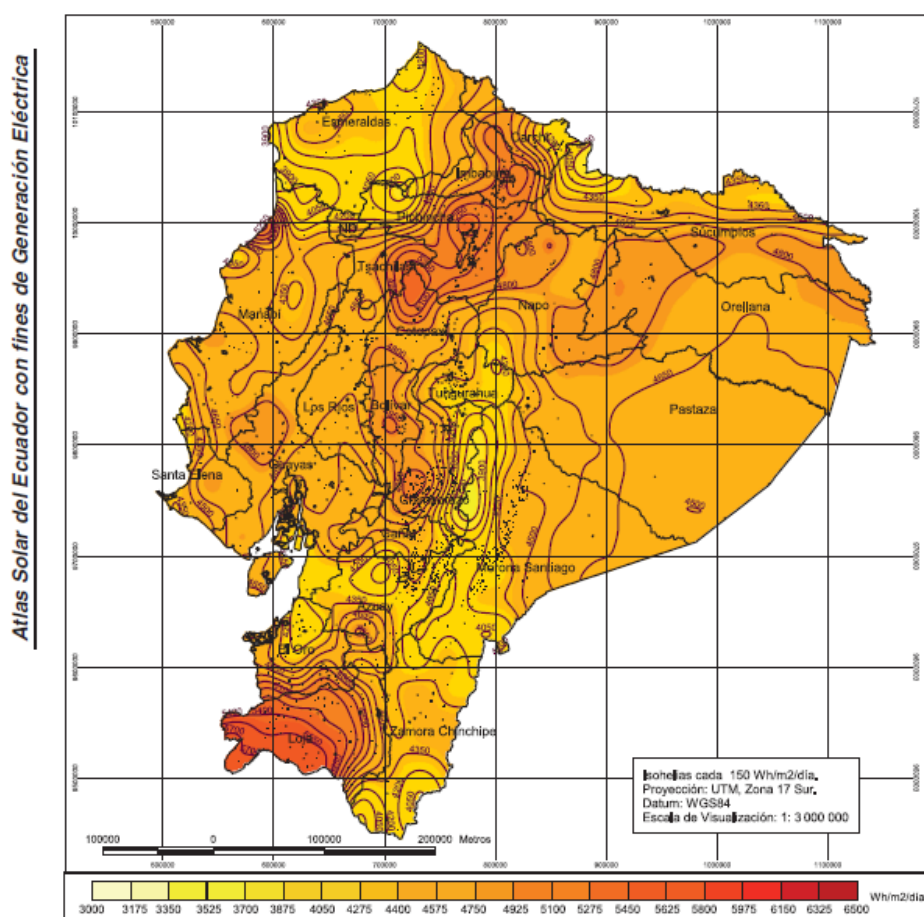


Figura 6. Mapa de Insolación global del Ecuador
(CONELEC, 2008)

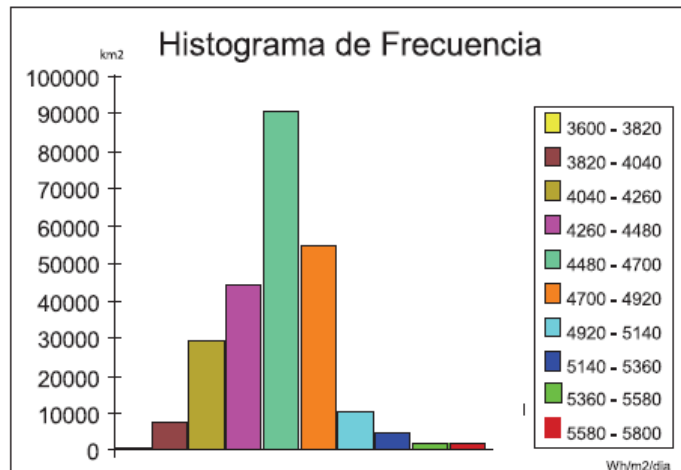


Figura 7. Histograma de Irradiación Global promedio para el Ecuador (CONELEC, 2008)

Con la elaboración de este atlas se ha podido dar a conocer las ventajas de la utilización de la energía solar, a su vez da una estimación de datos para cálculos de dimensionamiento para aplicaciones solares.

El citado Atlas es el último disponible, que se hizo con valores de insolación satelital de la NASA, que no cambian sustancialmente en el tiempo. Sin embargo, son valores referenciales que deben ser comprobados en los sitios de posibles proyectos. En la Tabla 1 se detallan los datos meteorológicos en la ciudad de Quito los cuales son necesarios para dimensionar el sistema de calentamiento solar.

Tabla 1. Datos Meteorológicos de la ciudad de Quito

QUITO	LATITUD	0°		
Sitio	H (MJ/m2/día)	T ambiente (°C)	T red (°C)	V media viento a 10 m (m/s)
Enero	17.82	13.6	11.6	2
Febrero	17.82	13.9	11.9	1.9
Marzo	17.82	13.8	11.8	1.7
Abril	17.28	13.8	11.8	1.7
Mayo	16.74	13.9	11.9	1.8
Junio	17.28	14.1	12.1	2.3
Julio	18.9	13.8	11.8	2.7
Agosto	19.44	14.2	12.2	2.9
Septiembre	19.98	13.8	11.8	2.3
Octubre	18.9	13.6	11.6	2
Noviembre	18.9	13.5	11.5	1.9
Diciembre	18.36	13.5	11.5	2

(NEC-10, 2011)

Según datos del NEC10 los datos que se muestran en la Tabla 2. corresponden a valores de la radiación global durante los meses del año y se determina un valor promedio en Watts lo que permite facilidad en los cálculos para el balance energético del sistema.

Tabla 2. Valores de Radiación Global en la Ciudad de Quito

RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO MENSUAL EN QUITO kWh/m2.dia		
Sitio	Quito Centro	Quito Norte
Latitud	0.22 S	0.13 S
Longitud	78.48 W	78.48 W
Elevación msnm	2850	2812
Años de lectura	25	4
Enero	4.48	4.94
Febrero	4.6	4.64
Marzo	4.68	4.78
Abril	4.35	4.53
Mayo	4.55	4.83
Junio	4.28	4.69
Julio	5.22	5.53
Agosto	5.1	5.47
Septiembre	5.11	4.89
Octubre	4.68	5.25
Noviembre	4.39	5.14
Diciembre	4.69	5.14
Promedio	4.68	4.99

(NEC-10, 2011)

2.2 DEMANDA DE AGUA POTABLE EN LA CIUDAD QUITO Y ESTIMACIÓN DE ACS.

Igual que en el consumo eléctrico, la demanda de agua potable sufre variaciones entre los usuarios, dependiendo de su cultura, hábitos de consumo, necesidades, actividades rutinarias, etc.

La ciudad de Quito, tiene una cobertura de agua potable del 97,88% en el área urbana y 90,67% en el área rural.

El total de agua que la ciudad consume cada día de promedio es de 639 millones de litros de agua. Esto significa que cada habitante de Quito (2,4 millones personas) consume de promedio 266 litros diarios, si consideramos

que el 30% del agua producida no se factura, el consumo promedio sería de 186 litros/persona/día. (CALLES, 2012)

Partiendo de estos datos de consumo de agua potable en Quito se puede estimar un porcentaje de uso de ACS basándose en estudios previos de La normativa del Plan Solar de Castilla y León que sirvan de referencia como inicio de datos para el estudio, los cuales se detallan en la Figura 8 en la cual también se estiman valores lugares de mayor afluencia.

Tipología de Usuario	Lt/día
Viviendas unifamiliares	40 por persona
Viviendas multifamiliares	30 por persona
Hospitales	80 por cama
Hotel ****	100 por cama
Hotel ***	80 por cama
Hotel/Hostal **	60 por cama
Hostal/Pensión *	50 por cama
Residencia (ancianos/estudiantes)	80 por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	20 por servicio

Figura 8. Consumo promedio según tipología del lugar
(Leon, 2002)

Los usos más frecuentes de ACS dentro de una vivienda se dan en los baños y cocina. En la Figura 9 se especifica los valores de consumo promedio por áreas, tomando en cuenta que son valores referenciales ya que el consumo estará determinado por los hábitos de consumo de los usuarios.

USOS		CONSUMO Litros/día/persona a 50 °C
DOMÉSTICO	Baños	35
	Cocina	5
	Lavatorios	5

Figura 9. Consumo de ACS promedio para uso doméstico por áreas
(NEC-11, 2011) (Parte de la tabla extraída)

2.3 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

La energía térmica se origina al producirse la transmisión de energía de un cuerpo caliente a un cuerpo frío. La cantidad de energía térmica que gana o pierde un cuerpo en contacto con otro cuerpo a diferente temperatura se denomina calor. La energía térmica se la mide en unidades calóricas.

Por esta relación directa entre energía térmica y calor es que a este tipo de energía se la denomina energía térmica o energía calórica. (Chiriboga, 2009) Este principio se lo aplica aprovechando el recurso solar y que mediante componentes de captación se transforma en energía calorífica para aplicaciones sanitarias y domesticas como se muestra en la Figura 10.

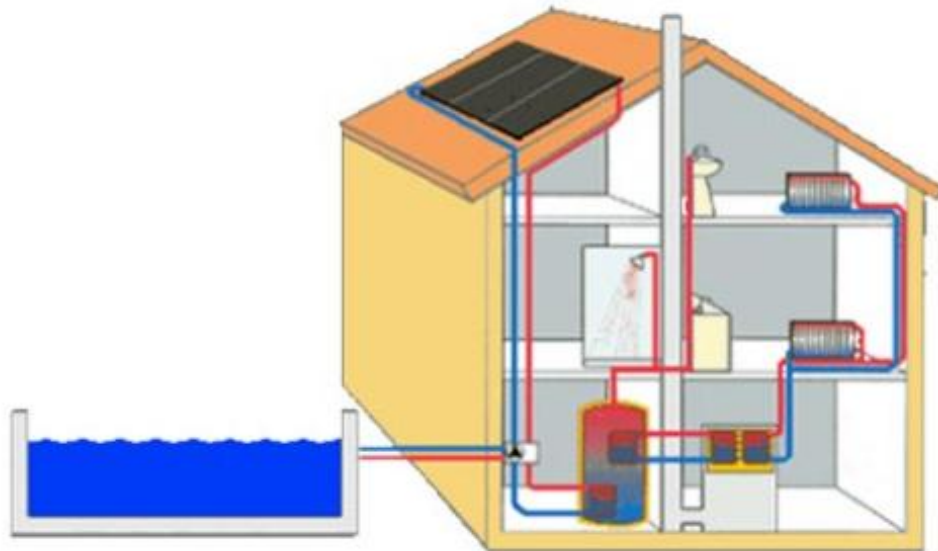


Figura 10. Aprovechamiento de la energía solar térmica
(Ceasur, 2006)

El objetivo del sistema termo solar consiste en aprovechar la radiación solar para calentamiento de fluidos. La cantidad de energía solar aprovechable depende de factores como diseño, localización, control, agentes atmosféricos y calidad de los materiales dentro de la instalación.

Para la implementación de un sistema termo solar, así como de un sistema solar fotovoltaico, se tiene la necesidad de realizar una inversión inicial elevada, con un horizonte de vida media de instalación superior a los veinte años.

2.3.1 TIPOS DE INSTALACIONES PARA SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS

El tipo de instalación a utilizar en un sistema para suministrar ACS va a depender del tipo y configuración de elementos a utilizar además de factores de eficiencia y requerimientos del usuario.

2.3.1.1 Instalación por Termosifón

Consiste en que la circulación en el circuito primario del sistema solar se efectúa por convección natural, debido a las diferencias de densidad entre el fluido. El fluido asciende al calentarse, al llegar al acumulador transfiere el calor al agua acumulada y regresa al captador el fluido frío. Las instalaciones por termosifón no requieren sistemas de apoyo para el calentamiento. Sin embargo, dependiendo del lugar de instalación, pérdidas en los recorridos y cambios climáticos severos se contempla sistemas auxiliares de apoyo. (Escoda, 2011)

Dentro de estos sistemas existen dos configuraciones:

- **Directo.** - cuando el agua de consumo pasa directamente por el colector, y el acumulador.

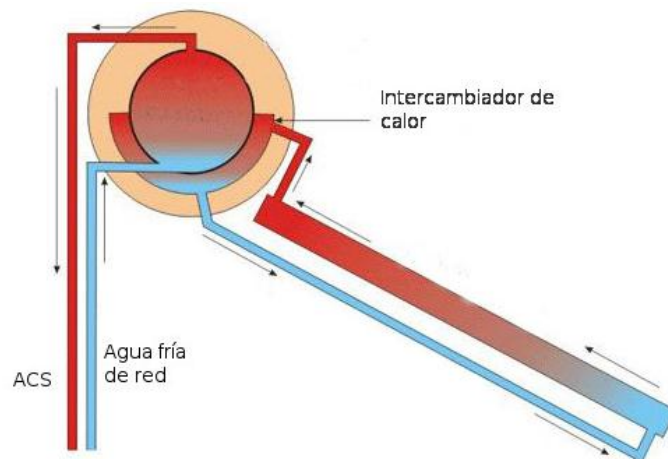


Figura 11. Sistema Termosifón tipo Directa

(Escoda, 2011)

- **Indirectos.** - cuando el acumulador incorpora un intercambiador, normalmente tipo serpentín, de manera que existe un circuito primario,

colector-acumulador, y un circuito secundario, el agua acumulada para el consumo.

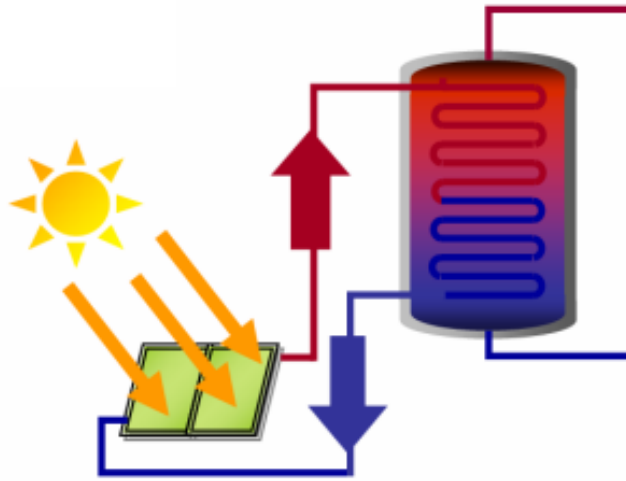


Figura 12. Sistema Termosifón tipo Indirecta
(Escoda, 2011)

2.3.1.2 Instalación por Circulación Forzada

Otro tipo de instalación es por circulación forzada, consiste en que la circulación del fluido dentro del sistema se lo realiza con ayuda de una bomba como se muestra en la Figura 13, el caudal de fluido se mantiene constante y generalmente puede dar saltos de temperatura entre 4°C y 5°C en el fluido que pasa por los colectores.

Este tipo de instalación puede funcionar en cualquiera de las configuraciones sea indirecta o directa (Bustos, 2014).

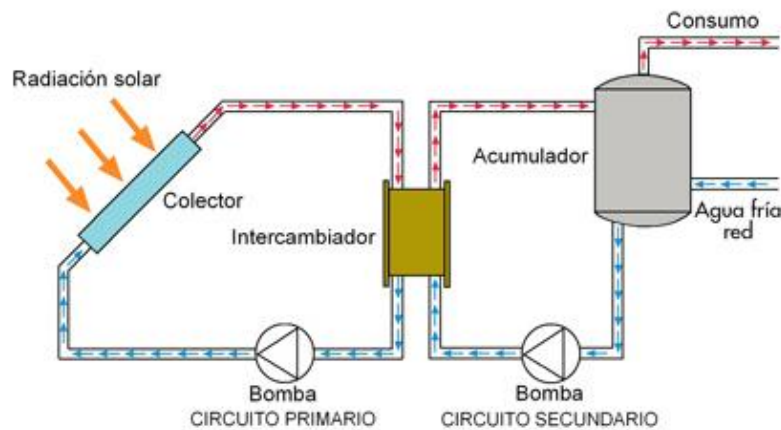


Figura 13. Configuración circulación Forzada
(Bustos, 2014)

2.3.2 COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA

- Sistema de captación. - Conformado por uno o varios captadores, que expuestos a la energía solar calientan el fluido que llevan dentro.
- Sistema de acumulación. - encargado de almacenar el agua caliente.
- Sistema hidráulico. - conduce el fluido o agua caliente, constituido por tuberías, válvulas, bombas.
- Sistema de regulación y control. - encargado del correcto funcionamiento del equipo termo solar.
- Sistema de energía auxiliar. - en caso de que la energía solar no sea la suficiente o el sistema termo solar no cubra la demanda del consumo de ACS, estos sistemas auxiliares pueden ser eléctricos, a gas o híbridos dependiendo su aplicación. (Vintimilla W. F.-J., 2011)

2.3.3 SISTEMA DE CAPTACIÓN

Como su nombre lo indica son elementos que expuestos a la energía solar concentran y almacenan calor. Es la parte fundamental del sistema ya que la eficiencia del proceso de transferencia de calor al fluido va a depender de factores como materiales, dimensiones y configuraciones del colector.

2.3.3.1 Colectores Solares

Los colectores solares son dispositivos utilizados para recolectar, absorber y transferir energía solar a un fluido, que puede ser agua o aire. La energía solar, puede ser utilizada para calentar agua, para sistemas de calefacción o para climatización de piscinas entre los usos más comunes como se muestra en la Figura 14.

Desde su invención hace aproximadamente 120 años, se han desarrollado diversas formas de colectores solares térmicos, que van de los colectores planos a los colectores parabólicos y helióstatos.

El calor proveniente del sol es almacenado colectores solares, el cual se encarga de transformar la energía radiante en calor. La radiación solar que el colector recepta es básicamente la que se encuentra en el espectro visible, con longitudes de onda entre 0,29 y 2,5 μm (Chiriboga, 2009) Su eficiencia va

a ser determinada por el tipo de instalación o método de captación y el tipo de materiales a emplear.

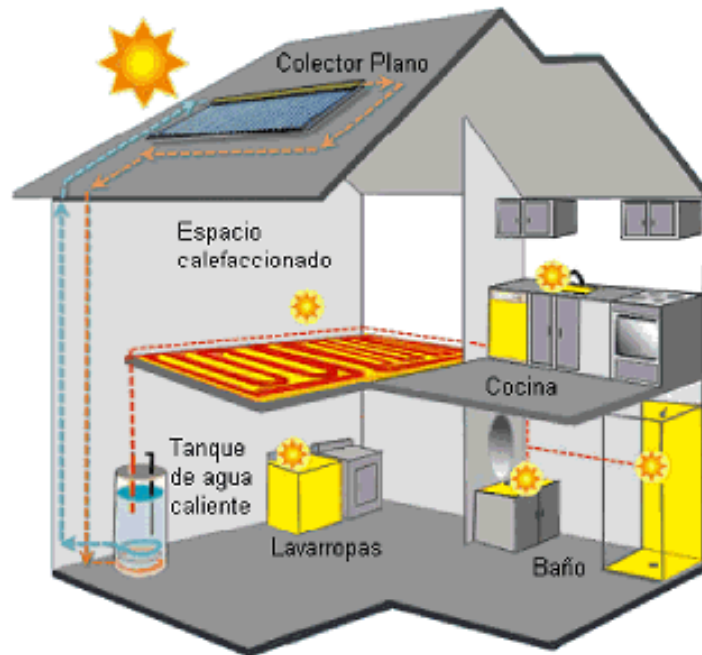


Figura 14. Sistema de Calefacción y Suministro de Agua caliente con colector solar
(Energia, 2007)

2.3.3.2 Clasificación Colectores Solares

Los colectores solares se pueden clasificar en base a diferentes parámetros los cuales están establecidos por:

- Principios de circulación
- Sistema de intercambio
- Tipo de Aplicación
- Tipo de fluido de trabajo

De manera general como se muestra en Figura 15 los colectores solares se pueden clasificar por el rango de temperatura, los cuales se subdividen en dos grandes grupos: (Vintimilla W. F.-J., 2011)

- Captadores de baja temperatura, utilizados fundamentalmente en sistemas domésticos de calefacción y ACS (alcanzan hasta 100 °C), los cuales son objeto de este estudio considerados captadores de placa plana protegidos.

- Captadores de mediana y alta temperatura, conformados mediante espejos, y utilizados generalmente para producir energía eléctrica (mayor de 100 °C y pueden alcanzar temperaturas de cercanas a 1000 °C).

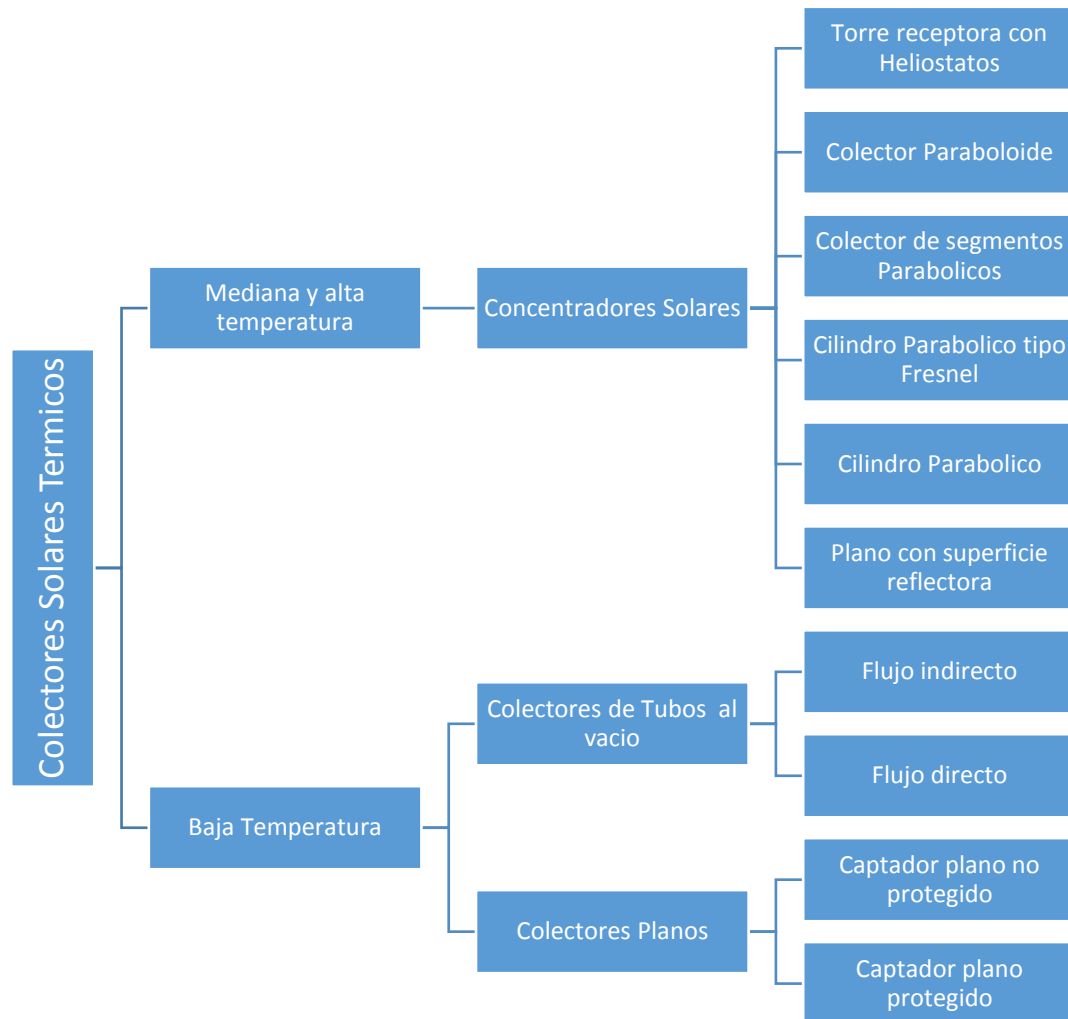


Figura 15. Clasificación por rango de temperatura
(Vintimilla, 2011)

2.3.3.3 Colectores Solares Planos

Los colectores de placa plana son los más usados para suministrar ACS en los hogares e industrias. Este tipo de colectores, calientan el fluido que circula por el interior a una temperatura considerablemente inferior a la del punto de ebullición del agua y son los más adecuados para aplicaciones donde la demanda de temperatura es de 30°C a 70°C.

Generalmente en este tipo de colectores el área de la superficie que absorbe la radiación solar es la misma que el área total del colector.

Debido a las excelentes condiciones climatológicas del Ecuador y a la tecnología de los calentadores solares, estos pueden alcanzar temperaturas por encima de los 90°C. En condiciones de uso normal teniendo agua caliente todos los días la temperatura que se mantiene en el termo tanque de almacenamiento no representa ningún riesgo para el ser humano, teniendo en cuenta que tiene la capacidad de mezclar a la temperatura deseada, que generalmente para el baño diario es de 30°C a 42°C. (Leon, 2002)

2.3.3.4 Elementos de un Colector Plano

Un colector de placa plana está formado por varios componentes como se muestra en la Figura 16. El absorbedor (d), cubierta transparente (a), caja (c), y un material aislante (b). La cubierta transparente transmite una gran cantidad de la luz de onda corta del espectro solar y al mismo tiempo, sólo deja pasar muy poca radiación de onda larga (calor emitido por el absorbedor) produciendo un efecto invernadero (Cora Placco, Luis Saravia, Carlos Cadena, 2012).

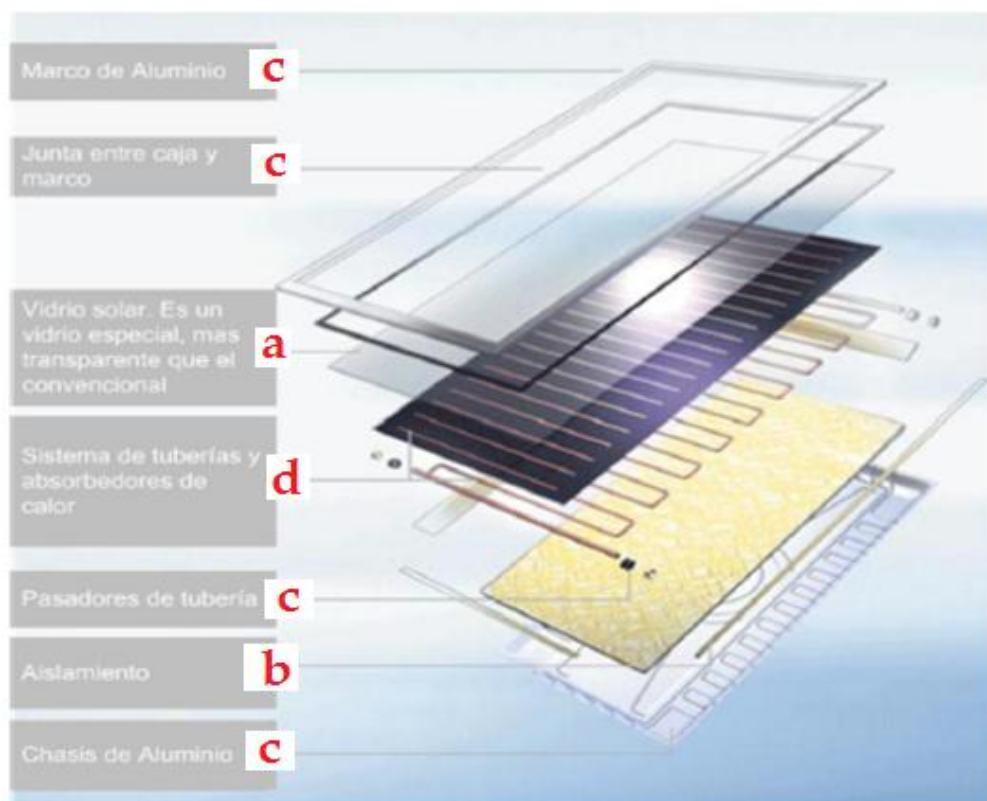


Figura 16. Partes de un colector plano
(Fauroux, 2013)

a) Cubierta

La cubierta puede ser de vidrio o de plástico. Por eficiencia se recomienda el uso de cubiertas de vidrio, permitiendo alcanzar altas temperaturas.

Este vidrio puede ser de tipo solar o normal transparente. El vidrio solar se caracteriza por ser pulido en su cara interior y ligeramente rugoso en su cara exterior, posibilitando el aumento del cono de la abertura útil. Además, contiene cantidades bajas de hierro en su composición, lo que aumenta su transmisividad y disminuye su emisividad. (Cora Placco, Luis Saravia, Carlos Cadena, 2012)

b) Aislamiento

La función principal del aislamiento es reducir las pérdidas de calor por factores o temperaturas externas al colector, se utiliza en todas paredes de la caja y los materiales más utilizados son fibra de vidrio, las resinas de melanina, lana de roca, espuma rígida de poliuretano y polietileno expandido. Al momento de elegir el material se debe tomar en cuenta ciertas características del material como:

- Coeficiente de aislamiento. - Mientras mayor sea el coeficiente de aislamiento, mayor será la reducción de pérdidas de acuerdo a un espesor determinado.
- Temperatura de trabajo máximo. - No debe degradarse el aislamiento cuando está sometido a elevadas temperaturas de trabajo. El deterioro de este aislamiento puede resultar en pérdidas excesivas de calor en el interior de la cubierta.

c) Caja

Su función principal es proteger y contener todos los elementos del colector, la misma que dará fijación al colector y debe estar constituida por materiales que soporten la intemperie y a los agentes atmosféricos.

Los marcos son comúnmente fabricados a base de acero inoxidable o aluminio anodizado. Deben tener cierto coeficiente elástico ya que soporta dilataciones y diferentes factores atmosféricos, además que son livianos y esto ayudando al mantenimiento.

d) Absorbedor

El componente más importante del colector solar, es el que recibe toda la radiación incidente, una parte es reflejada y el resto es absorbida y transformada en calor útil, el cual se transporta por el fluido caloportador que circula por las tuberías. El absorbedor debe tener la suficiente capacidad para absorber la radiación solar y muy poca para emitir, así se puede obtener un mayor rendimiento, la parte frontal del absorbedor se trata con un revestimiento selectivo que hace mínima la radiación térmica infrarroja y optimiza la transformación de radiación solar en energía térmica.

Este calor transportado es transmitido al fluido contenido en los acumuladores, muchas veces de forma directa y otras de forma indirecta a través de un intercambiador. (Cora Placco, Luis Saravia, Carlos Cadena, 2012)

Configuración del absorbedor

Existen diferentes configuraciones de absorbedores entre los que destacan los siguientes:

- **Tipo Parrilla**

Esta es la configuración más empleada, con una disposición de tubos verticales (secundarios) y en sus extremos tubos de mayor diámetro llamados distribuidores. Su funcionamiento se basa en el ingreso del fluido de trabajo por el tubo distribuidor inferior, el fluido se distribuye por cada tubo secundario y debido al calor producido por la radiación solar provoca una diferencia de densidad en el fluido que tiende a subir por cada tubo secundario hasta el tubo distribuidor superior, este principio es conocido también como termosifón. (Massardo, 2012)

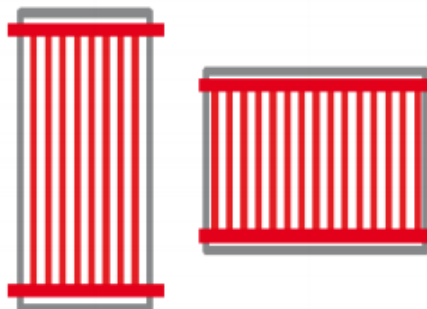


Figura 17. Colector tipo Parrilla

▪ Tipo Serpentín

Con esta configuración se logra un mayor calentamiento del fluido de trabajo, pero se disminuye la carga total del fluido por la presencia de cambios de dirección en el circuito (Figura 18). Por esta razón no se recomienda el empleo de absorbedores tipo serpentín en instalaciones solares con circulación por termosifón. (Massardo, 2012)

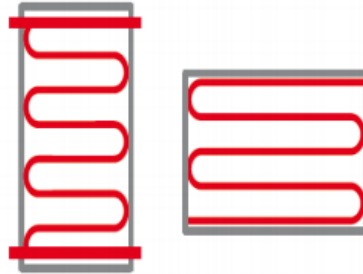


Figura 18. Colector tipo Serpentín

Número de Tubos secundarios en el absorbedor

En un colector tipo parrilla no existe una ecuación que relacione la cantidad de tubos a utilizar con alguna variable, pero si se puede hacer un análisis de costo-beneficio ya que de acuerdo a la Figura 19 la curva de eficiencia del colector llega a un límite determinado sin importar el número de tubos que se aumenten en cada material. De tal manera que se puede reducir al mínimo la cantidad de tubos secundarios ahorrando en costos de implementación y material (Vasquez, 2003).

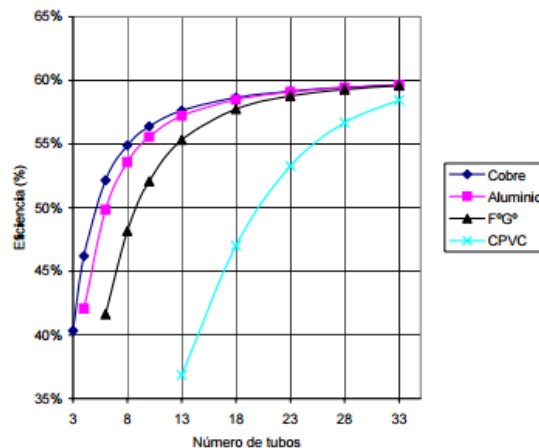


Figura 19. Gráfico de Eficiencia vs Número de tubos en un colector (Vasquez, 2003)

Entonces de acuerdo a la Figura 19, para alcanzar una eficiencia máxima con cualquier tipo de material, el sistema debe estar compuesto entre 18 y 33 tubos. Ahora este número puede variar dependiendo de las dimensiones del tubo distribuidor.

De acuerdo a la Figura 20, existe una relación entre la eficiencia y las dimensiones del colector. Se puede analizar que los mayores parámetros de eficiencia se encuentran dentro del rango de 1 a 1.5 metros de longitud.

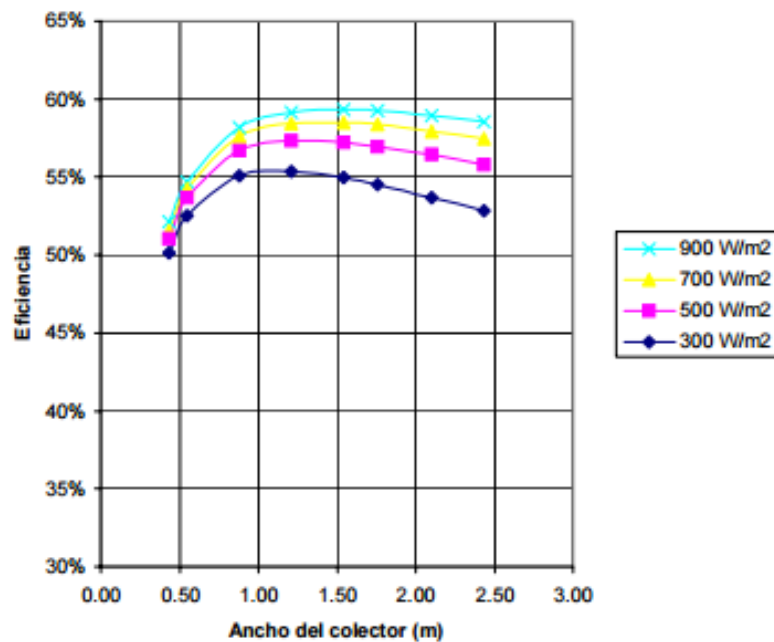


Figura 20. Gráfica de eficiencia del colector vs dimensiones del tubo distribuidor (Vasquez, 2003)

No existe ecuación que relacione algún tipo de variable para el cálculo exacto del número de tubos secundarios en el colector. Pero se puede concluir que el número de tubos guarda una relación entre la distancia entre tubos secundarios y las dimensiones del colector.

$$nt = dtd/d \quad [3]$$

Dónde:

nt: Numero de tubos

dtd: Distancia del tubo distribuidor. [cm]

d: Distancia entre tubos secundarios [cm]

Si se toma los datos promedios de las curvas de la Figura 19 y Figura 20 tiene que el número de tubos promedio de 26 unidades y el ancho del colector de 125 cm. Despejando de la ecuación [3] obtenemos que la distancia entre cada tubo es de 4.80 cm que guarda concordancia con los colectores de placa plana que existen en el mercado.

Cabe recalcar que esta distancia (d) es referencial y puede estar relacionada con el diámetro externo del tubo. (Fauroux, 2013)

2.3.3.5 Principio de Funcionamiento del Colector Plano

El principio básico de un colector solar plano es esencialmente una placa metálica o cobre de color negro mate, con el fin de absorber al máximo la radiación directa y difusa que proviene del sol y de la atmosfera respectivamente. La radiación solar después de ser absorbida es transformada en energía térmica. Sin embargo, como el ambiente se encuentra a una temperatura inferior a la del colector, esta placa comienza a experimentar pérdidas.

Para reducir las pérdidas de energía en la parte posterior y laterales, la placa está encerrada en una caja metálica resistente ya que se encuentra expuesta a la intemperie la cual debe estar bien aislada al fondo y lateralmente, generalmente se usa espuma de poliuretano.

La parte superior del colector está cubierta con una o más láminas de vidrio o de plástico transparente, permitiendo que penetre la luz solar, pero evitando el escape de la radiación infrarroja emitida de la placa caliente.

El calor neto absorbido por la placa es transferido a varios tubos de metal o plástico, colocados en forma vertical separados por una distancia mínima y unida estrechamente a la placa, por los que el fluido se hace circular. Dichos tubos se colocan longitudinalmente de manera que el fluido (aire o agua) frío entre por la parte baja y salga, una vez caliente, por parte alta, debido a su menor densidad.

2.3.3.6 Criterios de selección de colectores solares planos.

Para el diseño de un sistema solar es fundamental conocer ciertos parámetros que nos permitan determinar el sistema solar más adecuado de acuerdo a la

aplicación requerida tales como:

- Las necesidades del usuario y las condiciones de infraestructura y montaje.
- Orientación e inclinación de la superficie donde se pretende instalar el sistema.
- Condiciones climáticas del lugar.
- Globalidad del proyecto.

2.3.3.7 Diseño de un colector plano

Para el inicio del diseño de un colector se toma en cuenta los siguientes parámetros iniciales.

Demanda energética del sistema

Para establecer la energía necesaria para elevar la temperatura de un volumen determinado de agua se tiene la siguiente expresión (NEC-11, 2011).

$$E = M * Cp(Tf - Ti) \quad [4]$$

Dónde:

E : Demanda energética (kJ/día)

M : Masa de agua a calentar en un día (kg/día)

Cp : Capacidad calorífica del agua (4,18 kJ/kg °C)

Ti : Temperatura inicial del agua (°C)

Tf : Temperatura de consumo del agua (°C)

La masa de agua M está dada por la siguiente ecuación:

$$M = Np * \rho_{H2O} * Vc \quad [5]$$

Dónde:

Np : Número de personas (personas/día)

Vc : Volumen de agua per cápita (lt/persona)

ρ_{H2O} : Densidad del agua (1 000 kg/m³)

Como se determina en la Figura 8 el volumen de agua por persona en una

vivienda unifamiliar es de 40 a 60 litros por persona. Este valor también va a depender de los hábitos de consumo de los usuarios.

Área de captación

Es el área necesaria para captar la energía solar que pueda satisfacer la demanda energética. El área depende de la radiación global y de la eficiencia total del sistema de calentamiento de agua. (Fauroux, 2013)

$$A_{cap} = \frac{E}{\bar{H} * \eta_c} \quad [6]$$

Dónde:

A_{cap} : Área de captación (m²)

E : Demanda energética (kJ/día)

\bar{H} : Radiación solar (Wh/m²)

η_c : Eficiencia global diaria del sistema (%)

Eficiencia global del sistema de calentamiento

La eficiencia del calentador se define, como el porcentaje de la radiación solar global incidente sobre la superficie efectiva del colector y que es aprovechado como calor útil. (Fauroux, 2013)

$$\eta_c = \frac{Q_{util}}{H_T * A_e} \quad [7]$$

Dónde:

Q_{util} : Calor útil [W]

A_e : Área efectiva del colector [m²]

Radiación solar Incidente

Para el análisis es necesario considerar variables de temperatura, radiación solar de la zona, humedad, velocidad del viento, según, (Hargreaves y Samani ,1985). La radiación solar incidente sobre una superficie inclinada H_T se calcula con la ecuación:

$$H_T = R_o + K_t(Ta_{max} - Ta_{min})^{\frac{1}{2}} \quad [8]$$

Dónde:

H_T : Radiación solar incidente [W/m²]

R_o : Radiación solar extraterrestre [kWh/m². día]

K_t : Coeficiente corrección según latitud extraído de tablas [1/K^{0.5}]

Ta_{max} : Temperatura diaria máxima [K]

Ta_{min} : Temperatura diaria mínima [K]

En el NEC-11 se recomienda el uso de las tablas para la selección del factor K_t , las cuales se detallan a continuación y servirá para determinar la media mensual de radiación diaria sobre la superficie del captador. Este factor depende de la latitud y ángulo de inclinación factores que son determinados de acuerdo al sitio de instalación de los colectores. Una latitud positiva significa norte y una latitud negativa significa sur.

Latitud: 0°

Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.02	1.01	1	0.98	0.97	0.96	0.97	0.98	1	1.01	1.02	1.02
10	1.03	1.01	0.99	0.96	0.93	0.92	0.93	0.95	0.99	1.02	1.04	1.04
15	1.04	1.01	0.97	0.92	0.88	0.87	0.88	0.92	0.97	1.02	1.05	1.05
20	1.04	1	0.95	0.88	0.83	0.81	0.83	0.88	0.95	1.01	1.05	1.06
25	1.03	0.99	0.92	0.84	0.77	0.75	0.77	0.83	0.92	0.99	1.04	1.06
30	1.02	0.97	0.88	0.79	0.71	0.68	0.7	0.78	0.88	0.97	1.03	1.05
35	1	0.94	0.84	0.74	0.64	0.61	0.64	0.72	0.84	0.94	1.02	1.03
40	0.98	0.9	0.8	0.68	0.57	0.53	0.56	0.66	0.79	0.91	0.99	1.01
45	0.95	0.87	0.75	0.61	0.5	0.45	0.49	0.59	0.73	0.87	0.96	0.98

Figura 21. Valores K_t según latitud y ángulo de inclinación para la ciudad de Quito-Ecuador (NEC-11, 2011)

2.3.4 BALANCE DE ENERGÍA EN UN SISTEMA CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA

El balance de energía se establece por la radiación absorbida por el sistema, el calor útil aprovechado por el agua y las pérdidas que ocasionan todos los componentes del sistema como se observa en la Figura 22 y de esta manera establecer un valor de eficiencia del calentador solar.

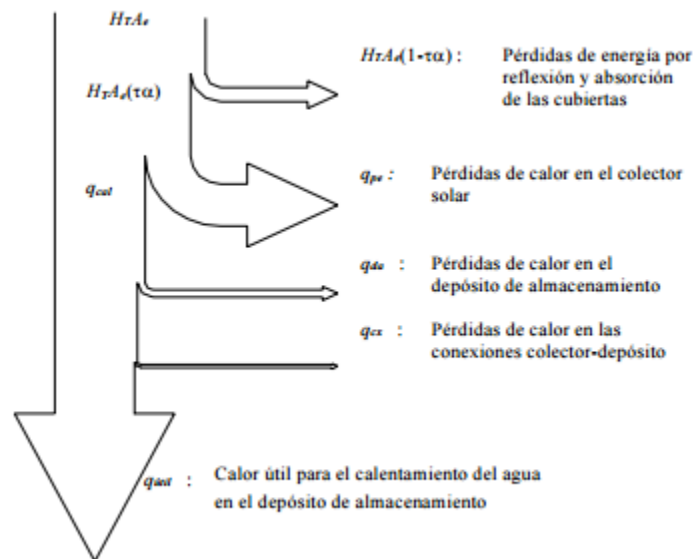


Figura 22. Balance de energía del sistema
(Vasquez, 2003)

De acuerdo a este concepto queda determinado por la siguiente ecuación:

$$H_T * A_e = Q_{util} + Q_{cs} + Q_{cx} \quad [9]$$

Dónde:

H_T : Radiación solar total incidente sobre el colector por unidad de área

A_e : Área efectiva del colector

Q_{util} : Calor útil empleado para calentar el agua del depósito

Q_{cs} : Calor disipado al ambiente por el colector

Q_{cx} : Calor disipado al ambiente por las conexiones

2.3.5 BALANCE ENERGÉTICO EN EL COLECTOR SOLAR

Es posible calcular el balance energía en el colector tomando en cuenta que la radiación global que incide sobre el colector solar, disminuye su valor como resultado de las características propias de reflexión y absorción de la cubierta del colector. Parte de esta radiación es transmitida como calor para calentar el agua y la parte restante $\frac{dU}{dt}$ constituye el almacenamiento de energía en el colector mismo, que usualmente es despreciable; así como, las pérdidas de calor hacia el ambiente por conducción, convección e irradiación como se

observa en la Figura23. (Vasquez, 2003)



Figura 23. Diagrama de pérdidas en un colector solar plano
(Vasquez, 2003)

De la ecuación se aplica el factor de corrección por pérdidas y se expresa de la siguiente forma:

$$H_T * A_e * (\tau\alpha) = q_{cal} + q_{pe} + \frac{dU}{dt} \quad [10]$$

Dónde:

$\tau\alpha$: Factor de corrección de irradiación global incidente

q_{cal} : Calor empleado para calentar el aire [w]

q_{pe} : Calor de pérdidas al ambiente del sistema [w]

$\frac{dU}{dt} \approx 0$: Calor por calentamiento del colector [w]

Si $\frac{dU}{dt} \approx 0$ la expresión queda:

$$H_T * A_e * (\tau\alpha) = q_{cal} + q_{pe} \quad [11]$$

2.3.5.1 Cálculo de pérdidas en el colector

Para el cálculo de pérdidas de calor en el colector se tiene la siguiente expresión:

$$Q_{per} = U_L * A_C * (T_p - T_a) \quad [12]$$

Dónde:

U_L : Coeficiente de transferencia de calor [$w/m^2 \cdot K$]

A_C : Área del colector solar [m^2]

T_P : Temperatura de salida del colector [K]

T_a : Temperatura ambiente [K]

Para el cálculo U_L se determina a partir de la temperatura de salida de la placa de absorción con relación a la temperatura del tubo por donde pasa el fluido y el aire que existe entre la cubierta y la placa de absorción y está determinado por suma de las conductancias de la parte lateral, inferior y superior del colector solar.

$$U_L = U_{fo} + U_{sup} + U_l \quad [13]$$

Dónde:

U_{fo} : Conductancia parte inferior [$w/m^2 \cdot K$]

U_{sup} : Conductancia en la parte superior del panel [$w/m^2 \cdot K$]

U_l : Coeficiente global lateral de transferencia de calor [$W/m^2 \cdot K$]

▪ **Conductancia parte inferior (U_{fo})**

Para calcular el factor U_{fo}

$$U_{fo} = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad [14]$$

Dónde:

U_{fo} : Conductancia parte inferior [$w/m^2 \cdot K$]

R_1 : Resistencia térmica conductiva del aislante [$m^2 \cdot K/w$]

R_2 : Resistencia térmica conductiva entre el ambiente y la placa de absorción [$m^2 \cdot K/w$]

Para R_1 Está dado por la conductividad del aislante k_a , y l longitud transversal del mismo

$$R_1 = \frac{l}{k_a} \quad [15]$$

R_2 Está dado por el coeficiente convectivo de transferencia de calor entre el

ambiente y la placa de absorción, el cual es despreciable en colectores bien aislados.

$$R_2 = \frac{1}{h_{fo}} \quad [16]$$

Por lo tanto

$$U_{fo} = \frac{k_a}{l} \quad [17]$$

▪ **Conductancia parte superior (U_{sup})**

El calor se transfiere por convección y radiación en forma paralela entre la cubierta interior y la placa de absorción, de igual forma ocurre entre las dos cubiertas, exterior e interior. Son también importantes los mecanismos de transferencia, en la disipación de calor de la cubierta exterior hacia el ambiente.

$$U_{sup} = \frac{1}{R_3 + R_4 + R_5} \quad [18]$$

Dónde:

U_{sup} : Conductancia en la parte superior del panel [w/m². K]

R_3 : Resistencia entre la cubierta interior y la placa de absorción [m². K/w]

R_4 : Resistencia térmica entre la cubierta interior y la cubierta exterior [m². K/w]

R_5 : Resistencia térmica entre el ambiente y la cubierta exterior [m². K/w]

Para el cálculo de la resistencia R_3 :

$$R_3 = \frac{T_P - T_{C2}}{(h_{c2} + h_{R2})(T_P + T_{C1})} \quad [19]$$

Dónde:

T_P : Temperatura promedio de la placa absorción [K]

T_{C1} : Temperatura promedio de la cubierta exterior [K]

T_{C2} : Temperatura promedio de la cubierta interior [K]

h_{c2} : Coeficiente de transferencia de calor por radiación entre la cubierta interior y la placa de absorción [W/m². K]

h_{R2} : Coeficiente de transferencia de calor por radiación entre la cubierta

interior y la placa de absorción [W/m2. K]

Si:

$$h_{R2} = \frac{\sigma(T_P+T_{C2})(T_P^2+T_{C2}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_P} + \frac{1}{\varepsilon_{C2}} - 1} \quad [20]$$

Dónde:

σ : Constante de Estefan – Boltzman [W/m2 . K⁴]

ε_{C2} = Emitancia de la cubierta interior

ε_P = Emitancia de la placa de absorción

Resistencia R_4

Se define como la resistencia térmica entre la cubierta interior y la cubierta exterior

$$R_4 = \frac{T_{C2}-T_{C1}}{(h_{c1}+h_{R1})(T_{C2}-T_{C1})} \quad [21]$$

Dónde:

h_{c1} : Coeficiente de transferencia de calor entre las cubiertas exteriores e interior [W/m2. K]

h_{R1} : Coeficiente de transferencia de calor por radiación entre la cubierta interior y exterior [W/m2. K]

$$h_{R1} = \frac{\sigma(T_P+T_{C2})(T_P^2+T_{C2}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_{C2}} + \frac{1}{\varepsilon_{C1}} - 1} \quad [22]$$

Dónde:

ε_{C1} = Emitancia de la cubierta exterior

Resistencia R_5 - Resistencia térmica entre el ambiente y la cubierta exterior

$$R_5 = \frac{T_{C1}-T_a}{(h_{c\infty}+h_{fir})(T_{C1}-T_a)} \quad [23]$$

Dónde:

$h_{c\infty}$: Coeficiente de transferencia de calor por convección ambiente-cubierta [W/m2. K]

T_a : Temperatura ambiente [K]

h_{fir} : Coeficiente de transferencia de calor por radiación entre las cubiertas

interior y exterior [W/m². K]

$$h_{fir} = \sigma \varepsilon C_1 (T_{C1} + T_a) (T_{C1}^2 + T_a^2) \quad [24]$$

▪ **Conductancia en la parte lateral U_l**

De la misma forma se calculan las pérdidas de calor a los lados del colector aplicando la siguiente ecuación:

$$q_l = U_l * A_l * (T_P - T_a) \quad [25]$$

Dónde:

q_l : Pérdidas de calor por los lados del colector [w]

U_l : Coeficiente global lateral de transferencia de calor [W/m² .K]

A_l : Área transversal de la parte lateral del colector solar [m²]

Para calcular el coeficiente global de transferencia de calor U_l está definida por la siguiente manera:

$$U_l = \frac{k'_a * h * P}{l' * A_l} \quad [26]$$

Dónde:

k'_a : Conductividad térmica del aislante [W/m.K]

h : Altura del colector solar [m]

P : Perímetro del colector solar [m]

l' : Espesor del aislante por los lados del colector solar [m]

2.3.6 SISTEMA DE ACUMULACIÓN

El sistema de acumulación se lo utiliza debido a que el captador no es un sistema perpetuo de calentamiento del fluido caloportador, y depende de la radiación solar que incide sobre él. Los acumuladores o tanque son los encargados de conservar el calor ganado por el fluido. Debido a que el agua acumulada será de consumo humano, los acumuladores deben asegurar un grado alimentario ya sea mediante un recubrimiento interior o mediante un material que cumpla esta condición.

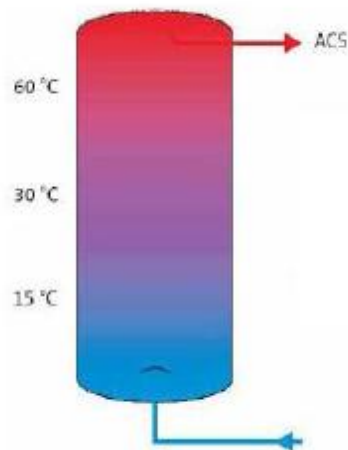


Figura 24. Tanque estratificado para uso de sistemas solares
(Ruiz, 2014)

De preferencia la acumulación solar estará constituida por un solo depósito por sistema.

Según la normativa NEC-11 el volumen del acumulador tendrá un valor según el siguiente requisito

$$50 \leq \frac{V}{A_c} \leq 180 \quad [27]$$

Donde

V: Volumen del acumulador [l]

A_c: Área de captación [m²]

2.3.7 SISTEMA HIDRÁULICO.

Al ser un sistema integral, el diseño hidráulico debe ser desde el captador hacia el acumulador o tanque y sus respectivas salidas y entradas ya que aporta a la eficiencia del sistema termo solar, por tal motivo se debe considerar los siguientes factores:

- **Caudal (Q).** - El caudal que circula por el sistema generalmente es recomendado por el fabricante. Para determinar el caudal se puede referimos a la siguiente expresión:

$$Q = \frac{Vol}{t} = A * V \quad [31]$$

Dónde:

Q : Caudal [m^3/s]

Vol : Volumen de agua [m^3]

t : Tiempo [s]

A : Área de la sección [m^2]

V : Velocidad [m/s]

- **Longitud.** - Debe ser la menor posible para evitar pérdidas de calor.
- **Equilibrado.** - Consiste en obtener un recorrido lineal por cada uno de las tuberías que forman el colector, con ello se obtiene que el caudal, temperaturas de entrada y salto térmico de temperatura sean iguales en todo el sistema, teniendo también pérdidas de carga equilibradas.

2.3.7.1 Elementos de sistema hidráulico

Según el tipo de sistema que se vaya a implementar existen elementos de soporte que ayudan a que el sistema hidráulico sea más eficiente. Estos elementos deben cumplir con especificaciones y normativas de calidad. Entre los elementos más importantes se encuentran:

2.3.7.2 Tuberías

Cuando el fluido de trabajo es el mismo que el de consumo, en el circuito primario se recomienda tubería de cobre, acero inoxidable o plástico tipo PVC certificado para este tipo de aplicación como se muestra en la Figura 25.

No es recomendable usar tuberías de acero galvanizado por factores como corrosión y cristalización de estos elementos.



Figura 25. Tipos de tubería a emplearse en sistemas solares
(Ackuritlabs, 2016)

Manguera PVC

El PVC (cloruro de polivinilo), es un plástico de polímero que se moldea y se conforma en una amplia variedad de artículos. Es un plástico resistente al agua, fácil de moldear y muy fuerte. En aplicaciones solares el PVC es utilizado como cubiertas para concentraciones de calor principalmente en los invernaderos para la creación del llamado efecto invernadero siendo muy eficientes en ese tipo de uso. Las mangueras de PVC soportan menos presión que una tubería rígida y tienen un rango diferente de temperaturas de funcionamiento, éstas se pueden fabricar en varios colores de acuerdo a su aplicación. (JQ I. , 2013)

Caucho

Los cauchos de etileno-propileno también llamados EPM y EPDM se destacan por su resistencia al calor, oxidación, ozono y a la intemperie debido a su estructura polimérica de cadena saturada. Como elastómeros no polares, tienen buena resistividad eléctrica y resistencia a solventes polares, como agua, ácidos, álcalis, ésteres fosfatados y muchas cetonas y alcoholes. Los grados amorfos o de baja cristalinidad tienen excelente flexibilidad a baja temperatura con una temperatura de transición vítrea de -60°C .

Resistencias al agrietamiento por calor a temperaturas de 130°C pueden ser obtenidas mediante sistemas de vulcanización con azufre y resistencias al calor de hasta 160°C pueden obtenerse mediante cura con sistemas de peróxido. La resistencia a la compresión es buena, particularmente a altas temperaturas, si son utilizados sistemas de curado basados en azufre o peróxidos. (Grossi, 2012)

2.3.7.3 Válvulas

Son mecanismos que inician, detienen o regulan la circulación de fluidos líquidos o gases mediante una pieza móvil que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos. En sistemas térmicos y dependiendo del tipo de instalación las válvulas cumplen funciones con las cuales se tiene un correcto funcionamiento y mayor durabilidad.

La selección de una válvula va depender del tipo de función que va a

desempeñar dentro del sistema, ésta puede ser:

- Para aislamiento. Válvulas de esfera.
- Para equilibrado o regulación de circuitos. Válvulas de asiento.
- Para vaciado. Válvulas de esfera o macho.
- Para llenado. Válvulas de esfera.
- Para purga de aire. Válvulas de esfera o macho.
- Para seguridad. Válvulas de resorte.
- Para antiretorno. Válvulas de disco o Check

Estas válvulas pueden ser de tipo manual o automático. Es decir, para un control automático las válvulas deben tener un circuito electrónico que accione la parte mecánica la válvula.

Electroválvulas

Una electroválvula es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el paso de un fluido por un conducto o tubería. La válvula se mueve mediante una bobina solenoide. Generalmente no tiene más que dos posiciones: abierto y cerrado (ON-OFF). Están diseñadas para poder utilizarse con agua, gas, aire, gas combustible, vapor entre otros. (Sevilla, 2007)

Estas válvulas pueden ser de dos hasta cinco vías. Pueden estar fabricadas en latón, acero inoxidable o PVC. Dependiendo del fluido en el que se vayan a utilizar es el material de la válvula.



Figura 26. Electroválvulas de riego utilizada en el prototipo

2.3.8 SISTEMA DE ENERGÍA AUXILIAR O APOYO

Debido a que la energía solar es disponible en forma aleatoria, los Sistemas Solares Térmicos deben tener un sistema de apoyo o auxiliar. La capacidad del sistema auxiliar debe dimensionarse para que cubra el 100% de la demanda térmica.



Figura 27. Resistencia 1500 W ubicada en el interior del tanque acumulador
(Hissuma, 2016)

El sistema auxiliar debe entrar en funcionamiento solamente cuando sea estrictamente necesario, acoplado a un sistema de control para que se active de acuerdo a ciertas variables programadas por el usuario, siempre dando prioridad siempre a la generación solar.

Un sistema auxiliar, el cual se encarga de obtener la temperatura del A.C.S. deseada, generalmente este valor depende del usuario y su valor se encuentra en el rango de 45 a 60°C.

Este apoyo auxiliar térmico, se recomienda que sea eléctrico para equipos pequeños residenciales hasta 720 litros.

De acuerdo a la Figura 28 la potencia de la resistencia se selecciona en función de la capacidad del Acumulador.

CAPACIDAD DE LOS S.S.T. (EN LITROS)	POTENCIA DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA	VOLTAJE
140	1.500 W	110V
240	1.500 W	110V
320	1.500 W	110V
450	3.000 W	220 V
600	3.000 W	220 V
720	3.000 W	220 V

Figura 28. Potencia de la resistencia auxiliar según capacidad del sistema
(NEC-11, 2011)

2.3.9 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Como su nombre lo indica la adquisición de datos son productos y/o procesos utilizados para recopilar un conjunto de señales físicas para convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar y analizar en un computador. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecúa la señal a niveles compatibles con el elemento que procesa y la convierte en una señal digital (Figura 29).

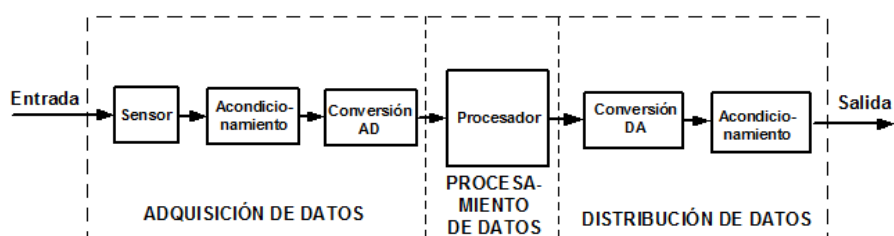


Figura 29. Diagrama de flujo de un Sistema de adquisición de datos

(Vintimilla W. F.-J., 2011)

2.3.9.1 Sensores

Un sensor es un dispositivo eléctrico y/o mecánico que convierte magnitudes físicas (luz, magnetismo, presión, temperatura) en valores medibles de dicha magnitud. Algunos sensores pueden requerir componentes adicionales y circuitos para producir correctamente una señal que pueda ser leída con precisión por el dispositivo que procesa la información

Sensores de Temperatura

Existen sensores de diversas naturalezas capaces de medir, controlar cambios de temperatura en los procesos industriales. La Figura 30 puede dar una muestra de la gran variedad de dispositivos que existen para esta aplicación

DISPOSITIVOS DE MEDICION DE TEMPERATURA			
Eléctricos	Mecánicos	Radiación térmica	Varios
Termocuplas	Sistemas de dilatación	Pirómetros de radiación	Indicadores de color
Termorresistencias	Termómetros de vidrio con líquidos	- Total (banda ancha)	- Lápices
Termistores	Termómetros bimetálicos	- Óptico	- Pinturas
Diodos		- Pasabanda	Sondas neumáticas
Sensores de silicio con efecto resistivo		- Relación	Sensores ultrasónicos
		Termómetros infrarrojos	Indicadores pirométricos
			Termómetros acústicos
			Cristales líquidos
			Sensores fluidicos.
			Indicadores de luminiscencia
			(Termografía)

Figura 30. Clases de sensores según su aplicación

(Aragonés, 2012)

Existe un gran variedad de tipos de sensores eléctricos para la medición de temperatura, los cuales se diferencian por tener cualidades especiales y rangos de trabajo variados, que los convierten en más o menos convenientes para un determinado proceso u objetivo.

Para definir los criterios de selección de los sensores a ser utilizados para medir una variable determinada, es primordial conocer bien el proceso, las características y los factores del proceso al cual estará sometido el instrumento. En la Figura 31 se puede tener una visión general de las características y propiedades de cada tipo de sensor. La linealidad es el grado de aproximación de la curva de calibración a una línea recta es decir tiene una sensibilidad constante. La pendiente

Características	Sensor				
	RTD de platino de película	RTD de platino bobinada	Termopar	Termistor	Silicio
Coste del sensor	Moderado a bajo	Moderado	Bajo	Bajo a moderado	Bajo
Coste del sistema	Moderado	Moderado	Alto	Bajo a moderado	Bajo
Campo de medida	-200 a 750°C (560°C máx., típicamente)	-200 a 850°C (600°C máx., típicamente)	-270 a 1800°C	-100 a 500°C (125°C máx., típicamente)	-40 a 125°C
Estabilidad	Excelente	Excelente	Pobre	Moderada	Moderada
Sensibilidad	0,39%/°C	0,39%/°C	40µV/°C	-4%/°C	10mV/°C
Sensibilidad relativa	Moderada	Moderada	Baja	Muy elevada	Moderada
Linealidad	Excelente	Excelente	Moderada	No es lineal	Moderada
Pendiente	Positiva	Positiva	Positiva	Negativa	Positiva
Susceptibilidad al ruido	Baja	Baja	Alta	Baja	Baja

Figura 31. Cuadro comparativo para criterios de selección de sensores de temperatura (Aragonés, 2012)

Sensor PT100

Un Pt100 es un sensor de temperatura tipo RTD (Dispositivo Termo Resistivo), consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohmios y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica.

El incremento de la resistencia no es lineal, pero si creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la

temperatura exacta a la que corresponde como se muestra en la figura 32.

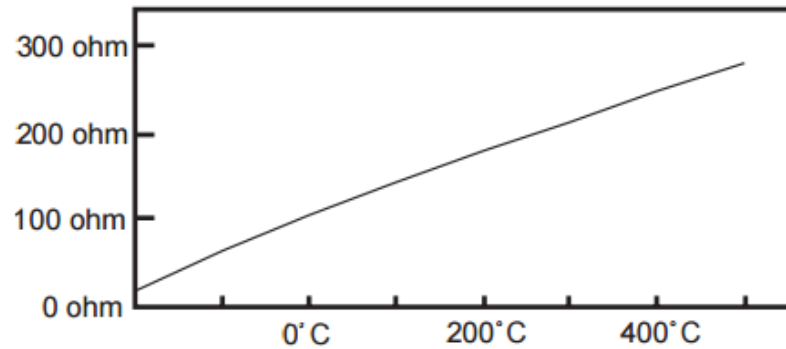


Figura 32. Temperatura vs Valor resistencia en un PT100
(Aragónés, 2012)

Normalmente las Pt100 industriales se consiguen encapsuladas en la misma forma que las termocuplas, es decir dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina), en un extremo está el elemento sensible (alambre de platino) y en el otro está el terminal eléctrico de los cables protegido dentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).

Sensor DS18B20B

El sensor de temperatura DS18B20 es un dispositivo que se comunica de forma digital. Cuenta con tres terminales: Vcc, GND y el pin Data.



Figura 33. Termopar DS18B20
(Industrial, 2016)

Características del DS18B20

- Resolución de 9 y 12 bits
- Rango de operación de -50 a 125 grados Centígrados
- Precisión +- 0.5 grados
- Protocolo OneWire

Para leer el sensor DS18B20 con Arduino es necesario utilizar dos librerías que deben ser instaladas antes de cargar el código a nuestra placa.

Las librerías son las siguientes:

- Dallas Temperature.
- OneWire

Montaje de una sonda

Las sondas se ubican en la tubería, la posición óptima para el montaje de los porta-sondas son los empalmes en T o las derivaciones laterales a 45°. La punta de la porta-sonda debe quedar situada en el centro del caudal, orientada en dirección contraria a la del flujo de agua como se muestra en la Figura 34. Los sensores de temperatura deben quedar bien encajados en el interior de la porta sondas. Si se requiere una respuesta rápida de temperatura, puede utilizarse una pasta conductora de calor que no se endurezca.

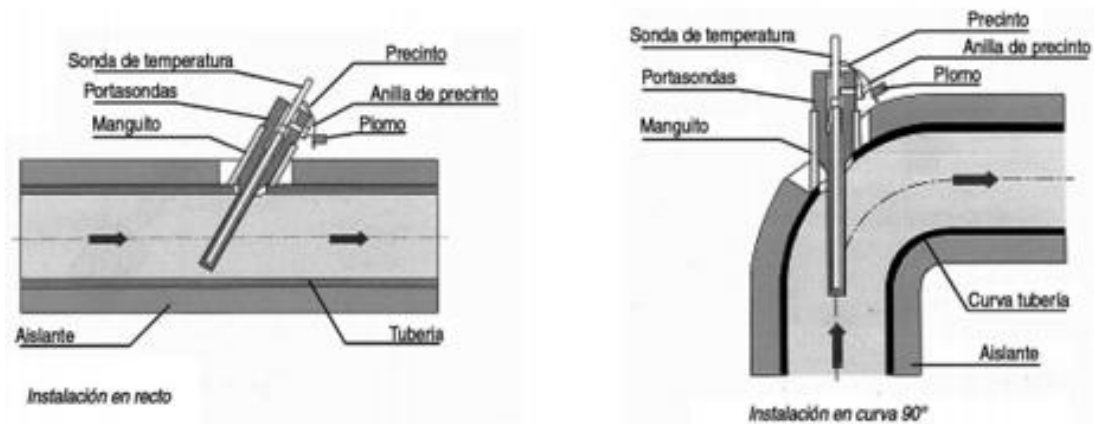


Figura 34. Posiciones para el montaje de una sonda dentro de una tubería

(Aragónés, 2012)

Sensores fotoeléctricos

Son dispositivos electrónicos que responde al cambio en la intensidad de la luz. Estos sensores requieren de un componente emisor que genera la luz, y un componente receptor que percibe la luz generada por el emisor. Basados en este funcionamiento se puede dividir en tres grupos: Detección directa, detección por espejos, detección por oposición. Como se muestra en la Figura 35. Pueden ser utilizados como detector de obstáculos, detector de distancias, sensor de presencia y contador de objetos, entre otras aplicaciones.

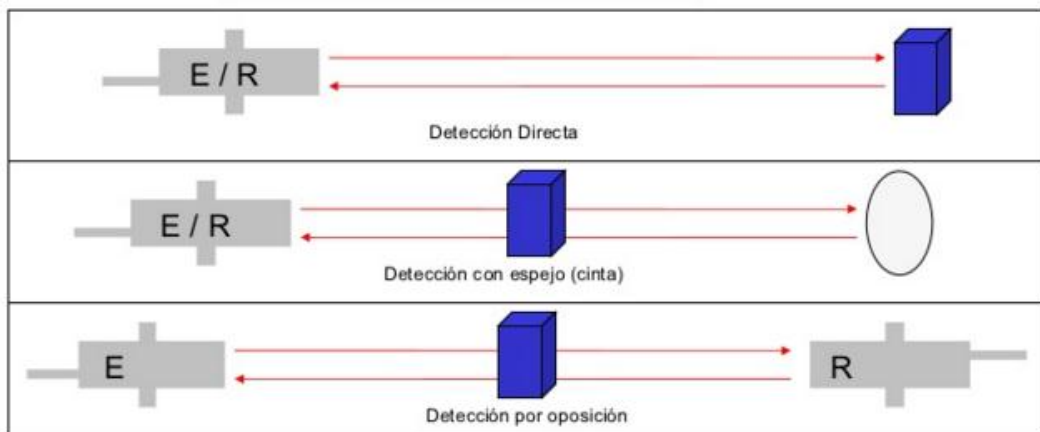


Figura 35. Principio de Funcionamiento de los sensores Fotoeléctricos
(Vintimilla W. F.-J., 2011)

En la figura 36 se observa un sensor que funciona por el principio de detección directa. Puede detectar objetos a una distancia máxima de 80cm y es ideal para el uso exterior en el cual no se pueda soportar la parte del receptor en el otro extremo.



Figura 36. Sensor Infrarrojo de presencia E18-D80NK
(Industrial, 2016)

2.3.9.2 PLC

Controladores lógicos programables o PLC (Programmable Logic Controller) son dispositivos electrónicos muy usados en sistemas de automatización industrial.

Sus partes fundamentales son: Unidad Central de Proceso (CPU), Memoria y Sistema de Entradas y Salidas (E/S).

Dentro de las funciones que un PLC puede cumplir se encuentran operaciones como detección y mando, en las que se envían datos de acción a los preaccionadores y accionadores. Son dispositivos programables pudiendo introducir, crear y modificar las aplicaciones del programa en tiempo real.

Logo-Siemens

Logo es un módulo lógico universal de Siemens



Figura 37. Modulo LOGO - SIEMENS
(Siemens, 2016)

El Logo lleva integrado en sí:

- Control
- Unidad de mando y visualización con retroiluminación
- Fuente de alimentación
- Interfaz para módulos de ampliación
- Interfaz para módulo de programación (tarjeta) y cable para PC

- Funciones básicas habituales pre programadas, para conexión retardada, desconexión retardada, relés de corriente e interruptor de software.
- Temporizador
- Marcas analógicas y digitales
- Entradas y salidas analógicas y digitales

La programación de un módulo no es más que un esquema eléctrico representado en forma diferente a través de su lenguaje, hay dos formas de programar logo:

- Creación del programa en el propio Logo
- Programación por medio de Logo Soft Comfort (software)

2.4 HERRAMIENTAS DE DISEÑO

El concepto de “Herramientas de diseño” hace referencia a términos conocidos y empleados en la ingeniería como CAD, CAM, CAE.

Dentro de un proceso de manufactura los procesos CAD-CAM-CAE ayudan a la selección de materiales, la síntesis de modelos, la simulación, la creación de prototipos y la documentación. (Bacalla, 1999)

2.4.1 CAD - COMPUTER AIDED DESIGN

En español “Diseño Asistido por Computadora” hace referencia a una herramienta software que, mediante el uso del ordenador, permite crear, modificar, analizar y optimizar planos y modelos en dos y tres dimensiones, y manipular de una manera fácil elementos geométricos. Es fundamental en la integración de los procesos CAM Y CAE.

2.4.2 CAM - COMPUTED AIDED MANUFACTURING

Definición de “Fabricación Asistida por Computadora” se trata de un sistema que permite usar computadoras en el proceso de control de fabricación industrial, buscando su automatización abarcando procesos de transporte, almacenamiento, mecanizado o conformado, montaje y expedición un producto.

2.4.3 CAE - COMPUTER AIDED ENGINEERING

Definición de “Ingeniería Asistida por Computador”, se trata de sistemas que

además del diseño del modelo (CAD), también permite integrar sus propiedades y condiciones a las que está sometido el material.

De esta forma la herramienta CAE permite calcular y observar el comportamiento de la pieza o la estructura en la realidad, en aspectos tan diversos como:

- Deformaciones
- Resistencia
- Características térmicas
- Vibraciones

Dentro de un sistema CAE supone el empleo de:

- Sistemas gráficos interactivos
- Técnicas de modelado geométrico
- Análisis de estructuras
- Diseño
- Dibujo de detalles de piezas
- Simulación
- Análisis por elementos finitos
- Evaluación del comportamiento de los elementos diseñados.

2.4.3.1 Software ANSYS

Ansys es un ecosistema de programas CAE para diseño, análisis y simulación de partes por elementos finitos, en sus siglas en inglés (FEA), incluye las fases de preparación de meshing o mallado, ejecución y post proceso, el programa ejecuta análisis de piezas sometidas a fenómenos físicos usadas en ingeniería y diseño mecánico, puede resolver problemas físicos sometidos a esfuerzos térmicos, fluidos, vibración y aplicaciones específicas.

Módulo Ansys Fluent

Fluent es un programa CFD (Computational Fluids Dynamics) o de análisis de fluidos para una gama de aplicaciones en el modelado y simulación de flujos que incluye turbulencia, reacciones o efectos térmicos como se muestra en la

Figura 38, donde se aprecia la diferentes temperaturas internas y el sentido de la circulación del fluido.

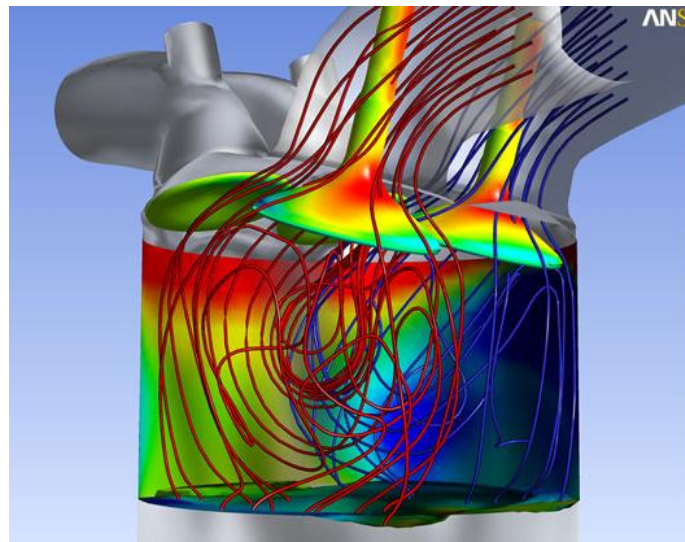


Figura 38. Simulación de un Fluido en ANSYS con Modulo FLUENT
(3DCadPortal, 2016)

3. METODOLOGIA

Se usará la metodología mecatrónica la cual consiste en integrar todos los parámetros, requerimientos y restricciones dentro de los sistemas mecánicos, electrónicos y computacionales que convergen de forma significativa en el diseño y construcción de colectores solares con materiales plásticos flexibles y el suministro de ACS.

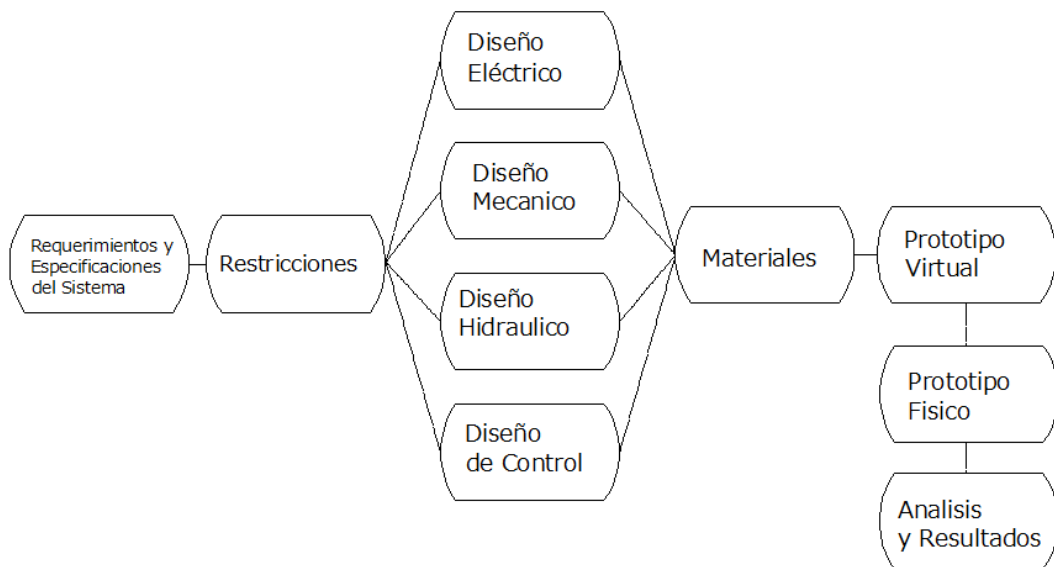


Figura 39. Metodología Mecatrónica

3.1 PARÁMETROS Y VARIABLES EXTERNAS

Para cumplir el objetivo del proyecto es necesario conocer todos los elementos que forman parte de un sistema termo solar, así como de los factores externos que influyen en el rendimiento del mismo.

El trabajo busca construir un sistema de suministro de Agua Caliente de Consumo Sanitario para una vivienda.

Este sistema comprende la construcción de un colector solar con materiales plásticos complementado con tanque, actuadores y conexiones hidráulicas para el correcto funcionamiento.

El consumo de energía depende de las exigencias de la demanda por parte de los usuarios. Estos datos de partida son de gran importancia, ya que variaciones simples como consumo de A.C.S. o temperatura de la misma representan modificaciones considerables al sistema en la aportación energética solar.

3.1.1 GENERALIDADES DEL ENTORNO

Se debe conocer las condiciones iniciales del proyecto, su ubicación exacta y factores climáticos de la zona.

3.1.1.1 Ubicación

El Proyecto será instalado en una vivienda ubicada en el valle de Tumbaco, Provincia de Pichincha, Parroquia Pifo, Urb. Amazonas, Quito-Ecuador.

Latitud $0^{\circ}13'56.25''S$

Longitud $78^{\circ}20'47.78''O$

Altura 2583 msnm.



Figura 40. Fotografía satelital ubicación de la Vivienda

(Maps, 2016)

La vivienda se puede observar en la Figura 41 es de una sola planta con un área aproximada de 120 m² de construcción, el techo es losa de hormigón con una inclinación aproximada de 10° ideal para el funcionamiento del sistema.

El sistema será ubicado en el techo de la vivienda en la parte central, desde la cual se dará suministro de A.C.S. a las áreas de la cocina y a un baño completo.



Figura 41. Casa donde se proyecta la instalación del proyecto

3.1.1.2 Radiación Solar de la zona

Considerando la ubicación del proyecto y con los datos de latitud se puede obtener los niveles de irradiación solar promedio de la zona.

Estos datos serán tomados de la página de la Secretaría del Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito de la estación de monitoreo de Tumbaco.

3.1.1.3 Temperatura Ambiente de la zona

Al igual que los datos de radiación se tomará los datos de temperatura diarios publicados por la Secretaría del Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito estación Tumbaco por un periodo de un mes (20 días) para los cálculos de calor útil y eficiencia del colector.

3.1.1.4 Inclinación

El Angulo de inclinación de un colector solar es directamente proporcional a los grados de latitud, al estar ubicados en el cantón Quito, el ángulo es prácticamente nulo, pero el NEC-11 recomienda una inclinación entre 5° y 10°

tal como se muestra en la figura 42 por cuidado y mantenimiento del colector ya que se evita la acumulación de impurezas que puedan afectar al funcionamiento del colector.

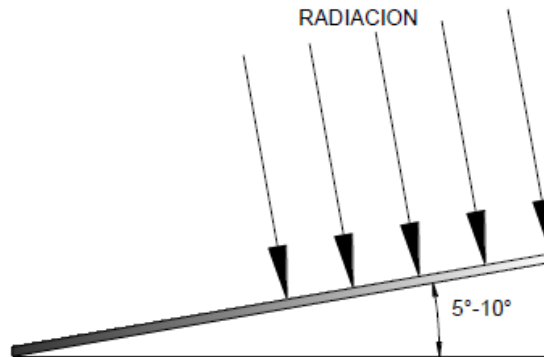


Figura 42. Ángulo de inclinación recomendado para Ecuador (NEC-10, 2011)

3.1.1.5 Orientación

El Ecuador está ubicado en la Latitud Sur, por lo tanto, el colector solar debe estar orientado al Norte Geográfico, hacia la línea equinoccial, para lograr una mayor captación de energía del sol. (NEC-11, 2011)

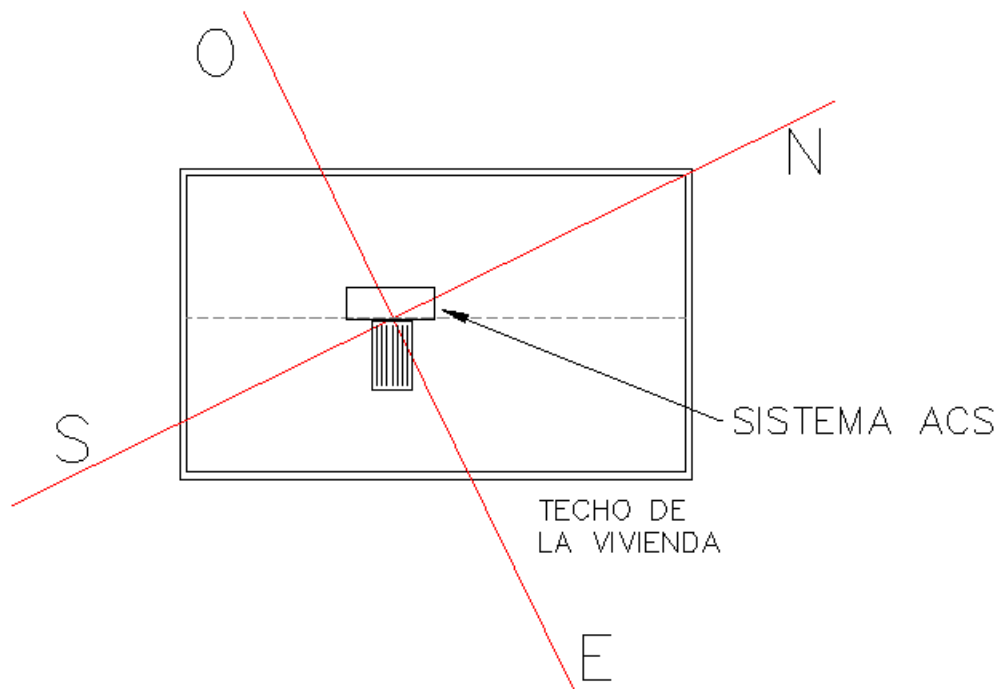


Figura 43. Orientación del colector solar en la vivienda

3.1.1.6 Caudal de ingreso a la vivienda

Para determinar el caudal de ingreso de agua proporcionada por la Empresa de Agua Potable de Quito se va a realizar pruebas por un periodo de 5 días 2 veces por día tomando el tiempo que se demora en llenar un envase de 5 litros.

Este también nos servirá en el proceso de simulación ya que a partir de este dato se puede determinar la velocidad de ingreso del agua al sistema.

3.1.2 REQUERIMIENTOS DEL USUARIO

Para determinar la demanda y los requerimientos de los usuarios que habitan en el lugar es necesario realizar una consulta de los hábitos de consumo, en la que se determinen horarios de demanda máxima y tiempos de consumo. Esta consulta será de tipo verbal, no es necesario otro método ya que es mínimo el número de usuarios.

3.1.3 RESTRICCIONES DEL SISTEMA

El proyecto contempla la utilización de materiales flexibles en el colector para el calentamiento de agua, por tal motivo se buscarán materiales de acuerdo a la disponibilidad del mercado ecuatoriano, se tomará en consideración factores como costos, dimensiones además de otros parámetros como presión, propiedades físicas y químicas del material. Otro factor a considerar en la capacidad de acoplarse o adaptarse con otros elementos o materiales, ya que se trata de un prototipo.

Las pruebas de mediciones de temperatura se las realizarán por un periodo de 20 días ya que el objetivo es determinar la eficiencia del material obteniendo la variación de temperatura que alcanza el fluido al pasar a través del tubo del material seleccionado.

El colector, al ser un componente construido con materiales plásticos flexibles hay que tener en consideración los niveles de presión ya sea la presión que se genera en el tanque por el calentamiento del fluido o la presión que entra de la red de agua potable de uso común.

El sistema utiliza componentes eléctricos y electrónicos, por tal motivo se requiere que siempre estén conectados a la red eléctrica.

El control de temperatura del sistema será realizado mediante un PLC controlando sensores de temperatura y la entrada y salida del sistema, en el equipo se podrá ajustar parámetros de acuerdo al usuario, no se requiere un sistema PID ya que para la retroalimentación y corrección errores se depende de un factor muy variable (el sol).

Los cálculos y el sistema serán diseñados de acuerdo al número de personas que habitan la vivienda. No se contempla un sistema de apoyo si incrementa la demanda de agua caliente.

3.2 SELECCIÓN DE MATERIALES

El objetivo del estudio es seleccionar un material de bajo costo con un alto rendimiento y que de acuerdo a sus propiedades físicas, químicas y térmicas permitan tener un alto porcentaje de eficiencia.

Para cumplir con este objetivo se plantea utilizar materiales plásticos negros para el colector y así tener una mayor transferencia de calor hacia el fluido caloportador en un menor tiempo.

Para la determinación de parámetros y propiedades del material dentro del modelo matemático estableciendo por un balance de energía del colector, se establecerá primero el tipo de material a emplear, utilizando métodos de selección por criterios de ponderación.

Además, se seleccionarán los otros componentes del sistema como el acumulador, sensores de temperatura y actuadores de acuerdo a los criterios de selección de cada componente.

3.3 SIMULACIÓN CAD- CAE

Para el proceso de simulación en un sistema CAD-CAE se tomará en cuenta los resultados del análisis matemático, ya que se habrán determinado dimensiones de los elementos, demandas de consumo, tipo de materiales y

sus propiedades físicas y térmicas, que serán necesarios para la simulación en un software CAE.

En este proyecto se utilizará el software ANSYS 15.0 sobre la plataforma Workbench con módulo FLUENT.

Para realizar la simulación se seguirá los pasos detallados en la Metodología de simulación.

3.3.1 METODOLOGÍA PARA SIMULACIÓN EN ANSYS

Para tener una definición exacta del sistema que se desea simular, es necesario hacer primero un análisis preliminar de las variables que interactúan dentro del sistema y sus interrelaciones, las restricciones del sistema.

En este caso, para el estudio y análisis de los colectores con los materiales plásticos seleccionados se realizará simulaciones en sistemas CAE en los cuales se puede soportar y obtener resultados precisos.

El método para simular computacionalmente los campos de flujo usando un sistema CAE es el siguiente:

- **El Modelamiento Geométrico**

Modelado de los elementos del proyecto en un software CAD. Se agrega fronteras, entradas, salidas y capas.

- **Generación de Malla (meshing)**

Para resolver las ecuaciones diferenciales parciales que gobiernan un fluido deben ser transformadas a ecuaciones algébricas, para que el dominio computacional sea discretizado. Para discretizar por el método de volumen finito debe generarse mallas en un número finito.

- **Definición de los Modelos y Establecimiento de las Propiedades del Fluido y condiciones de contorno.**

Se define el modelo a seguir, así como propiedades del material tales como viscosidad, densidad, calor específico, conductividad térmica entre otros.

Se establecen condiciones de Contorno y condiciones iniciales del modelo,

tales como radiación incidente, tipo de análisis, número de interacciones y ciertas variables para el análisis de transferencia de calor.

- **Cálculos**

Se muestra el procedimiento computacional para el cálculo de temperaturas durante el trayecto del fluido por el elemento captador de calor

- **Análisis de Resultados**

Los resultados de la simulación final de campo son presentados como con valores y gamas de color en el modelo según las condiciones de contorno ingresadas. Los resultados que se obtienen de un estudio de simulación ayudan a soportar decisiones del tipo semi-estructurado.

3.4 DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Para el proyecto se contempla establecer un modelo matemático que permita determinar la transferencia de calor que existe en sistema planteado en este estudio, desde que recibe radiación emitida por el sol hasta la cantidad de calor que es transferida al fluido. Para esto es necesario contemplar todos los factores que puedan generar pérdidas en este proceso.

Para determinación el modelo matemático a usar, se investigarán los modelos matemáticos que existen en la teoría realizados por expertos en temas de termodinámica y ciencias relacionadas con eficiencia energética y energías limpias.

Se tomará un modelo matemático que tenga similares características constructivas al objeto de estudio, además de que cumplan con las normativas actuales de diseño y construcción de sistemas A.C.S.

3.5 SISTEMAS DE CONTROL

El sistema, al estar diseñado y proyectado la instalación en una vivienda alejada de la zona urbana se torna difícil la toma de datos y poder observar el comportamiento del sistema. Por tal motivo se contempla el diseño de dos sistemas:

- Para el estudio del colector se realizará un sistema de adquisición de datos de muestreo para determinar un grado de eficiencia del colector
- Para el control de suministro se realizará un sistema para dotar de ACS a la vivienda además de controlar y mantener niveles de temperatura adecuados de acuerdo a los requerimientos del usuario.

3.5.1 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Para el sistema de adquisición de datos y muestreo de temperatura, el proyecto tiene contemplado la instalación de sensores de temperatura en cada una de sus entradas y salidas tanto del colector como del acumulador.

Con esto se pretende obtener una lectura de lo que está pasando en el sistema en tiempo real. Se ha considerado el uso de una placa Arduino y cuatro Sensores de temperatura digitales para cumplir el objetivo.

Para el almacenamiento de la información que arroja los sensores de temperatura se proyecta una interface gráfica con conexión ARDUINO-VISUAL STUDIO 2015 a través de puerto USB.

3.5.2 CONTROL DE SUMINISTRO Y PRESIÓN EN EL COLECTOR.

En un sistema de calentamiento solar es fundamental el control de presión, ya que, al existir calentamiento de un fluido, las moléculas se expanden y en ciertas circunstancias cuando no existe un consumo frecuente y fuerte radiación solar, pueden causar daños en el material debido a un nivel de presión elevado dentro del sistema. Para la lectura de los datos de presión es necesario la instalación de un manómetro (M) que será instalado a la salida de agua caliente del acumulador.

Este sistema será controlado desde un PLC ubicado en el tablero de control y consiste en la activación de las electroválvulas cuando los sensores ubicados en el baño y cocina detecten consumo o se activaran de acuerdo al nivel de temperatura alcanzado en el tanque generando un desfogue y así evitar daños en el sistema por presiones elevadas.

3.5.3 CONTROL DE TEMPERATURA

El control de temperatura consiste en asegurar el suministro de agua caliente

ya sea en el día o en la noche con temperaturas entre los 30°C y 45°C de acuerdo a los requerimientos del usuario.

Para lograr este objetivo se pretende utilizar un módulo programable PLC que controle entradas y salidas, así como programar niveles de temperatura y horarios de consumo y de esta forma garantizar el suministro de ACS ya sea por radiación solar o sistemas de apoyo eléctrico en el tanque.

Para la verificación y validación del sistema se realizarán las siguientes pruebas:

- Se realizará una simulación de todo el sistema de control en el Software del PLC activando y desactivando todas las entradas y salidas simulando todas las condiciones de uso.
- Configuración para distintas horas y rangos de temperatura para la activación y desactivación del apoyo eléctrico en el tanque para verificar la versatilidad del sistema de acuerdo a la programación del usuario.

3.6 CONSTRUCCIÓN

Para la parte constructiva se tomarán los datos de dimensiones que fueron calculados y analizados en el diseño. De igual manera se construirá el colector con el material previamente seleccionado de acuerdo a factores técnicos, económicos y a su disponibilidad en el mercado ecuatoriano.

La caja del colector en su estructura principal estará construida de un material liviano y que evite un deterioro acelerado al estar expuestos a la intemperie soportando niveles de radiación solar, humedad, corrosión y precipitaciones.

Para el aislante de la caja en todas las paredes del colector generalmente se piensa en el uso de materiales con una elevada resistencia térmica. Dicho en otras palabras, un bajo nivel de conductancia con los cuales se busca reducir el flujo de energía a través de las paredes. Por lo tanto, se proyecta el uso de materiales como el poliuretano y el polietileno.

Para los tubos de la parrilla del colector una vez seleccionado el material se buscarán el tipo de acople que permita la conexión entre los tubos de distribución inferior y superior y los tubos secundarios construidos del material seleccionado.

El tanque o acumulador estará soportado en una estructura metálica que garantice que soporte el peso del tanque lleno en toda su capacidad.

Los diámetros de las acometidas de entrada y salida de todo el sistema estarán definidos por acumulador que va a depender a su vez de la capacidad según la demanda proyectada.

Para el sistema de monitoreo de temperaturas se instalarán acoples en las acometidas de entrada y salida del sistema para el montaje de sensores y actuadores.

3.7 PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA EL PROTOTIPO

El prototipo será sometido a dos tipos de pruebas que consisten en:

Resistencia del material a la presión: consiste en la verificación de fugas en los elementos de conexión, se conectarán todos los acoples a los tubos distribuidores, luego se conectarán todos los tubos secundarios a los acoples, en un extremo se conectará a la red de agua potable y el otro extremo se taponará.

Resistencia del material a la temperatura: consiste en dejar expuesto la placa colectora a la radiación solar por un periodo de 24 horas en el cual solo existirá una recirculación de agua del tanque producido por el efecto de termosifón. Se volverá a realizar el procedimiento de la prueba anterior para verificar si existieron daños en la manguera por temperaturas elevadas.

Salto Térmico: se tomarán datos de la variación de temperatura al pasar el fluido por el interior del colector solar mediante sensores de temperatura ubicados a la entrada y salida de la placa colectora y así determinar la ganancia de calor que adquiere el fluido al estar en contacto con el material seleccionado.

Temperaturas de consumo y tiempo de autonomía: Se considerará como agua caliente de consumo, al fluido que supere los 30 grados, una vez que el sistema ha estado expuesto al sol y la temperatura del tanque se encuentre en niveles óptimos de acuerdo a los parámetros configurados por el usuario, se abrirá la llave de consumo y mediante un termómetro se medirá la temperatura que llega al área de consumo y el tiempo que se mantiene.

4. DISEÑO

4.1 PARAMETROS INICIALES DE DISEÑO PARA EL SISTEMA PARA SUMINSTRO DE ACS

Para el dimensionamiento y construcción del sistema es necesario conocer los parámetros del entorno (climatológicos) y parámetros internos propios de cada instalación.

4.1.1 PARÁMETROS DEL ENTORNO

4.1.1.1 Determinación del caudal y velocidad de la red de agua potable

Datos obtenidos de la vivienda, tomados en la salida de agua potable de la cocina.

Tabla 3. Valores de volumen vs tiempo tomados en campo

Fecha	Hora	Capacidad	Tiempo [s]
28/03/2016	9:28:00	5 litros	68.9
28/03/2016	16:12:00	5 litros	69.4
29/03/2016	8:34:00	5 litros	68.5
29/03/2016	19:15:00	5 litros	70.3
30/03/2016	10:40:00	5 litros	70.9
30/03/2016	16:58:00	5 litros	69.8
31/03/2016	10:31:00	5 litros	68.1
31/03/2016	17:40:00	5 litros	69.7
01/04/2016	9:45:00	5 litros	72.8
01/04/2016	17:17:00	5 litros	71.9
Promedio			70.3 [s]

De acuerdo a la Tabla 3 si se realiza el cálculo para 1 litro en 1 segundo.

Se obtiene el siguiente cálculo:

$$0.07 \frac{l}{s} \approx 0.007 \frac{m^3}{s}$$

De la ecuación [30] se despeja la velocidad

$$V = Q/A$$

$$A = \pi \frac{D^2}{4} = \pi \frac{(0.127m)^2}{4} = 0.012 m^2$$

$$V = \frac{0.007 \frac{m^3}{s}}{0.012 m^2}$$

$$V = 0.058 \frac{m}{s}$$

4.1.1.2 Determinación de la temperatura ambiente promedio

En la Figura 44 hace referencia a un histograma de la temperatura ambiente promedio en tomados de la Secretaria de Medio Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, Estación Tumbaco durante el mes de abril, mes en el cual se realizaron las pruebas del prototipo.

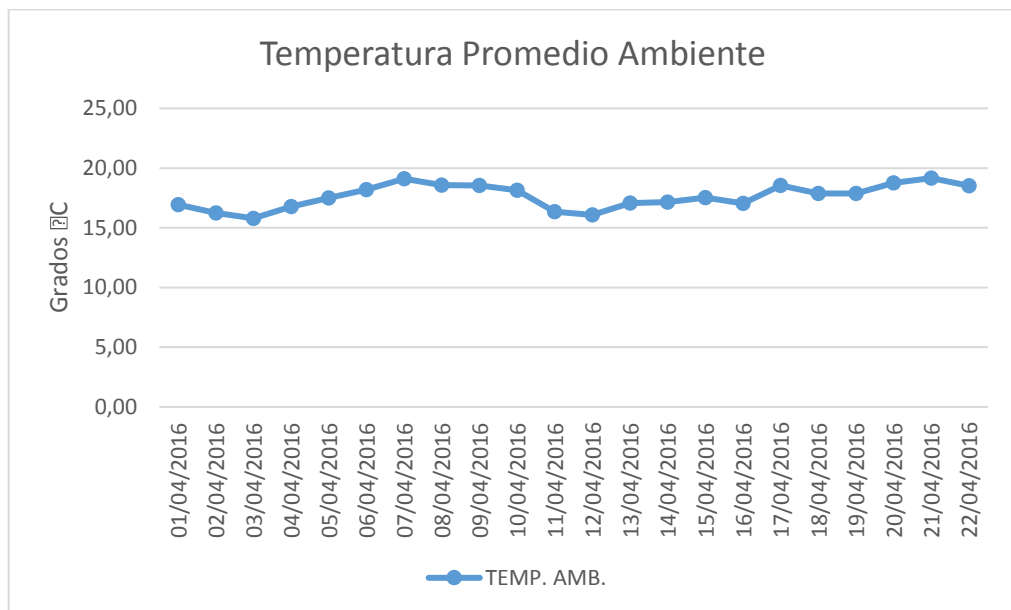


Figura 44. Histograma de registro de temperatura en el mes de abril

En la Tabla 4 se muestra el valor mínimo, máximo y promedio del respecto a la Figura 44.

Tabla 4. Rangos de Temperatura Ambiente mes de abril

Temperatura máxima	19.16 °C
Temperatura mínima	15.79 °C
Temperatura promedio	17.62 °C

4.1.1.3 Determinación de la radiación solar incidente

Para el cálculo de la radiación sobre una superficie inclinada se utiliza la ecuación [8]

$$H_T = R_o + K_t(Ta_{max} - Ta_{min})^{\frac{1}{2}}$$

$$K_t = 0.98 \text{ Latitud } 0^\circ, \text{ inclinación } 10^\circ$$

Los datos de temperatura se obtuvieron de la Tabla 4 y el valor k_t se obtuvo de la Figura 21.

$$H_T = 4.99 \left[\frac{Wh}{m^2 dia} \right] \left[\frac{1 dia}{24 h} \right] + 0.98(17.62 - 15.79)^{\frac{1}{2}}$$

$$H_T = 415.83 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

4.1.2 PARÁMETROS DE DISEÑO

Para establecer los parámetros iniciales con los cuales va a funcionar el sistema se obtuvo la información de los usuarios mediante una encuesta de tipo verbal y que según sus hábitos de consumo se han determinado las siguientes condiciones de trabajo:

- La temperatura de agua caliente que requiere el usuario es de 30°C a 45°C.
- El mayor consumo de agua caliente es por la mañana entre las 8:00 y 10:00 am. Esto se ocupa para el aseo personal con una duración aproximada de 10 a 15 minutos por persona.
- Se requiere agua caliente para la cocina en el lavaplatos, el consumo aproximado para esta zona es de 5 litros por persona al día.
- El consumo promedio de agua caliente de las personas es de 45 litros por persona al día

Una vez determinados los parámetros de consumo se procede a calcular la demanda calorífica que pueda satisfacer la demanda global generada de

acuerdo a estos parámetros. En la Tabla 5 se resumen los parámetros iniciales para calcular la demanda.

Tabla 5. Datos iniciales de diseño para la determinación de la demanda

Datos	
Calor específico del agua	4186 [J/kg °C]
Temperatura salida del sistema	45 °C - 318 K
Temperatura entrada del sistema	14 °C - 287 K
Número de personas	2
Densidad del agua	1.000 kg/m ³
Volumen de agua per cápita (lt/persona*día)	50 l

4.1.2.1 Calculo de Masa de agua caliente de consumo

De la ecuación [5]

$$M = Np * \rho_{H2O} * Vc$$

$$M = 2 * 1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 50l \left[\frac{m^3}{1000l} \right]$$

$$M = 100 kg$$

4.1.2.2 Calculo de la demanda

Utilizando la ecuación [4] para el cálculo de la demanda requerida será:

$$E = M * Cp(Tf - Ti)$$

$$E = 120kg * 4180 \left[\frac{J}{kg^{\circ}C} \right] * (45^{\circ}C - 14^{\circ}C)$$

$$E = 15.55 KJ$$

Nota: Se utiliza 120kg se considera una reserva.

Calculo del área de captación

Calculo del área del colector para satisfacer esta demanda [6]

$$A_{cap} = \frac{E}{H_t * \eta_c}$$

Según la teoría el factor de eficiencia η_c en un colector plano con doble cubierta

$$\eta_c = 0.65$$

Entonces:

$$A_{cap} = \frac{15.55 KJ}{4.99 \left[\frac{kWh}{m^2} \right] \left[\frac{1 \frac{kJ}{s}}{1 kW} \right] \left[\frac{3600 s}{1 h} \right] * 0.65}$$

$$A_{cap} = \frac{15.55 \frac{kJ}{m^2}}{11.67 \frac{kJ}{m^2}}$$

$$A_{cap} = 1.33 m^2$$

4.1.3 DISPOSICIÓN DEL COLECTOR

Se refiere a la disposición o configuración de los tubos para formar el colector. Se ha seleccionado realizar un colector tipo parrilla considerando los siguientes factores:

- El tiempo de circulación por termosifón en un circuito tipo parrilla es menor ya que existe varias mangueras o tubos secundarios por los cuales se distribuye el caudal de agua al ingreso.
- Existe una mayor área de contacto entre el fluido y el material caloportador, es decir existe una mayor transferencia de calor.
- El mantenimiento y reparación del colector fácil ya que solo se reemplaza el tubo o manguera secundaria afectada mientras que en un serpentín es necesario reemplazar todo el circuito.

4.1.3.1 Determinación del número de tubos secundarios

Según la ecuación [3] para el diseño del colector en el proyecto se contempla los siguientes parámetros:

Ancho del colector (dtd): 100 cm

Separación entre tubos (d): 4 (aproximadamente)

Por lo tanto:

$$nt = dtd/d$$

$$nt = 100/4$$

$$nt \approx 25 \text{ tubos}$$

4.1.4 UBICACIÓN DEL SISTEMA

El plano de la Figura 45 se muestra la ubicación del sistema de ACS sobre el techo de la vivienda y las conexiones de entrada de la red de agua potable fría (celeste) y las salidas para consumo de agua caliente en el baño y la cocina. La distancia aproximada en la acometida 1 que parte desde el sistema de ACS hasta la salida de ACS de la cocina es de 6.5m y la acometida 2 desde el sistema de ACS hasta la salida de ACS del baño es de 8.2m.

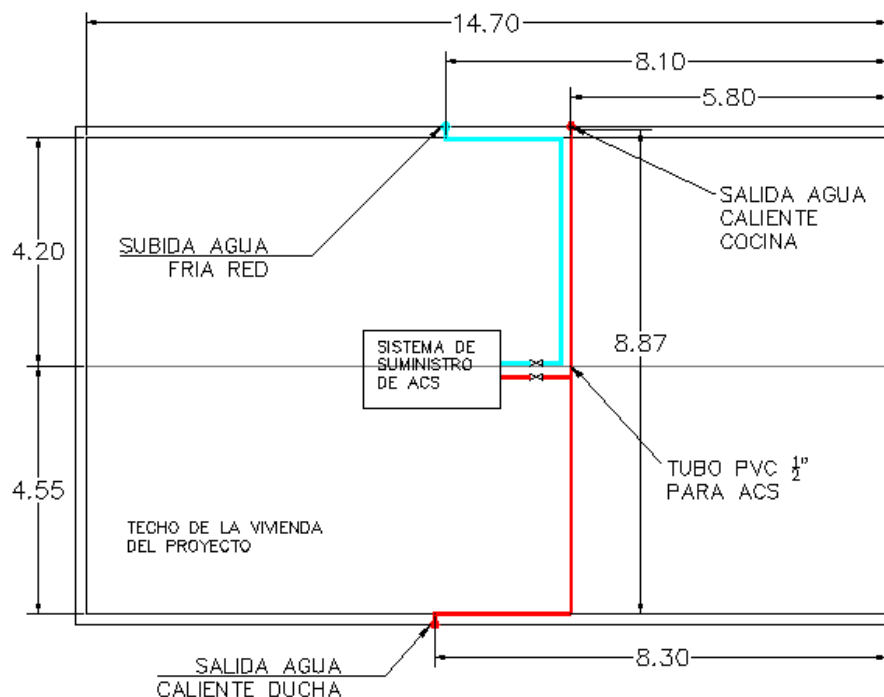


Figura 45. Ubicación del sistema de suministro en la terraza de la vivienda

4.2 SELECCIÓN DE MATERIALES DEL SISTEMA

Una vez determinados los parámetros del proyecto el objetivo del proyecto es determinar un material de tipo plástico para el colector, para lo cual se plantean alternativas de materiales y mediante un análisis se seleccionará y simulará los materiales que tengan mejores condiciones físicas, constructivas y económicas para la construcción del prototipo.

4.2.1 MATERIALES COLECTOR

4.2.1.1 Alternativas de diseño del colector

De acuerdo al objetivo que se plantea en el estudio, los materiales plásticos flexibles que son de mayor acceso en el mercado ecuatoriano son expuestos en la Tabla 6. Se consideran aspectos técnicos, propiedades del material, costos, criterios de ingeniería y las normativas para la instalación de colectores solares térmicos.

Tabla 6. Materiales para el colector Solar

Opción	Material					Propiedades			
	Material	Medida Comercial [in]	Diámetro externo [mm]	Diámetro interno [mm]	Espesor [mm]	Resistencia a la presión [psi]	Temperatura de trabajo	Presentación	Costo x metro (dólar)
1	Caucho	5/16"	13	6	3.5	300	de -40C° a +93C°	Rollo 50 m	2.25
2	PVC reciclado	3/8"	9	7	1	80	de -15C° a +60C°	Rollo 100 m	0.35
3	Caucho	1/4"	12	6	3	300	de -35C° a +90C°	Rollo 100 m	2.6
4	PVC modificado	1/2"	12.5	6.5	3	150	de -15C° a +60C°	Rollo 10 m	1.15
5	PVC- Nylon trenzado	3/8"	16	10	3	300	de -15C° a +55C°	Rollo 100 m	3.1
6	Lona Negra Mate	m2	N/A	N/A	2	N/A	de -20C° a +60C° sin UV	Rollo de 1.2x50 m	0.98

4.2.1.2 Selección de materiales

Una vez determinadas las alternativas de los materiales que se puede emplear en el colector, se utiliza el método de criterios ponderados (García, 2016) con la finalidad de obtener dos alternativas de diseño que puedan cumplir con los requerimientos del estudio analizando factores del material y del entorno.

En la Tabla 7 se definen los criterios de ingeniería para la selección del material con un factor de ponderación es decir el peso específico que se da a cada criterio con un valor de 1 como mínimo y 5 como máximo. Para la calificación de cada material se fija una escala de 1 como mínimo y 10 como máximo. Este valor se multiplica por el peso de cada criterio. Se estableció la calificación de los criterios basándose en conocimientos técnicos y la experiencia del autor.

A pesar de que existen materiales en el mercado que puedan resistir presiones más elevadas y temperaturas de trabajo superiores, uno de los principales factores que influye en la elección del material es el costo, puesto que si supera determinado valor podría ser mejor la construcción de un colector en materiales metálicos como el cobre obteniendo un grado de eficiencia superior.

Es por esta razón que el objeto de este estudio es llegar a determinar un material plástico flexible de bajo impacto económico.

Criterios de ponderación en la elección del material.

Tabla 7. Método de criterios ponderados para selección del material para la construcción del colector

OPCION		CRITERIOS DE INGENIERIA													CALIFICACION			
Opción	Material	Medida Comercial	Factor de Ponderación	Interconexión con acoples	Vida Útil	Costo x metro	Espesor	Resistencia a la presión	Temperatura de trabajo	Absorción del material	Sumatoria Ponderación	SUMATORIA		1				
				3	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5				
1	Caucho	5/16"		6	8	32	6	30	5	25	7	28	7	35	3	15	183	0.16
2	PVC reciclado	3/8"		9	4	16	10	50	10	40	4	16	5	25	10	50	224	0.20
3	Caucho	1/4"		6	8	32	5	25	7	28	7	28	8	40	4	20	191	0.17
4	PVC modificado	1/2"		8	7	28	9	45	7	28	6	24	5	25	3	15	189	0.16
5	PVC con Nylon trenzado	3/8"		8	9	36	4	20	7	28	7	28	4	20	6	30	186	0.16
6	Lona Negra Mate			4	2	8	7	35	10	40	2	8	4	20	10	50	173	0.15
												1146			1			

4.2.1.3 Simulaciones CAD-CAE

Una vez realizado la selección del tipo de material a utilizar se procedió a realizar simulaciones con el software de simulación ingenieril CAE, ANSYS 15.0, sobre la plataforma Workbench 15.0 y análisis Fluent Flow 15.0, para observar el comportamiento de los fluidos sometidos a transferencia de calor, el análisis se lo realizó bajo la teoría de elementos y volúmenes finitos para fluidos.

Tabla 8. Parámetros y Medidas para simulación en ANSYS

SIMULACION DE MATERIAL FLEXIBLE				
VALOR	VARIABLE	SIMBOLO	OBSERVACION	
VARIABLES EXTERNAS				
17.62 °C -289 °K	Temp. ambiente promedio	Ta	Datos Secretaria de Ambiente	
14 °C -287°K	Temp. inicial del agua	To	Muestreo	
416 [w/m2]	Radiación solar global promedio	W	Mapa solar NEC 11	
0.05 [m/s]	Velocidad de agua	V	en función del caudal	
MATERIAL				
CAUCHO	PVC RECICLADO			
6 mm	8 mm	Diámetro interno de la tubería PVC	ϕ_i	Muestra física
12 mm	9 mm	Diámetro externo de la tubería PVC	ϕ_e	Muestra física
2000 mm	2000 mm	Longitud	L	Tamaño del colector
3 mm	1 mm	Espesor	E	Muestra física
980 [kg/m3]	1290 [kg/m3]	Densidad del PVC flexible	ρ_{pvc}	
1000 [j/kg*k]	1600 [j/kg*k]	Calor especifico	Cp	
0.25 [w/m*k]	0.16 [w/m*k]	Conductividad Térmica	α_t	

Restricciones de la simulación

Se realizó el análisis solo en un tubo que forma el colector ya que el objetivo es observar el comportamiento y la transferencia de calor con los dos

materiales seleccionados.

El análisis se realizó en con los mismos parámetros y condiciones en los dos materiales, únicamente se varían valores propios de cada material como densidad, calor específico y conductividad térmica

Modelamiento de los materiales seleccionados

Para esta etapa de simulación CAD-CAE se procede a la construcción y modelamiento de los elementos a ser analizados: PVC reciclado y Caucho. Para este proceso se utilizó el software SOLIDWORKS 2013 y se importa el modelo a ANSYS para el análisis y utilizando los parámetros de la Tabla 8

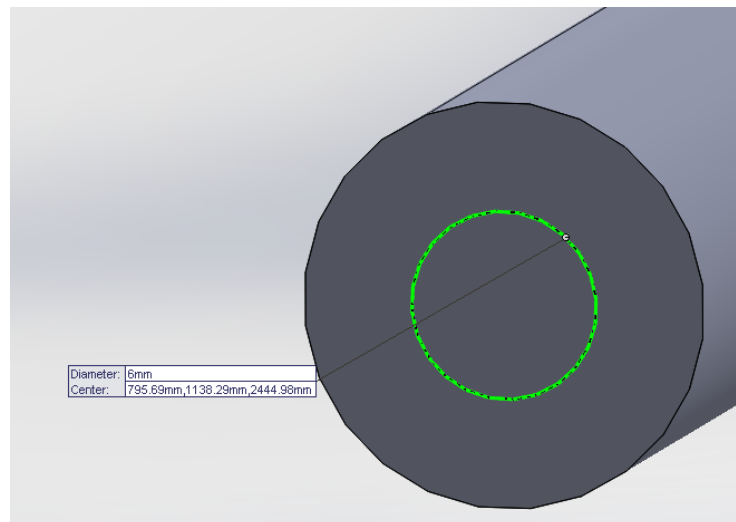


Figura 46. Modelamiento Manguera de Caucho en SolidWorks

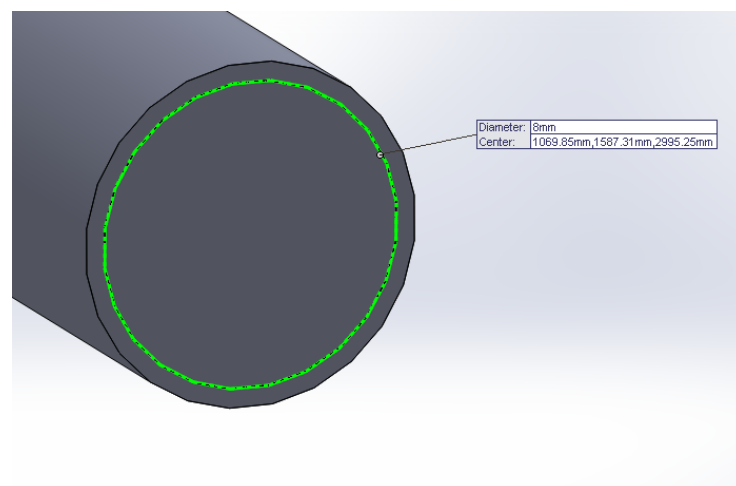


Figura 47. Modelamiento de manguera de PVC en Solid Works

Simulación

Para las simulaciones en ANSYS se utilizó la plataforma Workbench con el método FluentFlow, el cual realiza donde se puede obtener datos de transferencia de calor a través del material seleccionado hasta llegar al contacto con el fluido. A su vez permite determinar el salto térmico que obtiene el fluido al contacto con la superficie del material caloportador.

Las dos simulaciones fueron realizadas con los datos de la Tabla 8 como se observa en la Figura 48 el espesor del material influye en la cantidad de calor que pasa a través del material y es transmitido al fluido.

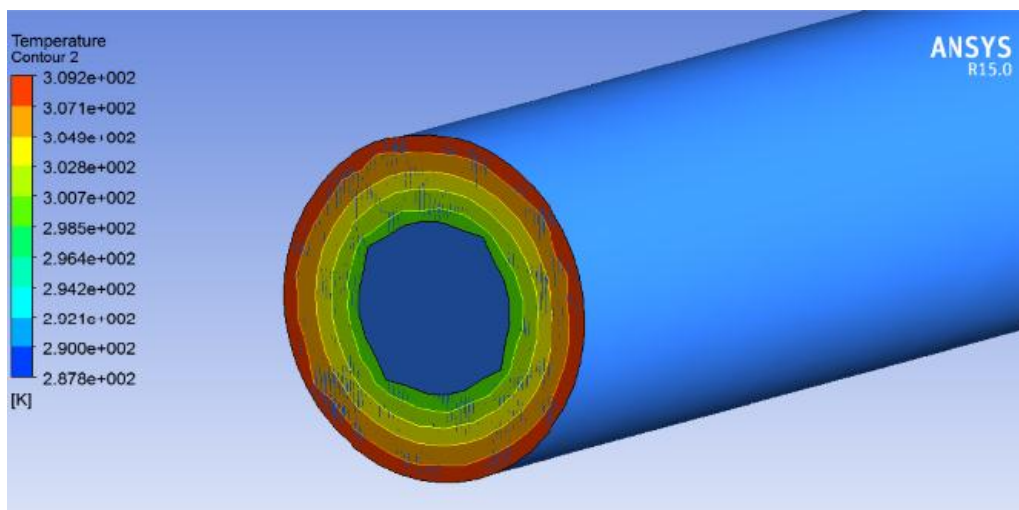


Figura 48. Transferencia de calor - Manguera de Caucho

En la Figura 48 se puede notar el calor que es transmitido al fluido, tiene una ganancia aproximada de 2°

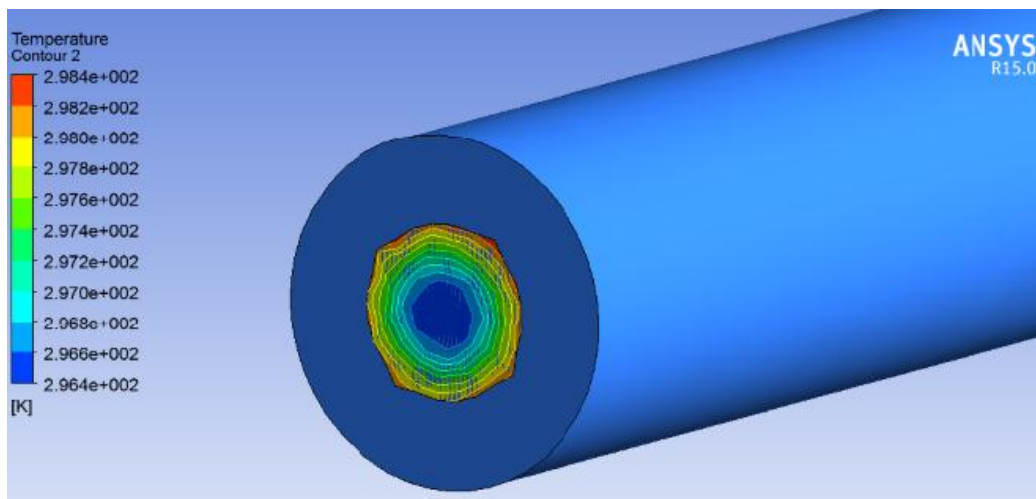


Figura 49. Transferencia de calor Manguera de Caucho - Fluido

En la Figura 49 se observa un mayor calentamiento uniforme sobre toda la superficie del material, además que temperatura de la superficie exterior varía en ± 1 grado con la superficie interior del material, es decir el fluido puede alcanzar una mayor temperatura en menor tiempo.

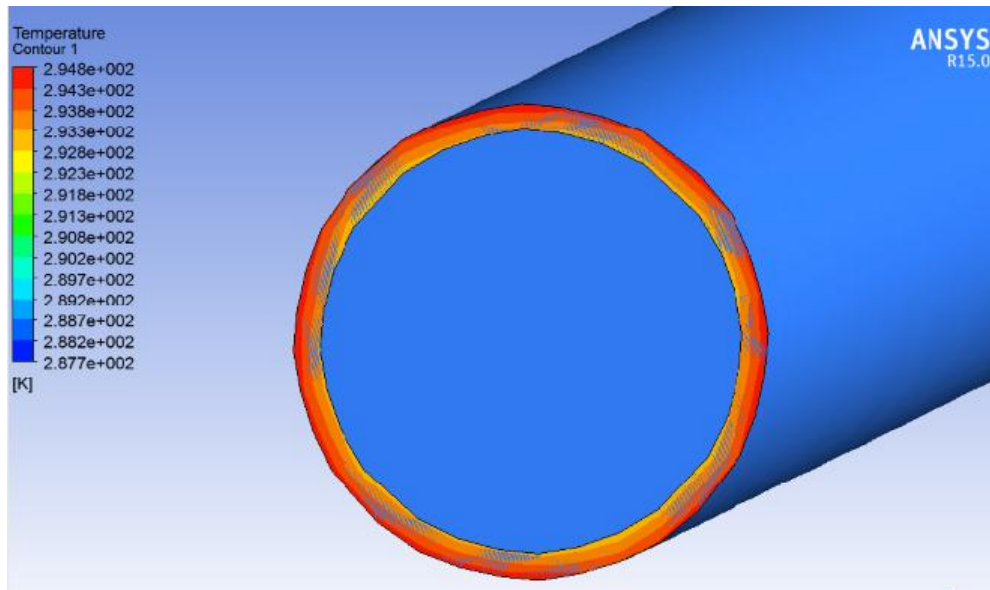


Figura 50. Transferencia de Calor manguera de PVC

En la Figura 50 se observa que el fluido gana mayor calor en la superficie de contacto esto puede influir en la velocidad de calentamiento del fluido. Otro factor a considerar es el efecto invernadero causado por el vidrio de la placa, el cual ayuda a que el material mantenga su temperatura en toda la superficie y exista una mayor transferencia de calor hacia el material.

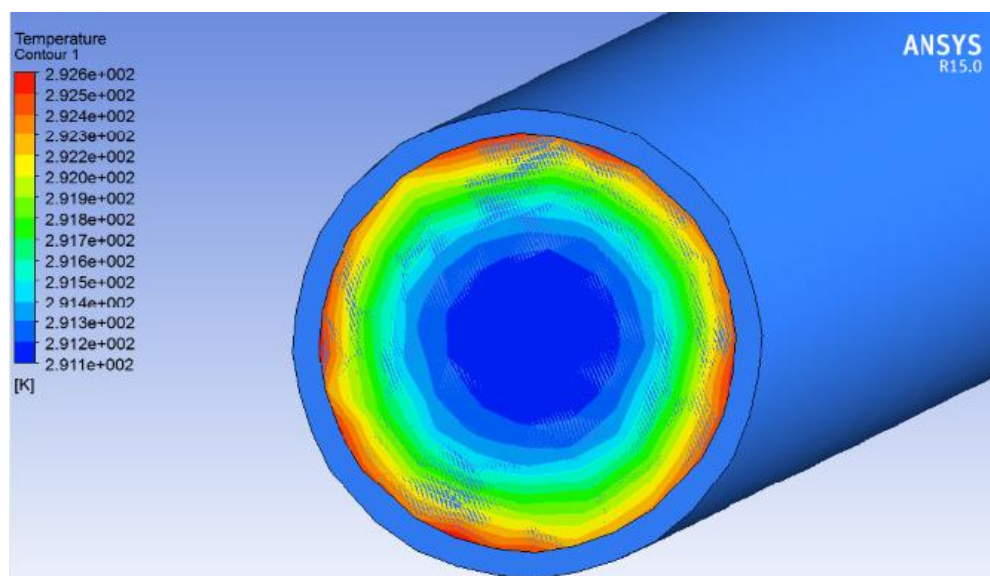


Figura 51. Transferencia de calor Manguera PVC – Fluido

4.2.2 SELECCIÓN DEL ACUMULADOR O TERMO TANQUE

De acuerdo a la Figura 9 el consumo en cada una de las áreas el consumo global de esta vivienda llegaría a 45 litros/día/ persona si se maneja una simultaneidad en todas sus áreas. Si se maneja un consumo para dos personas, la capacidad del tanque a ser instalado sería de 90 litros/ día. Según la disponibilidad del mercado se ha seleccionado un tanque con capacidad de 120 litros.

Tabla 9. Características constructivas del acumulador

Características del Acumulador	
Capacidad	120 litros
Interior	Acero Naval 6 líneas
Exterior	Lamina de Aluminio
Recubriendo	Poliuretano
Entradas y Salidas	4
Presión	150 psi
Peso (vacío)	80 Kg
Instalación para soporte	si
Potencia de soporte	1500 W

En la Figura 52 se muestra el tanque seleccionado para satisfacer la demanda requerida por los usuarios de la vivienda.



Figura 52. Acumulador seleccionado para el sistema

4.3 BALANCE ENERGÉTICO DEL COLECTOR

Para determinar la cantidad de calor que es aprovechado por el colector se realizan los siguientes cálculos según los parámetros y condiciones de entrada detallados en la Tabla 10.

Tabla 10. Parámetros iniciales para el cálculo de balance de energía en la placa del colector

Objeto	Parámetro	Valor		Unidad	Símbolo
Condiciones de prueba	Radiación solar promedio	415.83		w/m ²	Ht
	Inclinación colector	10		grados	β
	temp. Ambiente	289	16	K -°C	Ta
	velocidad del viento	2		m/s	v
Dimensiones del colector	Largo	2		m	l
	Ancho	1		m	a
	Espesor	0.15		m	h
Cubierta	# cubiertas	2			N
	Material	vidrio			
	Transmitancia	0.94		t	τ
	Emitancia	0.94			ϵ_c
Espacio aire caja	cobertura de la caja	0.035		m	
Placa	temperatura promedio de la placa de absorción	333	60	K -°C	Tp
	Absorbancia	0.90			α
	Emisividad	0.90			ϵ_p
Aislamiento	poliuretano	conductividad	0.024	w/mK	k_a
		espesor	0.05	m	l'

4.3.1.1 Cálculo de pérdidas del colector

Para el cálculo de pérdidas de la placa se considera un coeficiente en cada uno de sus lados, para de esta manera sacar un coeficiente de pérdidas global del colector, del ambiente y poder determinar el calor útil que llega al fluido.

- **Pérdidas en la parte inferior**

Utilizando la ecuación

$$U_{fo} = \frac{k_a}{l}$$

$$U_{fo} = \frac{0.024 \left[\frac{W}{mK} \right]}{0.05 [m]}$$

$$U_{fo} = 0.48 \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

- **Pérdidas en la parte superior**

$$U_{sup} = \frac{1}{R_3 + R_4 + R_5}$$

Para determinar R3

$$R_3 = \frac{T_P - T_{C2}}{(h_{c2} + h_{R2})(T_P + T_{C1})}$$

$$h_{R2} = \frac{\sigma(T_P + T_{C2})(T_P^2 + T_{C2}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_P} + \frac{1}{\varepsilon_{C2}} - 1}$$

$$\sigma = 5.6692 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2K^4} \right]$$

$$h_{R2} = \frac{5.6692 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2K^4} \right] (333K + 302.15K)(333^2K + 302.15^2K)}{\frac{1}{0.9} + \frac{1}{0.94} - 1}$$

$$h_{R2} = 1.781 \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

$$R_3 = \frac{333K - 302.15K}{\left(0 + 1.781 \left[\frac{W}{m^2K} \right] \right) (333K + 302.15K)}$$

$$R_3 = 0.294 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Para determinar R_4 primero se calcula h_{R1}

$$h_{R1} = \frac{\sigma(T_P + T_{C2})(T_P^2 + T_{C2}^2)}{\frac{1}{\varepsilon C_2} + \frac{1}{\varepsilon C_1} - 1}$$

$$h_{R1} = \frac{5.6692 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right] (333K + 302.15K)(333^2 K + 302.15^2 K)}{\frac{1}{0.94} + \frac{1}{0.94} - 1}$$

$$h_{R1} = 1.85 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$R_4 = \frac{T_{C2} - T_{C1}}{(h_{c1} + h_{R1})(T_{C2} - T_{C1})}$$

$$R_4 = \frac{0 - 302.15K}{\left(0 + 1.85 \left[\frac{W}{m^2 K} \right] \right) (0 - 302.15K)}$$

$$R_4 = 0.538 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Para determinar R_5 calcula h_{fir} y $h_{c\infty}$

$$R_5 = \frac{T_{C1} - T_a}{(h_{c\infty} + h_{fir})(T_{C1} - T_a)}$$

$$h_{fir} = \sigma \varepsilon C_1 (T_{C1} + T_a)(T_{C1}^2 + T_a^2)$$

$$h_{fir} = 5.6692 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right] * 0.94 (302.15K + 289K)(302.15^2 K + 289^2 K)$$

$$h_{fir} = 5.507 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$h_{c\infty} \cong 0$$

Entonces:

$$R_5 = \frac{302.15K - 289K}{\left(0 + 5.507 \left[\frac{W}{m^2K}\right]\right) (302.15K - 289K)}$$

$$R_5 = 0.181 \left[\frac{W}{m^2K}\right]$$

$$U_{sup} = \frac{1}{0.294 \left[\frac{W}{m^2K}\right] + 0.538 \left[\frac{W}{m^2K}\right] + 0.181 \left[\frac{W}{m^2K}\right]}$$

$$U_{sup} = 0.985 \left[\frac{W}{m^2K}\right]$$

- **Perdidas laterales del colector**

$$U_l = \frac{k'_a * h * P}{l' * A_l}$$

$$U_l = \frac{0.024 \left[\frac{W}{mK}\right] * 0.15 m * 6m}{0.05 m * 2m^2}$$

$$U_l = 0.432 \left[\frac{W}{m^2K}\right]$$

Entonces:

$$U_L = U_{fo} + U_{sup} + U_l$$

$$U_L = 0.48 \left[\frac{W}{m^2K}\right] + 0.985 \left[\frac{W}{m^2K}\right] + 0.432 \left[\frac{W}{m^2K}\right]$$

$$U_L = 1.897 \left[\frac{W}{m^2K}\right]$$

4.3.1.2 Pérdidas de calor en el colector

$$Q_{per} = U_L * A_l * (T_p - T_a)$$

$$Q_{per} = 1.897 \left[\frac{W}{m^2 K} \right] * 2m^2 * (333K - 289K)$$

$$Q_{per} = 167.01 [W]$$

4.3.1.3 Calculo del calor útil recibido por el colector

$$Q_{util} = Q_{abs} - Q_{per}$$

$$Q_{abs} = H_T * A_e * (\tau\alpha)$$

$$Q_{abs} = 497.17 \left[\frac{W}{m^2} \right] * 2m^2 * (0.9 * 0.94)$$

$$Q_{abs} = 630.90 [W]$$

$$Q_{util} = 630.90 [W] - 167.01 [W]$$

$$Q_{util} = 463.90 [W]$$

4.3.1.4 Eficiencia real del colector

$$\eta_c = \frac{Q_{util}}{H_T * A_e} * 100$$

$$\eta_c = \frac{463.90 [W]}{415.30 \left[\frac{W}{m^2} \right] * 2m^2} * 100$$

$$\eta_c = 62.20\%$$

4.4 DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL

Como se detalla en el capítulo anterior el sistema de control se puede dividir en dos partes, la primera consta del sistema de adquisición de datos para el estudio y se enfoca en determinar la eficiencia de la placa colectora comparando la temperatura de entrada al sistema vs la que sale para el consumo. La segunda parte del control es el sistema de suministro de agua en general en base al control de actuadores y sensores y de esta manera asegurar de la calidad del suministro de ACS.

4.4.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Para obtener los datos de eficiencia del colector es necesario tomar lecturas constantemente durante todo el día. Para lograr este objetivo se diseñó un sistema de adquisición de datos instalando cuatro sensores de temperatura digitales (T1, T2, T3, T4) DS18B20 con características para la medición de fluidos dentro de tanques o tuberías y están ubicados en las entradas y salidas del colector y del sistema general como se muestra en la Figura 53

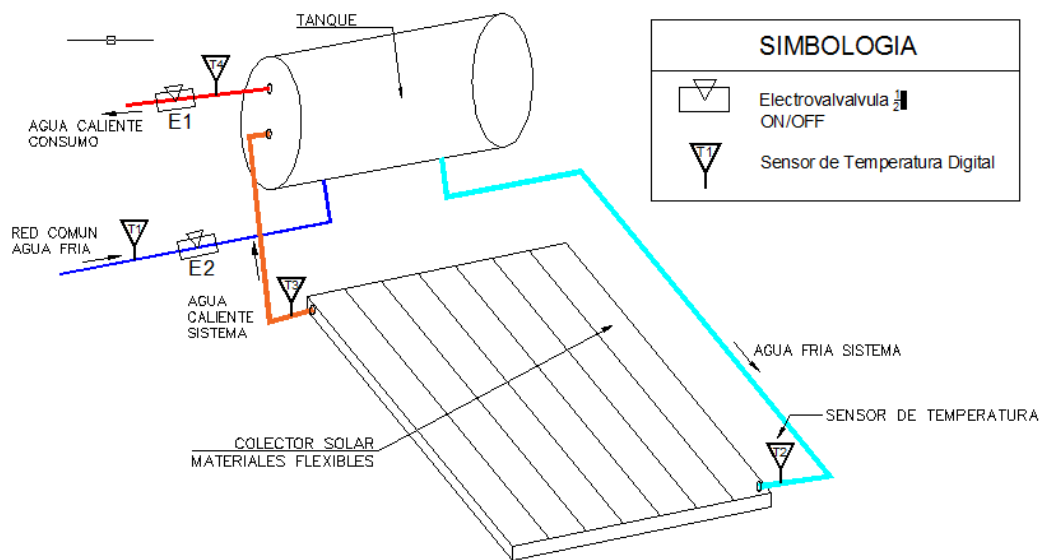


Figura 53. Ubicación de sensores y Electroválvulas en el prototipo

Los sensores serán conectados a una placa ARDUINO para lectura de los datos cada 30 minutos. Para la conexión de los sensores se construyó una placa en la cual se conectaba cada uno de los sensores. Para que los sensores puedan funcionar correctamente se conectó una resistencia de 4.7

kOhms entre Vcc y señal como se muestra en la Figura 54.

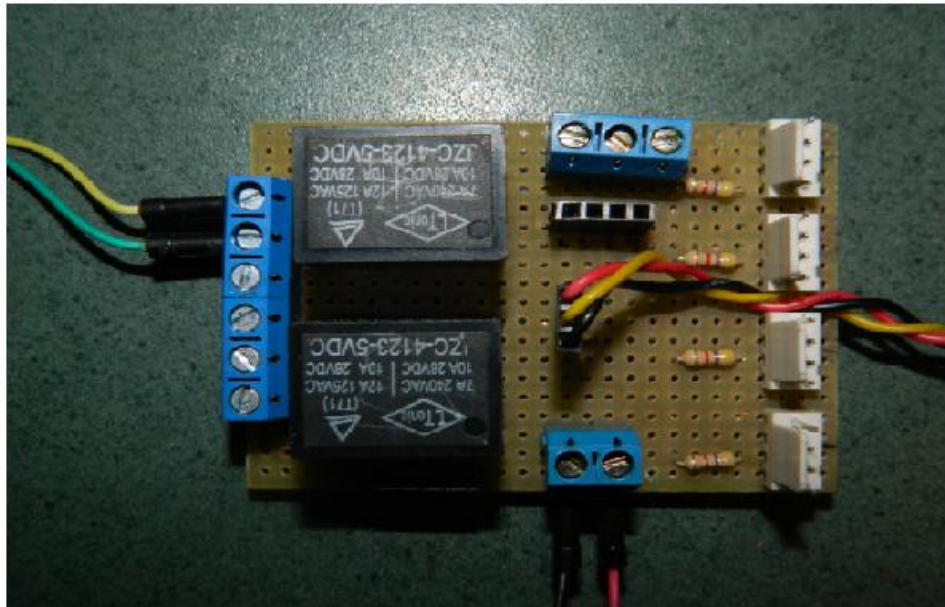


Figura 54. Tarjeta para Adquisición de datos con ARDUINO

Para poder guardar estos datos se realizó una interfaz gráfica Figura 55 con la cual se muestrea y se guarda los datos adquiridos durante todo el día. Estos datos fueron obtenidos durante un periodo de 20 días. Los datos obtenidos en un archivo tipo txt fueron tabulados para obtener las gráficas de rendimiento del colector.

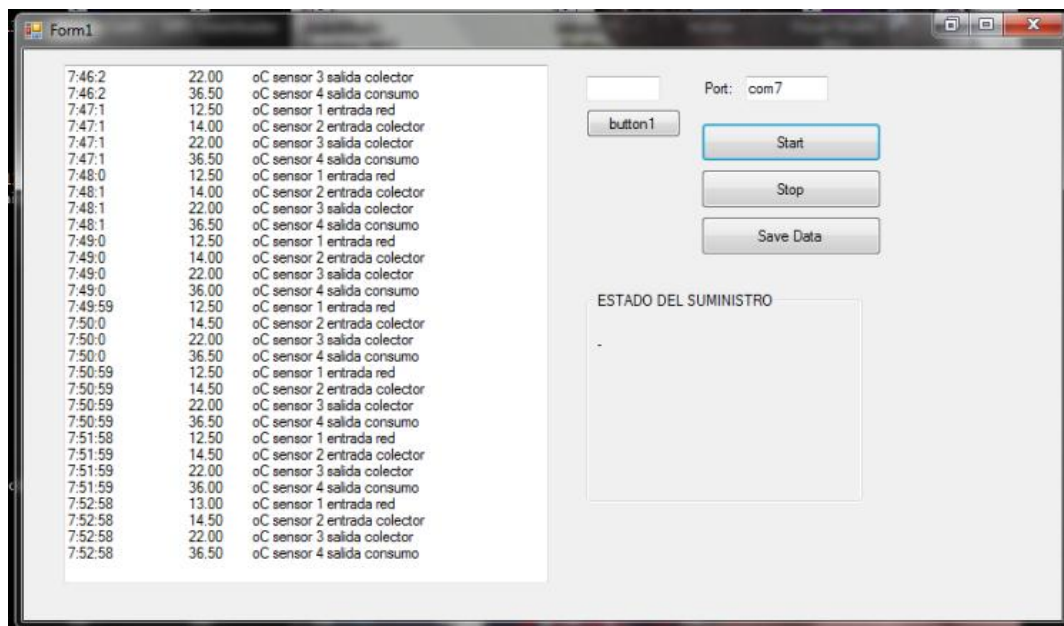


Figura 55. Adquisición de datos ARDUINO-VISUAL STUDIO

4.4.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE ACS.

En la Figura 56 se detalla la lógica de control del sistema completo, la cual es reprogramable de acuerdo a los requerimientos del usuario.

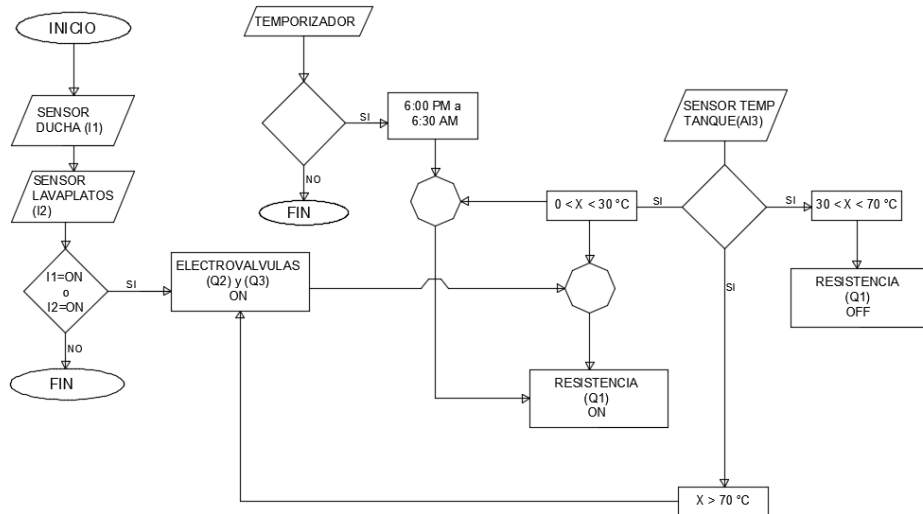


Figura 56. Sistema de Control - Diagrama de flujo

4.4.2.1 Funcionamiento del sistema

Para el diseño se utilizó un PLC tipo LOGO de Siemens Versión 8 para la integración de los sistemas de presión y temperatura para garantizar el correcto funcionamiento. Se utilizó el módulo principal LOGO y un módulo AM2 RTD especial para la conexión y lectura de datos con un sensor de temperatura PT100.

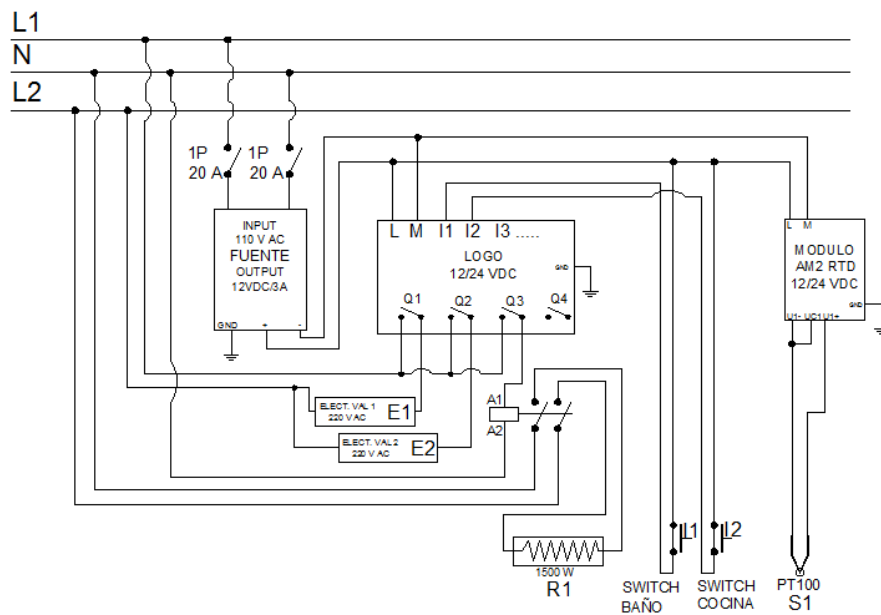


Figura 57. Diagrama Eléctrico de conexión del tablero de control

De acuerdo a la Figura 57 el sistema se basa en el suministro de ACS para lo cual se controla la entrada y salida del sistema. Las salidas (Q1) y (Q2) correspondientes a las electroválvulas están conectados a un PLC tipo LOGO las cuales son activadas cuando:

- Los sensores o interruptores I1 e I2 ubicados en el área de la cocina y el baño respectivamente son activados.
- Si la temperatura es mayor a 70°C la electroválvula (E2) de salida (Q2) se abre y permite la salida de la presión generada por el vapor de agua durante.

A su vez estos actuadores se encuentran integrados a un control de temperatura basado en un temporizador semanal programable y una entrada analógica para un sensor de temperatura (AI3) PT100 ubicado en el interior del tanque a la salida del agua para consumo el cual está conectado al módulo AM2 RTD del LOGO tal como se muestra en la Figura 58.

Esta entrada estará parametrizada a través de Conmutadores analógicos con valores de umbral (B001 y B008) definidos de la siguiente manera:

- Si el temporizador (B005) se encuentra configurado para que se encienda en un periodo de tiempo, generalmente cuando no existe radiación solar entre las 6:00 pm y 6:00 am del siguiente día y la temperatura del tanque es menor a 30°C, se active el sistema de apoyo (resistencia 1500W) ubicada en el tanque.
- Si la temperatura del tanque es menor a 30°C y existe consumo es decir los sensores I1 y I2 son activados entre las horas que el temporizador este desactivado, se encienda el sistema de apoyo hasta alcanzar una temperatura mayor a 30°C.
- Si la temperatura se encuentra entre 30°C y 60°C el sistema de apoyo se encuentra apagado y el calentamiento es netamente solar.

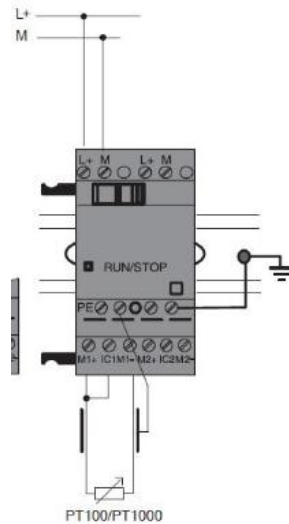


Figura 58. Conexión del sensor PT100 al módulo AM2 RTD
(Siemens, 2016)

4.4.2.1 Programación en Software Logo Soft Confort

La programación fue realizada en el Software Logo Soft Confort V8.0 en el lenguaje de diagrama de funciones el cual representa las tareas de automatización utilizando símbolos normalizados. Este programa permite realizar simulaciones del circuito para detectar errores en el funcionamiento activando las entradas y observar los resultados que se generan, tal como se muestra en la Figura 59. También el software tiene la versatilidad de Monitorear en tiempo real las entradas y salidas del LOGO a través de un puerto LAN conectado al ordenador.

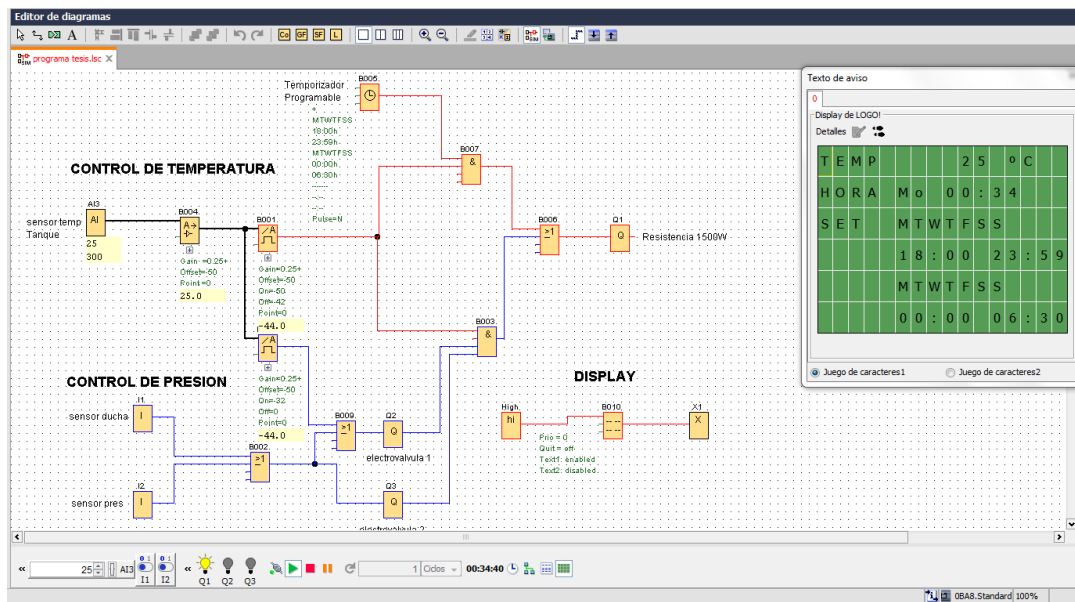


Figura 59. Simulación en LOGO Soft Confort V8.0

4.4.2.2 Diseño del prototipo

En la Figura 60 se muestra la ubicación de los sensores de temperatura electroválvulas y demás elementos que conforman el sistema de suministro de ACS con sus respectivas dimensiones y elementos hidráulicos que ayudan a la conexión del sistema de ACS y facilitarán el mantenimiento a futuro del sistema. Para el circuito hidráulico existirán dos diámetros de los tubos, para la conexión entre el panel y el acumulador se utilizará tubería de $\frac{3}{4}$ " y para la entrada y salida del sistema a la red será tubería de $\frac{1}{2}$ ". Estos parámetros generalmente vienen definidos por el fabricante del acumulador.

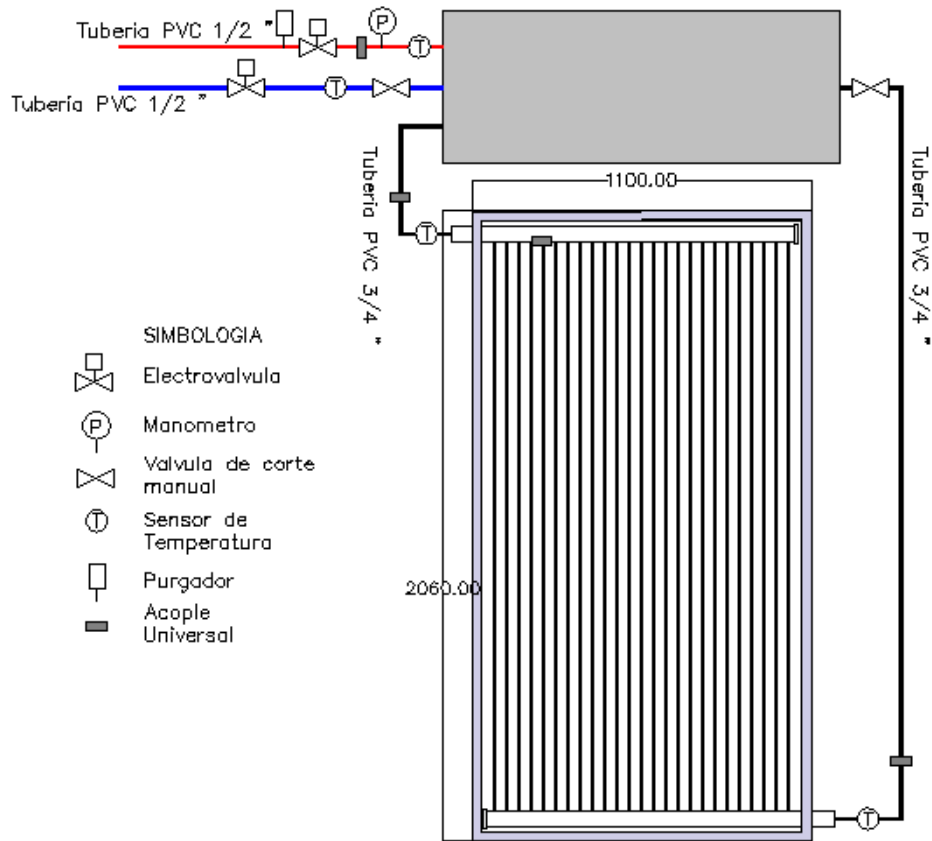


Figura 60. Plano del sistema de ACS, ubicación de los elementos

En la Figura 61 se observa la estructura metálica que soporta el tanque, según el NEC11 la capacidad soportante de la estructura física disponible debe ser 2.5 veces el peso vivo del tanque termo solar lleno.

También se puede observar el grado de inclinación que debe tener el colector con respecto a la superficie.

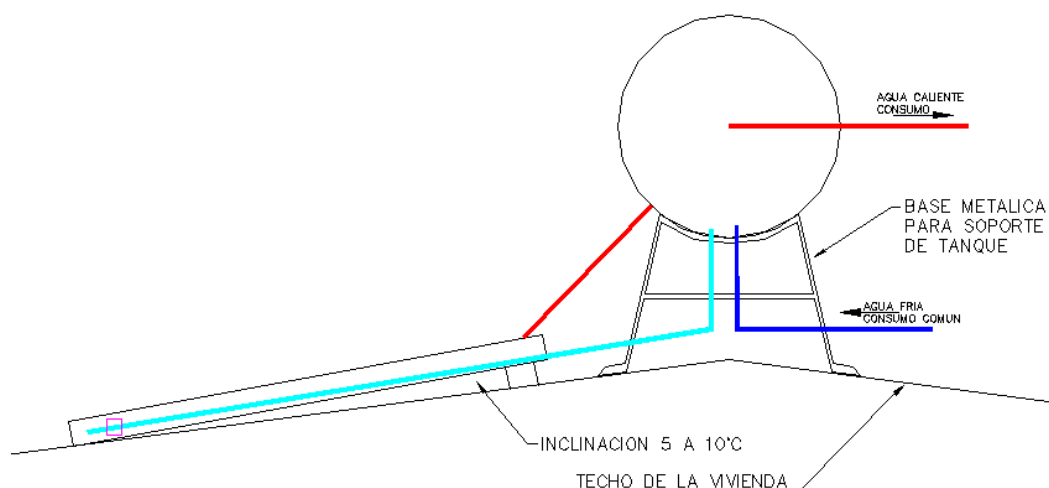


Figura 61. Vista lateral del prototipo

4.5 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

Para el proceso constructivo del proyecto se utilizaron los materiales ya seleccionados en el diseño.

4.5.1 CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR

Para la construcción del colector se utilizaron los materiales detallados en la Tabla 11. Las dimensiones del colector son 2m x1m (largo y ancho), con un área de 2 m^2 . Para la conexión de los acoples tubo-manguera al tubo distribuidor del colector se realizaron las perforaciones necesarias, se utilizaron elementos de sellado para evitar fugas y pérdidas de calor.

Tabla 11. Materiales empleados en la construcción del colector

Material	Unid.	Cant.
Acople Tubo-manguera 5/16 a 3/8 in	u	50
Manguera PVC reciclada 3/8 in	m	50
Tubería AC 1 in	m	1.9
Tapón 1 in	u	2
Abrazadera metálica 3/8 in	u	50

Los acoples metálicos fueron conectados al tubo distribuidor cada 4 cm para evitar posibles daños al insertar el acople, se colocó pasta sellante para evitar fugas del fluido tal como se muestra en la Figura 62.

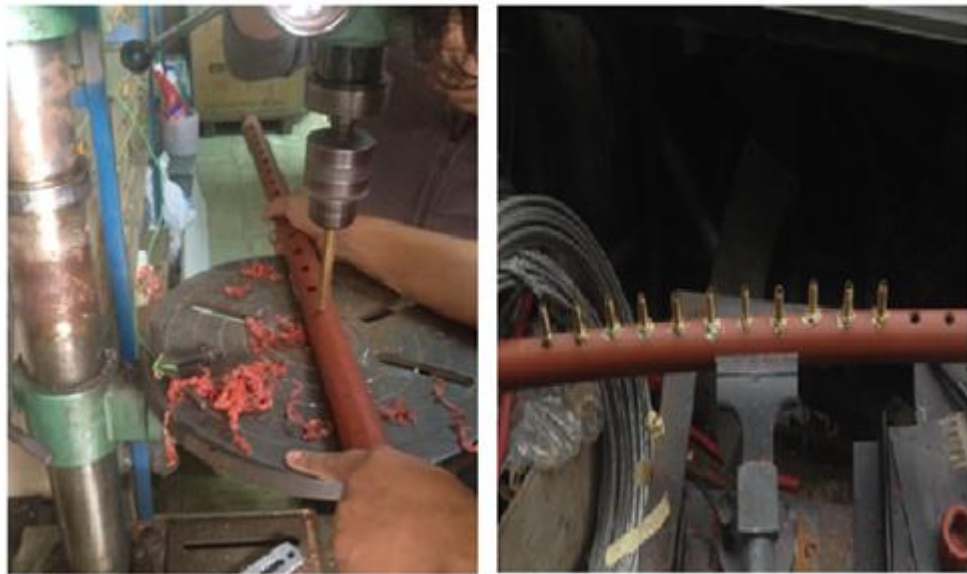


Figura 62. Construcción del tubo distribuidor con acoples

4.5.2 CONSTRUCCIÓN DE LA CAJA

La caja del colector está construida de aluminio con espesor de 4 mm, tiene un recubrimiento en sus paredes de poliuretano.

En la parte interior de la caja tiene una lámina de aluminio pintada de negro mate. Esta lámina realiza la función de absorbedor y contribuye a la formación del efecto invernadero. Para evitar que la manguera de PVC tenga algún daño por exceso de calor en contacto con la placa de aluminio (absorbedor) se instaló alzas de madera cada 15 cm de forma horizontal en toda el área del colector como se muestra en la Figura 63.



Figura 63. Instalación de acoples manguera y alzas

4.5.3 TABLERO DE CONTROL

Para el montaje del sistema de control se utilizó gabinete metálico liviano IP65 de 30x30x20 cm con doble fondo para la instalación de los componentes eléctricos de acuerdo los diseños realizados.



Figura 64. Tablero de control montado sobre la pared de la vivienda



Figura 65. Tablero de Control

El tablero está ubicado en la parte interna de la vivienda para protección de los equipos, además para la configuración del temporizador de acuerdo a los requerimientos de los usuarios.

En la Figura 66 se puede visualizar la pantalla del Módulo principal, en la cual se muestra los días de la semana y la hora en la cual se desea que se encienda se puede realizar la configuración ya sea de forma manual o por medio de una red LAN.



Figura 66. Pantalla principal Modulo Principal LOGO SIEMENS

4.5.4 MONTAJE DEL EQUIPO

Como se muestra la Figura 67 el equipo se encuentra instalado en la parte superior de la vivienda.



Figura 67. Sistema Colector Solar instalado

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

El estudio comprende el diseño y construcción del sistema de suministro de agua caliente que contemple el uso de un colector con materiales plásticos flexibles logrando una eficiencia similar a los colectores comúnmente utilizados fabricados en su mayoría de cobre. A continuación, se detallan los resultados finales del estudio.

5.1 ANALISIS DE VARIABLES Y PARAMETROS INICIALES

En el estudio se determinaron las variables que influyen en el diseño y la construcción del sistema de ACS y son presentados en la Tabla 12 a continuación.

Tabla 12. Resultados de las variables del prototipo

Variables y Parámetros Iniciales	
Radiación Solar Incidente (Quito)	415.83 [w/m ²]
Temperatura ambiente promedio (zona Tumbaco)	17.62 °C
Caudal de agua en la vivienda	0.07 [l/s]
Latitud	0°13'56.25"S

Tabla 13. Parámetros obtenidos del usuario

Requerimientos del usuario	
Número de personas	2
Temperatura salida del sistema	30 °C a 45 °C
Volumen de agua per cápita (lt/persona)	50 l
Zonas de consumo	Baño, Cocina
Tiempo máximo de consumo por persona (baño)	15 min.

Para la instalación de un sistema de calentamiento de agua se determinó los requerimientos del usuario detallados en la Tabla 13. Los parámetros y factores externos (Tabla 12) fueron determinados para la parroquia de Pifo en Cantón Quito – Ecuador.

5.2 ANÁLISIS DE LA SIMULACION Y SELECCION DEL MATERIAL

La Figura 68 corresponde al material utilizado en la construcción (PVC) y muestra la ganancia de calor que alcanza el fluido de aproximadamente 4º a lo largo del tubo de 2 metros de longitud, este cálculo se lo realizo a 300 iteraciones con una radiación de 415 W/m².

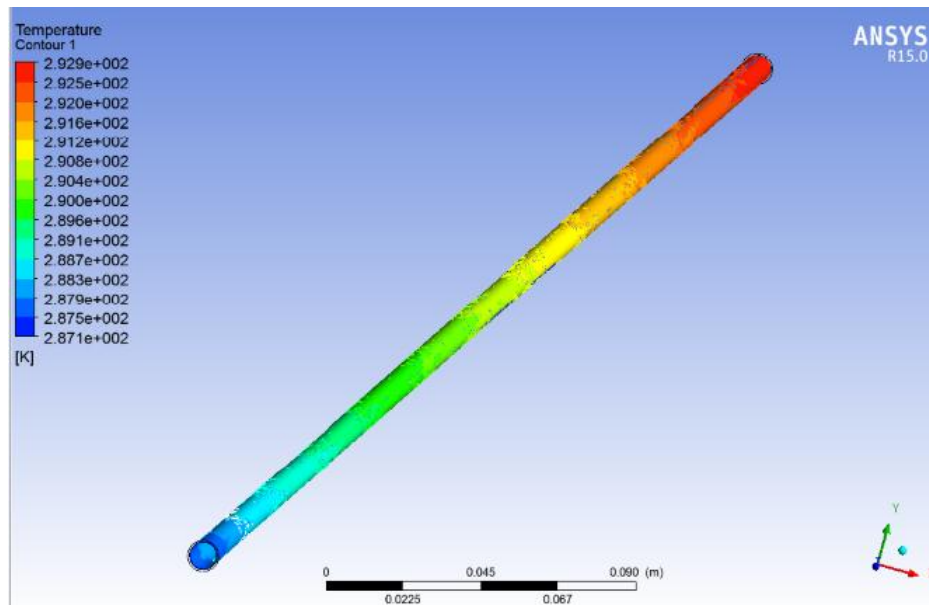


Figura 68. Salto térmico Tubo de PVC entrada vs salida

En la parte de diseño, en la Figura 47 se puede observar que la temperatura de la manguera de caucho es aproximadamente de 300 K en la superficie de la manguera y 294 K en la parte interna de la manguera en condiciones ambientales normales, mientras que en la Figura 49 se puede observar que la manguera de PVC alcanza una temperatura de 296 K en todo el espesor. Se puede concluir que el espesor y el coeficiente de conductividad térmica influyen en el tiempo de transferencia de calor hacia el fluido.

La selección del PVC como material para la construcción del proyecto se sustenta en factores como: la capacidad del material de mantener una temperatura constante en todo su espesor, el tiempo que tarda en transmitir el calor ganado por el material hacia el fluido que generalmente va en función del espesor y una relación costo-beneficio, es decir, ganancia de calor vs el

costo de cada material.

Las características del material seleccionado para la construcción de la placa colectora se detallan en la Tabla 14.

Tabla 14. Características del material seleccionado

PVC Reciclado	
Diámetro interno de la tubería PVC	8 mm
Diámetro externo de la tubería PVC	9 mm
Longitud	2000 mm
Espesor	1 mm
Densidad del PVC flexible	1290 [kg/m ³]
Calor específico	1600 [j/kg*k]
Conductividad Térmica	0.16 [w/m*k]
Costo por metro lineal (dólar)	\$ 0.35

5.3 DIMENSIONAMIENTO

El Sistema para suministro de ACS en su arquitectura consta de tres partes fundamentales: Tanque o acumulador, placa colectora y sistema hidráulico. En la Tabla 15 se puede observar las dimensiones del sistema en cada una de sus partes.

Tabla 15. Dimensiones y características del colector

DIMENSIONES			
PLACA PLANA COLECTOR SOLAR	Largo	2060	mm
	Ancho	1100	mm
	Profundidad	150	mm
	Peso (vacío)	30	kg
	Superficie Bruta	2.84	m ²
	Superficie Absorbedor	2.09	m ²
TANQUE O ACUMULADOR	Largo	1500	mm
	Diámetro	500	mm
	Peso (vacío)	80	kg
	Presión	125	psi
	Entradas	1/2" y 3/4"	in
SISTEMA HIDRAULICO	Peso (vacío)	1/2" y 3/4"	in
	Entradas y salidas a la Red común	1/2"	in
	Entradas y salidas al colector	3/4"	in

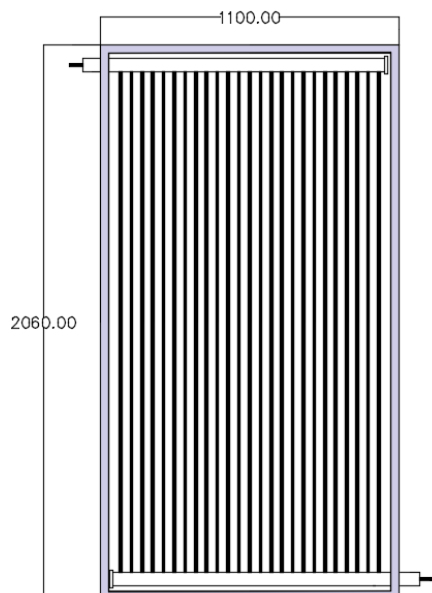


Figura 69. Dimensiones de la placa del Colector Solar

5.4 RENDIMIENTO DEL COLECTOR

En el NEC-11 define la producción energética de un colector utilizando los parámetros a partir de la curva de eficiencia del colector obtenida de acuerdo con la norma EN 12975, en la cual determina que para un colector de placa plana de doble cubierta se tiene una eficiencia teórica del 69% similar a la obtenida en el diseño del colector del presente proyecto con un 62.20%.

Los colectores solares existentes en el mercado de acuerdo a la Tabla 16 presentan amplios rangos de niveles de eficiencia (ver Anexo 7); va a depender del tipo de tecnología y la clase del material con los que estén fabricados. Al comparar la eficiencia de estos colectores con la obtenida del colector del presente estudio se puede concluir que el prototipo construido cumple con un nivel promedio de eficiencia similar a los colectores comerciales, además de tener una ventaja en el costo de fabricación e implementación.

Tabla 16. Colectores de placa plana disponibles en el mercado ecuatoriano

Colectores Solares de Placa Plana			
Modelo	Helioselec 234	Caliber 216/234	Heliocol HC-40
Eficiencia (%)	48	78	89
Dimensiones (mm)	2153 x 1093	2018 x 1000	3230 x 1200
Costo (dólar)	1950	2235	1620

5.5 IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE CONTROL

En la Figura 70 se observa las conexiones y ubicación de los diferentes componentes del sistema para suministro de ACS en la vivienda. Los cuales son controlados por tablero (TC) el cual es alimentado por el tablero eléctrico principal de la vivienda (TE). Desde el tablero (TC) se controla las electroválvulas (E1 y E2) y la resistencia eléctrica ubicada en el tanque (R1). Los sensores (I1) y el switch (I2) que son los encargados de enviar la señal cuando existe consumo en cualquiera de las áreas determinadas. En la parte de diseño se detalla la lógica de control para el funcionamiento de acuerdo a los parámetros establecidos por el usuario.

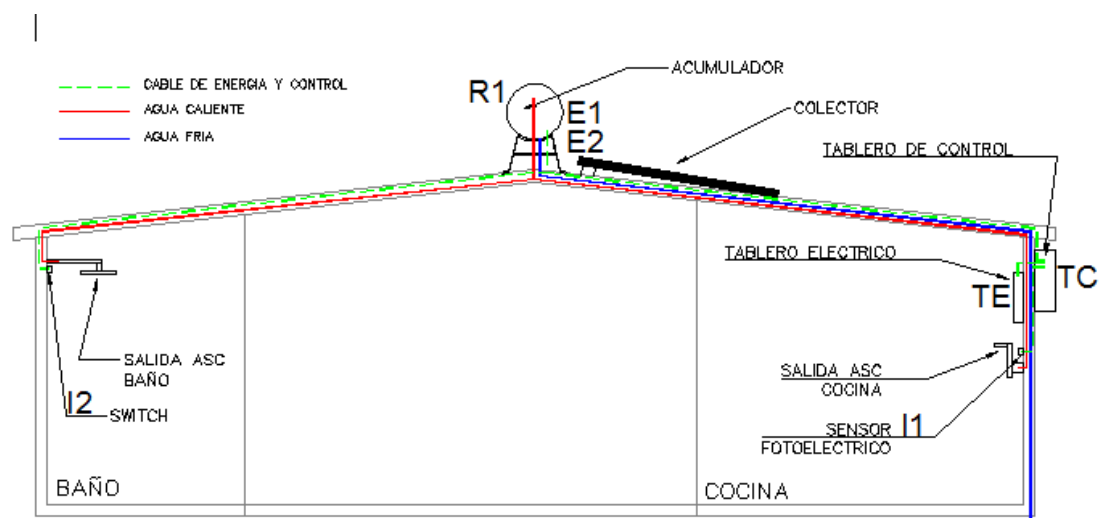


Figura 70. Distribución del equipo y conexiones dentro de la vivienda

En el Anexo 1 se detallan las características de cada uno de los elementos que componen el sistema de control.

5.5.1 FACTIBILIDAD DEL SISTEMA VS VALOR ECONÓMICO

La factibilidad del proyecto, el análisis y la viabilidad económica es un factor determinante. Es por eso que se pretende demostrar una solución amigable con el ambiente y sobre todo el uso de energías renovables.

Si se observa la Tabla 18 se puede observar que el costo de un colector utilizando este tipo de materiales resulta beneficioso a corto o mediano plazo dependiendo el área y uso que se lo vaya a dar.

Tabla 17. Materiales Construcción del Colector

Presupuesto un Colector Solar				
Material	Unidad	Cant.	Precio Unit.	Total
Acople Tubo-manguera 5/16 a 3/8 in	u	50	1.33	66.5
Manguera PVC reciclada 5/16 in	m	50	0.35	17.5
Tubería AC 1 in (tubo 6 metros)	m	1.9	4.33	8.23
Tapón 1 in	u	2	0.75	1.5
Abrazadera metálica 3/8 in	u	50	0.35	17.5
Sellantes y materiales varios	glob	1	8.4	8.4
Caja Colector Aluminio armada Incluye:				
1 recubrimiento de poliuretano	u	1	80	80
2 cubiertas de Vidrio				
1 Materiales varios				
Mano de Obra	glob	1	60	60
TOTAL				259.63

En la construcción del colector solar se contempla un rubro por mano de obra, siendo un prototipo inicial se considera un tiempo de fabricación de 8 horas con dos personas. Si se proyecta un proceso de industrialización y comercialización del colector es factible la reducción de costos en rubros como la manguera PVC determinando cierto espesor y diámetro que pueda resultar en un ahorro en elementos de conexión y resistencia del material, acoples para tubos secundarios, los cuales podrían ser fabricados de un material plástico reduciendo costos considerablemente, elementos del circuito hidráulico y mano de obra en general estableciendo procesos y tiempos de manufactura.

De igual manera en la Tabla 19 se detalla el presupuesto del sistema de control para el prototipo planteado en el estudio. Estos elementos también pueden ser remplazados por otro tipo de elementos y procesadores para una fabricación a mayor escala.

Tabla 18. Presupuesto del sistema para el control de suministro de ACS

Presupuesto Sistema de Control				
Material	Unidad	Cant.	Precio Unitario	Total
Electroválvulas 240V	u	2	16	32
Protecciones 20 A 2 bifásica	u	1	8.3	8.3
Actuador (sensor fotoeléctrico)	u	1	4.5	4.5
Cable Cu. para control 2x16 Awg	m	3	1.12	3.36
Cable Cu. para potencia 2x12 Awg	m	15	1.87	28.05
Elementos de conexión	glob	1	10	10
Fuente de poder	u	1	18.5	18.5
Gabinete liviano 60x60x20	u	1	35	35
PLC programable Logo	u	1	120	120
Contactador 220V bobina 8A	u	1	12.5	12.5
Módulo ATM2 Logo	u	1	80	80
Mano de obra e implantación	glob	1	40	40
TOTAL				392.21

En la Tabla 19 a continuación se puede constatar el presupuesto global de todo el sistema que fue el proyecto de estudio. Se considera todos los rubros, construidos en el proyecto y los seleccionados de fabricantes en el mercado, por tal razón solo se contempla un rubro de instalación.

Tabla 19. Presupuesto Global del sistema solar

Presupuesto Sistema Colector Solar				
Material	Unidad	Cant.	Precio Unit.	Total
Caja Colector Aluminio armada	u	1	259.63	259.63
Tanque Acumulador 120 litros	m	1	275	275
Soporte Metálico para Tanque	u	1	30	30
Materiales hidrosanitarios acometidas	glob	1	68.2	68.2
Sellantes y materiales varios	glob	1	4.4	4.4
Sistema de control	glob	1	352.21	352.21
Instalación	glob	1	100	100
TOTAL				1089.44

Generalmente los sistemas fabricados con materiales plásticos son utilizados

para el calentamiento de piscinas y los sistemas con materiales como el cobre son utilizados para consumo interno de una vivienda.

El prototipo está diseñado para abastecer la demanda de la vivienda por tal razón comparando con un sistema de las mismas características fabricado en cobre su valor es aproximadamente de \$1500 (mil quinientos dólares) a \$2000 (dos mil dólares). Si se compara con los valores obtenidos en la Tabla 20 existe un ahorro aproximado del 25% hasta el 50% amortizando la inversión inicial dependiendo de la tecnología del colector.

Se debe considerar que este tipo de proyectos no buscan necesariamente una retribución de capital a corto o mediano plazo, también existe factores de carácter ambiental o social para el caso concreto de las energías renovables no convencionales.

El uso de materiales fósiles en el Ecuador aún resulta económico y de fácil acceso, pero esto depende de variables socio-económicas que pronto se verán afectadas con una legislación tan cambiante y el cambio de matriz productiva que impulsa el Estado.

5.6 PRUEBAS Y ANALISIS

Las pruebas se realizaron de acuerdo a la metodología planteada logrando obtener los siguientes datos.

5.6.1 RESULTADOS DE LA VARIACION DE TEMPERATURA EN EL COLECTOR

Se realizaron las pruebas durante un lapso de 20 días, periodo en el cual se obtuvo los siguientes datos detallados en la Tabla 20.

Como resultado se observa que el fluido alcanza un salto térmico con un valor promedio de 23.4°C. La variación máxima de temperatura se produjo el instante que se registraron los más altos niveles de radiación como se puede observar en el Anexo 8 en cada uno de los días.

Tabla 20. Variación de Temperatura en el colector en un periodo de 20 días

ANÁLISIS SALTO TERMICO DEL COLECTOR			
FECHA	Ti (S2)	Tf (S3)	AT
5-Apr	18.0	43.5	25.5
6-Apr	17.0	43.0	26.0
7-Apr	28.0	51.0	23.0
8-Apr	26.5	43.5	17.0
9-Apr	26.0	47.5	21.5
10-Apr	25.0	48.5	23.5
11-Apr	26.0	47.5	21.5
12-Apr	26.0	54.0	28.0
13-Apr	32.0	50.5	18.5
14-Apr	27.5	52.5	25.0
15-Apr	23.5	47.5	24.0
16-Apr	19.5	43.0	23.5
17-Apr	24.0	49.5	25.5
18-Apr	29.0	57.5	28.5
19-Apr	25.5	48	22.5
20-Apr	20.5	42.5	22.0
21-Apr	24.5	49	24.5
22-Apr	21.5	47.7	26.2
23-Apr	24	45	21.0
24-Apr	23	43	20.0
Máxima ganancia de calor			28.5
Mínima ganancia de calor			17.0
Promedio			23.4

En la Figura 71 se puede observar que la temperatura del fluido a la salida del colector.

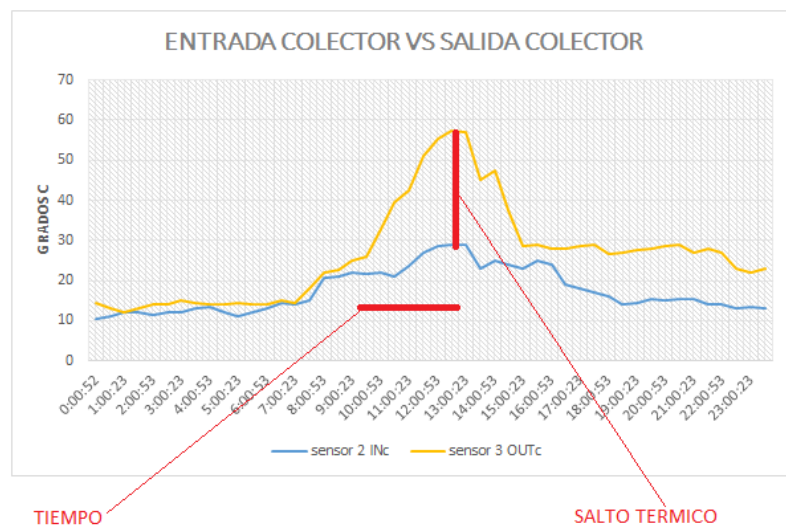


Figura 71. Ganancia de Calor del fluido en el Colector en función del tiempo

Fecha: 18/04/16

Alcanza un valor máximo de 57°C con una radiación incidente de 1034 W/m² (Anexo 7), es decir existe un salto térmico de aproximadamente 28°C en un tiempo aproximado de 3 a 4 horas. Si se observa la curva la pendiente es muy elevada, se puede deducir que existe una transferencia de calor acelerada por el tipo de material que se empleó en la construcción del colector.

Si se observa la Figura 72 corresponde a la salida de agua caliente de todo el sistema, es decir la temperatura del agua a la salida del tanque. El sistema alcanza una temperatura de 47°C, es decir existe una reducción de la temperatura del fluido debido a que en el tanque se mezcla con el agua fría que ingresa de la red. Sin embargo, está dentro de los parámetros requeridos por el usuario.

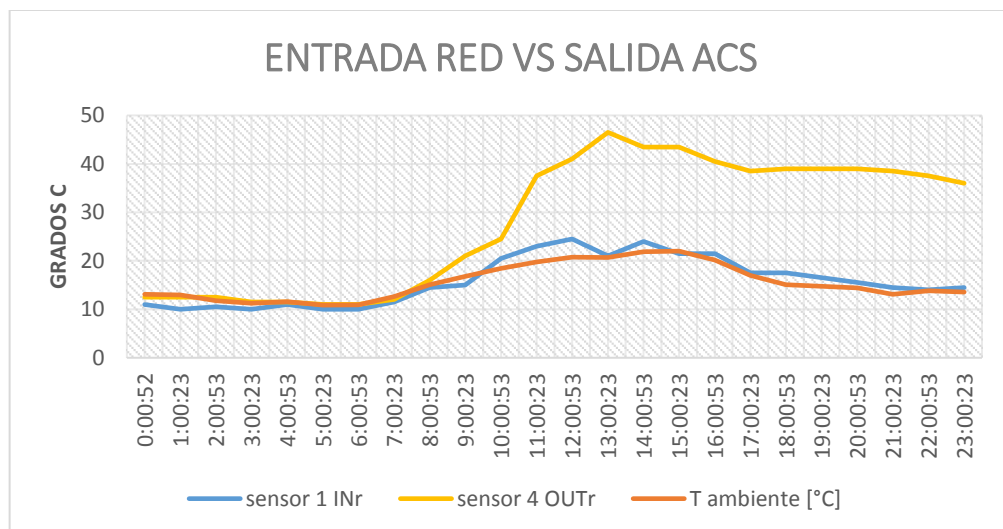


Figura 72. Ganancia de Calor del fluido en el Sistema

Fecha: 18/04/16

5.6.2 AUTONOMÍA DEL SISTEMA

En la figura 73 se observa que la temperatura del sensor 1 sube de forma paralela a la curva del sensor 4, esto se debe a que el sensor 1 está ubicado posterior a la electroválvula y el momento que se encuentra cerrada hay una recirculación de agua por el efecto de termosifón.

En el punto C se observa que baja la temperatura abruptamente debido a la entrada de agua de la red a una temperatura de 14°C. Desde el punto A hasta B existe un periodo de consumo constante, es decir, entra agua fría al tanque

por lo que va enfriando el agua de todo el sistema. Este periodo se lo va a denominar tiempo de autonomía, aproximadamente de 35 a 40 minutos en un rango de temperatura que desciende entre los 37 y 30 °C.

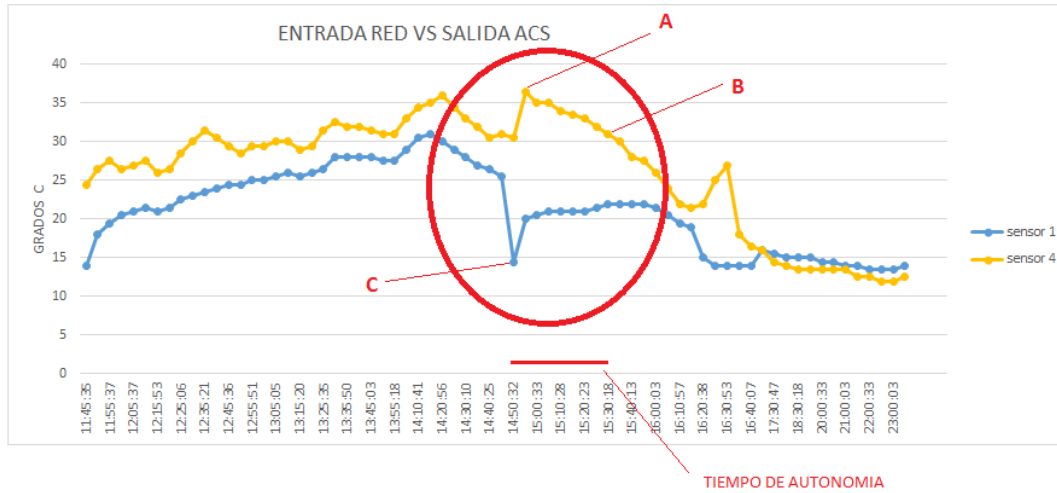


Figura 73. Comportamiento del sistema en momento de consumo de ACS

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Se logró la construcción de un colector con material Plástico de alto rendimiento que pueda soportar los diferentes factores climáticos como cambios de temperaturas severos.

La simulación en Ansys permitió observar el comportamiento del material al estar expuesto a la radiación solar, determinando la ganancia de calor que obtiene el fluido en función de las propiedades físicas y térmicas del material.

El resultado de la simulación determina que la manguera de caucho llega a un mayor salto térmico (+2 °C) en comparación que el PVC, debido a la conductividad térmica del material. Sin embargo, el espesor del material influye directamente en la transferencia de calor al fluido ya que las paredes internas del material no logran alcanzar la temperatura de la superficie por ende demora más tiempo en calienta el fluido.

Se comprobó el principio de que a mayor superficie de contacto corresponde mayor transferencia de calor, es decir si el diámetro interno es muy grande el caudal de agua aumenta y el calor transmitido es menor mientras que si los tubos son de menor diámetro existe una mayor transferencia de calor uniforme a todo el fluido.

La tubería PVC se utilizó principalmente por su bajo costo en comparación con los tubos de cobre, que son los que se emplean en un calentador solar de placa plana. La selección se fundamenta en que a pesar de que el PVC tiene un bajo coeficiente de conductividad térmica (0,16 W/m K), en comparación con la del cobre (401 W/m K), lo que podría resultar en una baja eficiencia, pero también a la vez podría comportarse como un aislante térmico una vez que el fluido ya se calentó lo que permite una reducción de pérdidas el momento que no exista radiación solar.

Se comprobó que un colector de placa plana con cubierta ayuda a la formación

del efecto invernadero evitando pérdidas por la temperatura ambiente y factores como la lluvia y el viento. Además, protege a los tubos o mangueras de un deterioro acelerado.

El aislamiento del tanque en sus paredes y fondo es indispensable para conservar la temperatura en el interior del colector, también ayuda a la formación del efecto invernadero, ya que por las noches los niveles de temperatura y radiación son bajos o nulos.

Un sistema Termo Solar con acumulador va a tener una autonomía solar que depende de la radiación solar del día y del volumen de almacenamiento del tanque, es por eso que requieren sistema de apoyo cuando la calidad de sol es mínima y el consumo haya superado su capacidad de almacenamiento.

De acuerdo al modelo matemático empleado los niveles de eficiencia del colector teóricos son similares a los sistemas que existe actualmente en el mercado además que contempla pérdidas en todas las partes del colector, así mismo relaciona constantes térmicas de cada material ya sea de la cubierta, aislante y material por la cual se conduce el fluido en este caso PVC Flexible reciclado.

El uso de PVC reciclado abarata costos de fabricación del colector ya que le costó por metro es del 10% del valor por metro de una tubería de cobre.

Al implementar las electroválvulas en la entrada y salida del sistema se tiene controlada la presión del sistema ya que la misma presión de entrada al sistema es la misma presión de salida de consumo.

Al utilizar una configuración de tipo parrilla el mantenimiento es más sencillo ya que de existir fugas o daños en la manguera se procede a reemplazar solo el conducto con falla sin tener que sacar todo o parte del sistema.

De acuerdo a las gráficas y pruebas realizadas el tiempo que demora el colector en calentar todo el fluido almacenado en el acumulador es aproximadamente de 2 a 3 horas dependiendo de los niveles de radiación y época del año.

RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso de vasos de expansión o válvulas de alivio dentro del sistema ya que cuando existe poco o nulo consumo y niveles de radiación elevados el fluido comienza a convertirse en vapor expandiendo sus moléculas y generando mayor presión en el tanque o en el colector.

Para que un sistema por termosifón tenga un correcto funcionamiento es necesario que todo el sistema funcione como circuito cerrado es decir no deben existir fugas en el tanque, colector y acometidas.

Es necesario la colocación de llaves de paso manuales a la entrada y salida del tanque hacia el colector, ya que por mantenimiento o daño en el colector sea posible la reparación sin la pérdida de todo lo almacenado en el tanque. Se requiere un tipo de soporte eléctrico ya que al ser un sistema automatizado que requiere energía eléctrica para su funcionamiento.

No se recomienda el uso de válvulas anti retorno y demás válvulas que puedan impedir el paso desde el tanque al colector y viceversa ya que es un sistema que funciona por termosifón.

Para un suministro constante (ducha) se recomienda la instalación de un interruptor ON/OFF para evitar el corte constante con un sensor fotoeléctrico. Se recomienda el mantenimiento preventivo visual cada 3 meses ya que al ser un sistema con manguera plástica pueden existir fugas por la cristalización del material.

BIBLIOGRAFIA

- Abal, G. (2012). Fundamentos de Energía Solar. Montevideo: Universidad de la Republica.
- Ackuritlabs, I. (2016). Obtenido de <http://www.ackuritlabs.com/vulcan-water-treatment/>
- Aragónes, J. B. (2012). Sensores de temperatura. Obtenido de http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/LSED/2003-04/0.Sens_Temp/ARCHIVOS/SensoresTemperatura.pdf
- Bacalla, Q. R.-J. (1999). PRODUCCIÓN AUTOMATIZADA SISTEMAS CAD/CAE/CAM. Obtenido de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v02_n1/produccion.htm
- Bellver. (16 de Noviembre de 2014). Erenovable. Obtenido de <http://erenovable.com>
- Bustos, R. P. (13 de Noviembre de 2014). LEGALIZACIÓN DE INSTALACIONES TERMICAS. Obtenido de <https://solartermicabajatemperatura.wordpress.com/author/raulpalomino/>
- Calles, J. (02 de ABRIL de 2012). Consumo de agua en la ciudad de Quito. Obtenido de EL AGUA CALIENTE EN EL ECUADOR: <http://agua-ecuador.blogspot.com/2012/04/consumo-de-agua-en-la-ciudad-de-quito.html>
- Ceasur. (2006). ENERGÍA SOLAR TÉRMICA. Obtenido de http://ceasur.net/prod_energiasolar.html
- CENSOLAR. (2012). La energía solar. Obtenido de Una energía garantizada para los próximos 6000 millones de años: <http://www.censolar.es/menu2.htm>
- Ceron, J. F. (2012). Análisis del mecanismo de transferencia de calor en colectores solares térmicos y de la influencia de las condiciones de contorno.
- Chiriboga, P. J. (2009). EVALUACION DE LAS ENERGIAS RENOVABLES NO CONCENCIONALES FACTIBLES A DESARROLLARSE EN EL ECUADOR.
- CONELEC. (2008). Atlas Solar del Ecuador con fines de generación Eléctrica.
- Cora Placco, Luis Saravia, Carlos Cadena. (2012). INENCO, UNSa – CONICET. Obtenido de COLECTORES SOLARES PARA AGUA CALIENTE: http://www.inti.gob.ar/e-renova/pdf/colectores_solares_aguacaliente.pdf
- Diaz, V. (2007). El cielo del mes. Obtenido de http://www.elcielodelmes.com/Curso_iniciacion/curso_1.php#18
- Energía, S. d. (2007). Energías Alternativas. Obtenido de <http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=33>
- Escoda, S. (2011). Manual Técnico Energía Solar Térmica. 4 edición. Barcelona, España.
- España, M. y. (1999). Legionelosis: medidas de prevención y control en

- instalaciones de suministro de agua.
- Fauroux, L. E. (2013). Diseño y Análisis de Colectores Solares Planos”. Obtenido de Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas, Instituto de Medio Ambiente:
http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2013/trabajos/COA05_TC.pdf
- FotoHogar. (septiembre de 2014). El Sistema Fotovoltaico. Obtenido de <https://fotohogar.wordpress.com/que-es-un-sistema-fotovoltaico/>
- García, D. S. (2012). CÁLCULO, DISEÑO Y ANÁLISIS DE UNA CENTRAL TERMOSOLAR DE COLECTORES CILÍNDRICO. Leganes.
- García, J. F.-A. (2016). MÉTODO DE LOS FACTORES PONDERADOS. Obtenido de https://campusvirtual.ull.es/ocw/pluginfile.php/5075/mod_resource/content/1/Problemas/Met-Local-Ponderado-ejemplo.pdf
- Grossi, R. K. (2012). Handbook of Elastomers (EPDM Rubber Technology).
- Hissuma. (2016). Hissuma Materiales. Obtenido de <http://www.hissuma-materiales.com.ar/energia-solar-y-eolica/termotanque-solar/accesorios/kit-electrico-de-calentamiento-resistencia-de-2-kw-y-termostato-para-termotanque-solar/>
- HUELMO, D. (s.f.). ENERGIA SOLAR USO EN INDUSTRIAS DE PROCESOS. Obtenido de <https://www.fing.edu.uy/iq/cursos/qica/industria/EERR-Solar.pdf>
- Industrial, T. (2016). Sensor E18-D80NK. Obtenido de <http://www.tcsindustrial.com/>
- Jager, L. E. (2013). Diseño y Análisis de Colectores Solares Planos.
- JQ, I. (2013). Plásticos de Ingeniería. Obtenido de <file:///C:/Users/laptop/Dropbox/TESIS/PVC%20-%20Propiedades.html>
- JULIÁN, C. C. (2014). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE ENERGÍA PRODUCIDA POR UN COLECTOR SOLAR PLANO. Latacunga: ESPE.
- Leon, J. D. (2002). Energía solar Térmica Manual del proyectista.
- Ligero. (14 de enero de 2013). ENERGÍA SOLAR TÉRMICA. Superestrato de la Ciencia. Obtenido de <https://laelectricidad.wordpress.com/tag/captacion-de-la-energia-solar/>
- Maps, G. (2016). Google Maps. Obtenido de <https://www.google.com.ec/maps/place/E28C/@-0.2310722,-78.3421084,247m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x91d594f89e5d6b9d:0x2721081741ad031f!8m2!3d-0.240639!4d-78.3301806>
- Martínez, P. (2010). Energía Solar Térmica: Técnicas para su aprovechamiento. Barcelona: MARCOMBO S.A.
- Masco, J. F. (2010). Modelamiento Experimental del Intercambiador de Calor de Tubos y. Lima: Creative Commons.
- Massardo, D. S. (2012). ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA SOLAR TÉRMICO EN EL BARRIO SAN VALENTÍN, COMUNA DE LO PRADO. Obtenido de http://fisica.usach.cl/sites/fisica/files/tesis_denisse_quinteros_massardo.pdf
- NEC-10. (2011). COMITÉ EJECUTIVO DEL CODIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN. ENERGÍA RENOVABLE. QUITO, ECUADOR.

- NEC-11. (06 de 04 de 2011). Comité Ejecutivo de la Norma de Ecuatoriana de la construcción. Obtenido de <http://documents.tips/documents/cap14-energia-renovables.html>
- Nergiza. (02 de marzo de 2015). Sistema Solar por Termosifon. Obtenido de <http://nergiza.com/sistema-solar-por-termosifon-que-es-y-como-funciona/>
- Perez, M. J. (2016). Quieres instalar paneles solares? Aprende a diferenciarlos. No son todos iguales. Obtenido de <http://aparejadorencoruna.com/instalar-paneles-solares/>
- Prados, N. C. (2007). Invernaderos de plástico: tecnología y manejo. Mundi-Prensa Libros.
- Quito, S. d. (2016). Datos Meteorológicos. Quito: Secretaria del Ambiente.
- Ramirez, K. L. (06 de Julio de 2008). Sistema híbrido eólico-fotovoltaico (SHEFV) de baja potencia. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos61/sistema-hibrido-eolico-fotovoltaico/sistema-hibrido-eolico-fotovoltaico2.shtml>
- Robin, M. A. (22 de octubre de 2014). BUENOS AIRES, ENERGÍA SOLAR TÉRMICA, ENERGÍAS RENOVABLES. Obtenido de <https://marcelorobin.wordpress.com/category/energia-solar-termica/page/3/>
- Ruiz, A. (2014). ENERGIA SOLAR TÉRMICA I. Madrid: Gener. Obtenido de ENERGIA SOLAR TÉRMICA I.
- San Jose, C. (2009). Manuales sobre energía renovable Solar. Mexico D.F.: Oceano.
- Sevilla, U. d. (2007). Dispositivos hidráulicos auxiliares. Obtenido de http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%206.%20Elementos%20auxiliares/page_05.htm
- Siemens. (2016). LOGO!: The leading logic module. Obtenido de <http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/logic-module-logo/pages/default.aspx>
- Solarweb. (s.f.). Energía Solar Térmica. Obtenido de <http://www.solarweb.net/solar-termica.php>
- Tony. (15 de abril de 2016). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_fotoel%C3%A9ctrico
- Tous, M. R. (2009). Energía solar térmica de baja temperatura. Ediciones CEAC.
- Urbanismo, M. d. (2012). MANUAL SISTEMAS SOLARES TERMICOS.
- Vasquez, S. G. (2003). DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/miscela/iDisenocalenta.pdf>
- Viloria, J. R. (2012). Estudios de viabilidad de instalaciones solares. Determinación del potencial solar. Editorial Paraninfo.
- Vintimilla, W. F.-J. (2011). Análisis de factibilidad técnica y económica en la implementación de energía fotovoltaica y termo solar para generación de electricidad y calentamiento de agua mediante paneles solares fijos y con un seguidor de sol de construcción casera, para una vivienda. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/681>

7. ANEXOS

Anexo 1.

Características de los elementos del sistema de control

Electroválvula	
Voltaje	240 V AC
Corriente	200 mA
Presión máx.	0.8 Mpa
Estado Inicial	N/C
PLC LOGO	
Voltaje	12/24 V DC
Corriente max.	5A.
Entradas	8 digitales
Salidas	4 relés 10A
Módulo AM2 RTD	
Voltaje	12/24 V DC
Entradas	2 PT100 (-50 a 200) °C
Sensor Fotoeléctrico	
Voltaje	5 V DC
Corriente	100 mA
Rango de detección	3-80 cm
Manómetro	
Capacidad	120 PSI
Resistencia Eléctrica	
Voltaje	110 V
Potencia	1500 W
Contactor	
Tipo	Bifásico
Voltaje Bobina	110V/240V
Corriente Bobina	8A
Corriente de paso	32A

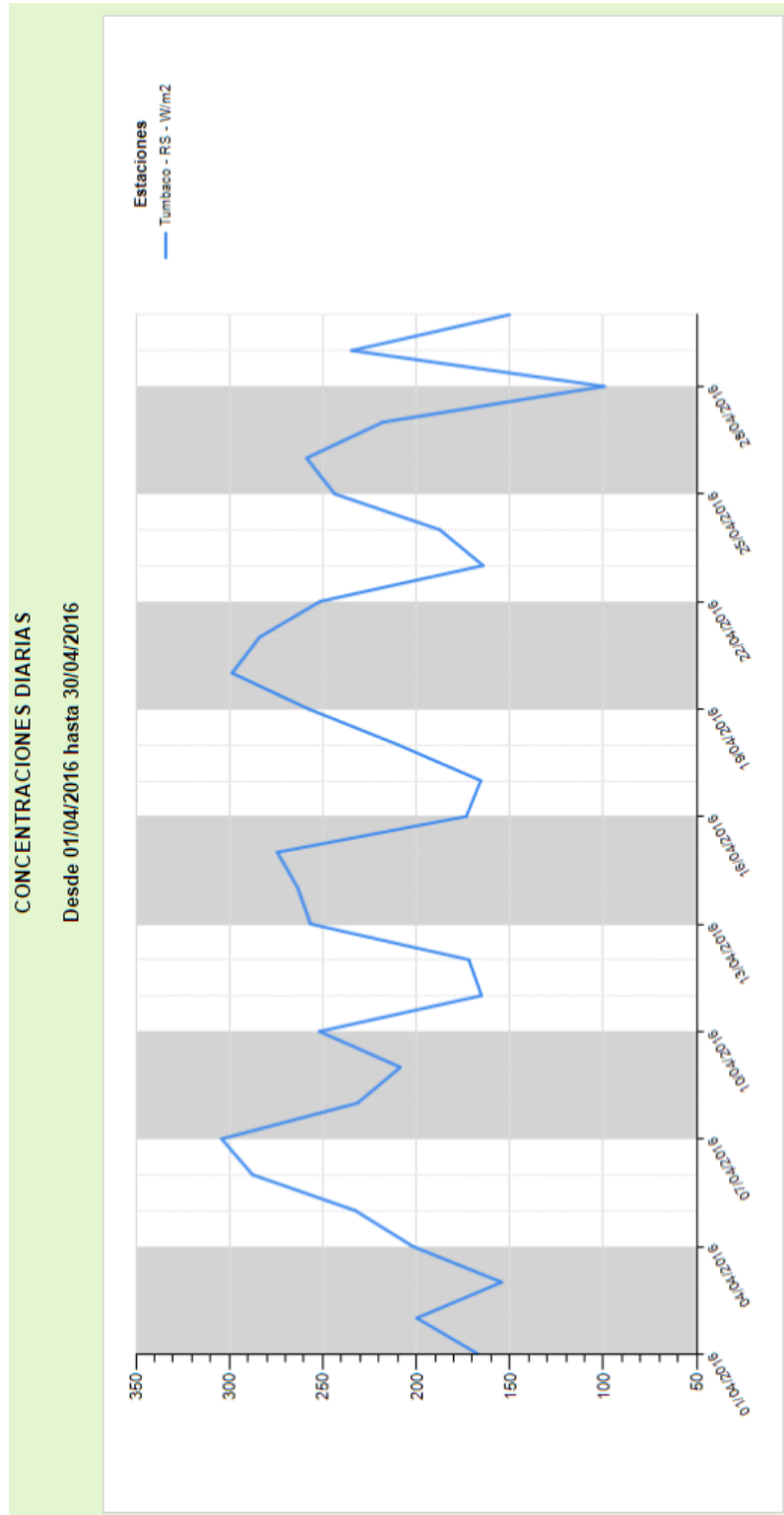
Anexo 2.

Inclinación de 10° del techo de la vivienda



Anexo 3.

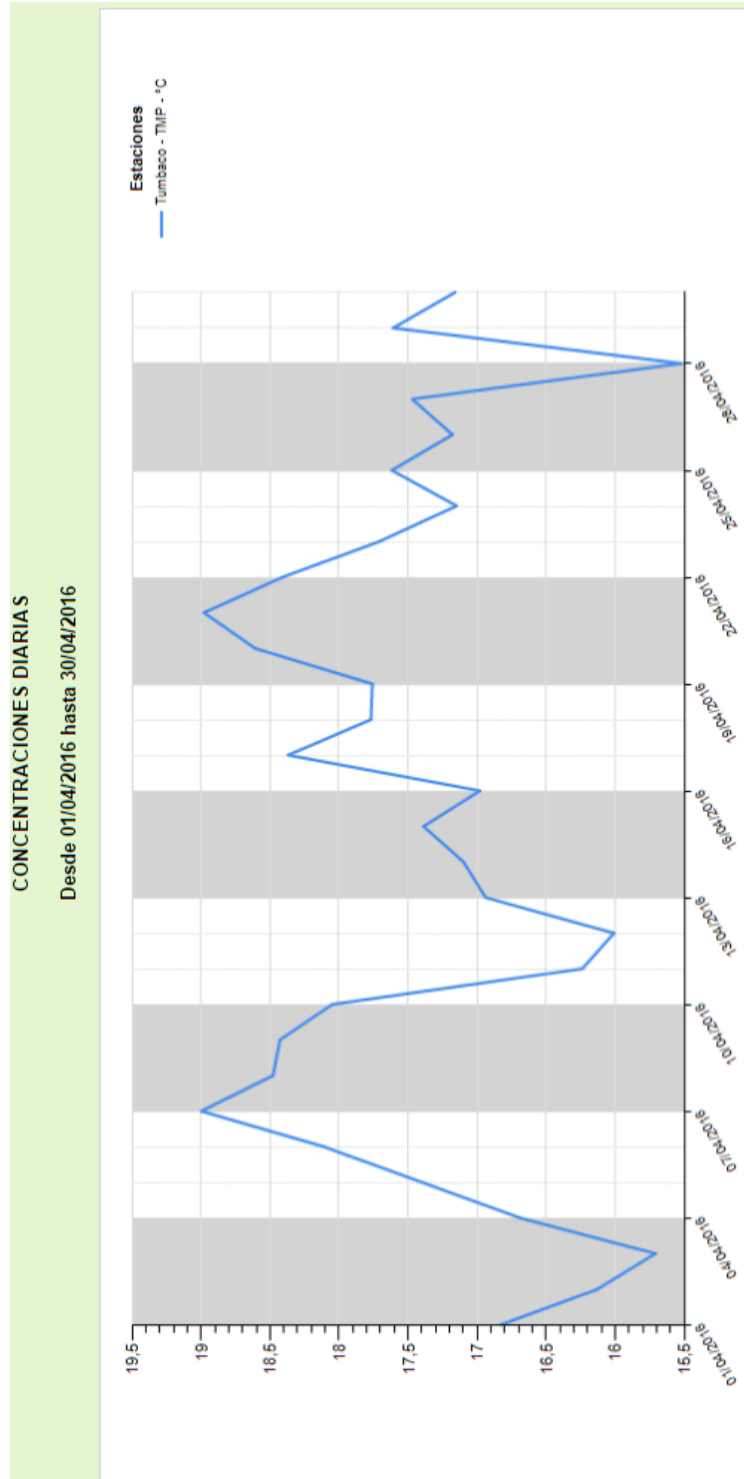
Valores de radiación promedio diaria para el mes de abril



(Quito, 2016)

Anexo 4.

Valores de temperatura ambiente promedio para el mes de abril



(Quito, 2016)

Anexo 5. Tabla de Propiedades del PVC

PVC		DATOS TECNICOS		
POLICLORURO DE VINILO RIGIDO (NO PLASTIFICADO)				PVC - U
PROPIEDADES MECANICAS A 23°C	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
PESO ESPECIFICO	gr/cm ³	D-792	53479	1.45
RESIST. A LA TRACC.(FLUENCIA / ROTURA)	Kg/cm ²	D-838	53455	550 / --
RES. A LA COMPRESION (1 Y 2 % DEF)	Kg/cm ²	D-895	53454	170 / 300
RESISTENCIA A LA FLEXION	Kg/cm ²	D-790	53452	700
RES. AL CHOQUE SIN ENTALLA	Kg.cm/cm ²	D-256	53453	NO ROMPE
ALARGAMIENTO A LA ROTURA	%	D-838	53455	> 20
MODULO DE ELASTICIDAD (TRACCION)	Kg/cm ²	D-838	53457	31000
DUREZA	Shore D	D-2240	53505	80 - 83
COEF. DE ROCE ESTATICO S/ACERO		D-1894		--
COEF. DE ROCE DINAMICO S/ACERO		D-1894		--
RES. AL DESGASTE POR ROCE				MALA
PROPIEDADES TERMICAS	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
CALOR ESPECIFICO	Kcal/Kg.°C	C-351		0.28
TEMP. DE FLEXION B/CARGA (18.5Kg/cm ²)	°C	D-848	53461	55
TEMP. DE USO CONTINUO EN AIRE	°C			-15 a 60
TEMP. DE FUSION	°C			150
COEF. DE DILATACION LINEAL DE 23 A 100°C	por °C	D-896	52752	0.00011
COEF. DE CONDUCCION TERMICA	Kcal/m.h.°C	C-177	52612	0.22
PROPIEDADES ELECTRICAS	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
CONSTANTE DIELECTRICA A 60 HZ		D-150	53483	3.2 - 3.6
CONSTANTE DIELECTRICA A 1 KHZ		D-150	53483	3.0 - 3.3
CONSTANTE DIELECTRICA A 1 MHZ		D-150	53483	2.8 - 3.1
ABSORCION DE HUMEDAD AL AIRE	%	D-570	53472	0.05 a 0.4
RESISTENCIA SUPERFICIAL	Ohm	D-257	53482	> 10 a la 13
RESISTENCIA VOLUMETRICA	Ohms-cm	D-257	53482	> 10 a la 15
RIGIDEZ DIELECTRICA	Kv/mm	D-149		12
PROPIEDADES QUIMICAS	OBSERVACIONES			
RESISTENCIA A HIDROCARBUROS	DEFICIENTE			
RESISTENCIA A ACIDOS DEBILES A TEMP.AMBIENTE	MUY BUENA			
RESISTENCIA A ALCALIS DEBILES A TEMP.AMBIENTE	MUY BUENA			
RESISTENCIA A PROD. QUIMICOS DEFINIDOS	CONSULTAR			
EFFECTO DE LOS RAYOS SOLARES	ALGO LO AFECTAN			
APROBADO PARA CONTACTO CON ALIMENTOS	SI			
COMPORTAMIENTO A LA COMBUSTION	ARDE CON DIFICULTAD			
PROPAGACION DE LLAMA	AUTO EXTINGUIBLE			
COMPORTAMIENTO AL QUEMARLO	SE ABLANDA Y DESCOMPONE			
COLOR DE LA LLAMA	AMBAR CON BORDE VERDE			
OLOR AL QUEMARLO	CLORO			

(JQ, 2016)

Anexo 6.

Propiedades del Caucho EPDM

10 Cauchos / Cauchos / Etileno propileno dieno monómero (EPDM) / Etileno propileno dieno monómero (EPDM)

Materiales	ρ	λ	C_p	μ
Genérico	1150	0.25	1000	6000

ρ : Densidad, en Kg/m³

λ : Conductividad térmica, en W/m·K

C_p : Calor específico, en J/Kg·K


μ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua, adimensional

Catálogo de Caucho EPDM (Elaplast)

Anexo 7.

Ficha Técnica de Sistemas ACS en el mercado

Características Únicas del Helicoal



- Tecnología de Inyección de Sobremoldeado**
Proceso de inyección único que conecta los tubos verticales al colector para crear un panel que es inherentemente una pieza única de aluminio.
- Diseño de los Tubos Individuales**
Minimizan los efectos del viento sobre el panel y crea una extraordinaria estabilidad mecánica.
- Barros Espaciadores**
Evitan la dilatación del panel con el tiempo y la abrasión de los tubos verticales debido a la expansión térmica del panel.
- Estructura Modular**
Permite una conexión rápida y firme entre paneles, para crear cualquier área de absorción deseada sobre cualquier tipo de techo.
- Forma Cilíndrica**
Todas las partes son redondeadas, un ángulo vivo, o lo que evita la concentración de tensiones o el riesgo de resacas o otras presiones.
- Material Especialmente Formulado**
Producido en laboratorios autorizados de demostrada estabilidad frente a los efectos de una radiación UV continua, condiciones meteorológicas severas y arroyamientos.
- Finizas Cocodrilo**
Muestran finalmente el panel o cualquier tipo de techo con una intensa penetración.

Dimensiones y Parámetros de Diseño

Tipo de Colectores	HC-38 127112	HC-40 127113	HC-38 127108	HC-38 127109
Nº. Colectores	12	12	12	12
Longitud	3,25	3,25	2,82	2,51
Ancho	1,2	1,2	1,2	1,2
Superficie	3,90	3,96	3,50	3,23
Peso " seco "	9	9	8,2	6,8
Capacidad	14,4	15,7	13,4	11
Peso "Humedo"	24	26,5	23,2	19,8
Nº. de Espaciadores	12	10	9	7
Peso de Área Útil	3,26	3,3	3,3	3,7
Res. Máxima de Flujo	1000	900	900	700

Certificación de Corcho con Productos Alimenticios y Agua Potable
El polipropileno está certificado para ser usado con agua potable de acuerdo con el estándar estadounidense NSF-61, y el aluminio D/DVA-40270 y para contacto con productos alimenticios según la especificación del estándar ruso KAV4817041 y el británico S1000-3182.

Índice de Rendimiento de F.S.E.C y Producción Diaria de Energía

Temperatura del Agua	HC-38	HC-40	HC-38	HC-38
33°C (91°F)	43,68	46,69	41,00	37,00
35°C (95°F)	46,10	48,80	43,80	39,50
Medio 50°C (122°F)	47,40	50,50	45,50	41,00

Gráfico de Eficiencia y Ecuaciones del Colector
Permitido por F.S.E.C. según la norma ASHRAE 94 (1985)

$\eta = 0,878 - 0,022 (T_m - T_a) / I$ $\eta = 0,777 - 0,016 (T_m - T_a) / I$
 Unidades de $(T_m - T_a) / I$ son $[F^2 / C^2 / W/m^2]$
 $\eta = 0,878 - 0,022 (T_m - T_a) / I$ $\eta = 0,777 - 0,016 (T_m - T_a) / I$
 Unidades de $(T_m - T_a) / I$ son $[C^2 / F^2 / W/m^2]$

Estabilidad Mecánica

Temperatura del Agua	30	40	60
Presión de Operación Máxima (bar)	8	104	149
Resonancia	9	6	4
Presión de Flujo	100	100	80
	100	100	14
	300	200	200

¿Cómo Trabaja el Colector Solar?

- A través de una válvula motorizada controlada, la bomba de la piscina, ya existente, lleva el agua al Sensor Solar. Mediante los bombas de las placas existentes, el agua es dirigida a los colectores solares a través de una válvula motorizada controlada.
- El agua de la piscina ingresa a los colectores solares por la parte inferior y llega a la parte superior a través de los tubos individuales del colector.
- La energía solar calienta el agua a medida que fluye a través de los colectores.
- La Cámara de liberación/evacuación de aire protege al sistema de la congelación.
- Luego, el agua caliente regresa a la piscina, y si debe ser repite hasta que ha sido calentada suficientemente por el sol.
- El proceso de calentamiento solar es totalmente automático, utilizando un sensor de temperatura y un controlador diferencial.

Gráfico de Eficiencia de Helicoal

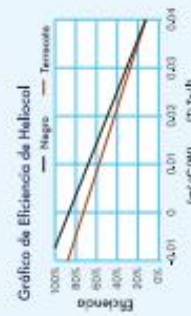
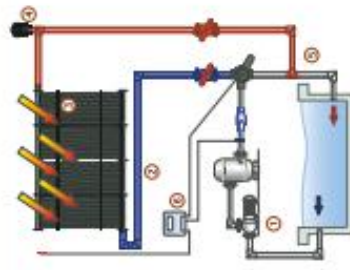


Gráfico de Eficiencia de Helicoal



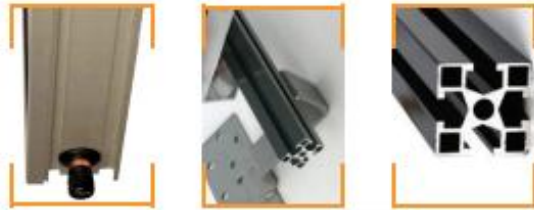
Caliber 216/234

Flat Panel

Il Caliber è un collettore solare di alta qualità, idoneo ad affrontare efficacemente condizioni particolarmente disagiate. Concepito in base agli stessi principi tecnici dell'Helioselect, il Caliber combina la qualità per un impiego proficuo e prestazioni tali da poter reggere al confronto, nella fase di svolgimento dei test, con molti collezionatori industriali del nostro settore, riuscendo persino a superarli.

Il Caliber si presenta robusto e resistente; ecco le specifiche tecniche di questo collettore: isolamento a base di lana di roccia ad alta densità e lenta combustione, assorbitore ad alta selettività, piastra captante in vetro di massima sicurezza che contribuisce ad incrementare il rendimento del collettore ed, infine, sistema di controllo del microclima della parte interna, limitando così decisamente la condensazione ed agevolando conseguentemente la circolazione controllata dell'aria nel collettore.

Il collettore è stato sottoposto a duri test di rendimento e resistenza presso il prestigioso Istituto svizzero SPF (potete consultare il nostro sito per ulteriori dati e certificazioni). Il collettore Caliber è il frutto di molti anni di esperienza che ci vede partecipi in un gran numero di innovazioni tecnologiche nel settore dell'energia solare. Avvalendoci della nostra esperienza e delle nuove tecnologie, abbiamo creato un collettore su cui possiamo applicare con grande orgoglio il nostro marchio.



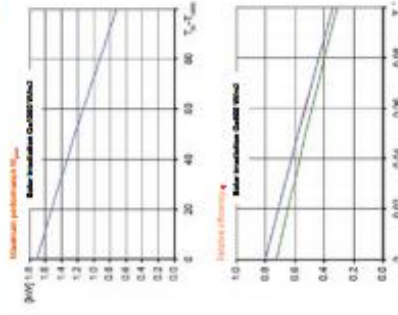
SPF Swiss solar collector independent testing laboratory
EMAC European Microclimate Assessment Centre
ENAC EN 12875-1:2003 Building Services
NSRF National Standards Authority of Ireland
SEAC Sustainable Energy Authority Ireland



Specificazioni:

Tipo	Pannello piano	Pannello piano
Modello	Caliber 216	Caliber 234
Forma dell'assorbitore	Full Size Microtherm	Full Size Microtherm
Superficie di assorbimento	1,816 m ²	2,138 m ²
Superficie di apertura	1,830 m ²	2,142 m ²
Superficie lorda	2,016 m ²	2,353 m ²
Lunghezza x Larghezza	2,016 x 1,000 (mm)	2,153 x 1,052 (mm)
Peso a vuoto	Approx. 35 kg	Approx. 43 kg
Portata nominale	60 l/h	60 l/h
Portata massima	120 l/h	120 l/h
Contenuto di fluido	1,43 l	1,65 l
Pressione massima di esercizio	10 bar	10 bar
Temperatura di stagnazione	189° C	189° C
Costanti di efficienza	$\eta_0 = 0,787$ $a_1 [W / (m^2K)] = 3,62$ $a_2 [W / (m^2K^2)] = 0,0083$	$\eta_0 = 0,787$ $a_1 [W / (m^2K)] = 3,62$ $a_2 [W / (m^2K^2)] = 0,0083$

Performance Curve (IP-2)4c:



Indicatore prestazionale	IP _{max}	IP _{min}	Area di riferimento	Total	Assorbitore
Capacità termica	5,5 MJ/K	300 l/h	η_0	0,253	0,259
Flusso medio per l/m ²	3,360 l/h	3,360 l/h	a_1 (IP _{max} - IP _{min})	4,31	4,52
Legato di combustione termica	0,0033	0,0033	a_2 (IP _{max} - IP _{min})	0,0033	0,0033

(*) Specific thermal capacity C of the absorber without glycol, determined as per IEC 12875-1:2001

HelioSelec 202/234

L'HelioSelec è un collettore di livello tecnologico elevato, costruito con materiali microlasticamente selezionati. Grazie alle innovazioni tecnologiche adottate e alla particolare localizzazione - peraltro sui minimi dettagli, siamo in grado di garantire le prestazioni del nostro prodotto anche nelle circostanze più avverse.

L'HelioSelec si presenta robusto e resistente; ecco le specifiche tecniche di questo collettore: termo stop, isolamento a base di lana di roccia ad alta densità e lenta combustione, assorbitore ad alta selettività, piastra captante in vetro di massima sicurezza che contribuisce ad incrementare il rendimento del collettore ed, infine, sistema di controllo del microclima della parte interna, limitando così decisamente la condensazione ed agevolando contestualmente la circolazione controllata dell'aria nel collettore.

Il collettore è stato sottoposto a duri test di rendimento e resistenza presso il prestigioso Istituto svizzero SPF (potete consultare il nostro sito per ulteriori dati e certificazioni). Il collettore HelioSelec è il frutto di molti anni di esperienza che ci vede partecipi in un gran numero di innovazioni tecnologiche nel settore dell'energia solare. Avvalendoci della nostra esperienza e delle nuove tecnologie, abbiamo creato un collettore su cui possiamo applicare con grande orgoglio il nostro marchio.



SPF: Swiss solar collector independent testing laboratory
 DIN: Certified European Solar Institute, Schwyz
 ENAC: ISO9001-2008 Bureau Veritas
 NSAI: National Development Authority of Ireland
 SEAI: Sustainable Energy Authority Ireland



Specificazioni:

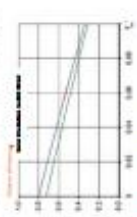
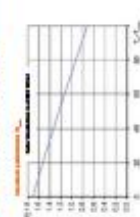
Tipo	Periodo piano	Periodo piano
Modello	HS-202	HS-234
Forma dell'assorbitore	Full Size Microthem	Full Size Microthem
Superficie di assorbimento	1.816 m ²	2.138 m ²
Superficie di apertura	1.630 m ²	2.142 m ²
Superficie lorda	2.018 m ²	2.353 m ²
Lunghezza x Larghezza	2.018 x 1.000 (mm)	2.153 x 1.000 (mm)
Peso a vuoto	Appross. 44 kg	Appross. 50 kg
Portata interna	60 litri	60 litri
Portata nominale	110 litri/h	120 litri/h
Portata massima	468 litri/h	468 litri/h
Contenuto di fluido	1.333 l	1.61 l
Pressione massima di esercizio	10 bar	10 bar
Temperatura di stagnazione	208° C	208° C
Coeficiente di efficienza	$\eta_g = 0,856$	$\eta_g = 0,801$
	$a_1 [W / (m^2K)] = 3,61$	$a_1 [W / (m^2K)] = 3,62$
	$a_2 [W / (m^2K)] = 0,0058$	$a_2 [W / (m^2K)] = 0,0053$

Efficiency Curve HelioSelec 202:



Efficiency Curve HelioSelec 202

Performance Curve HS-234:



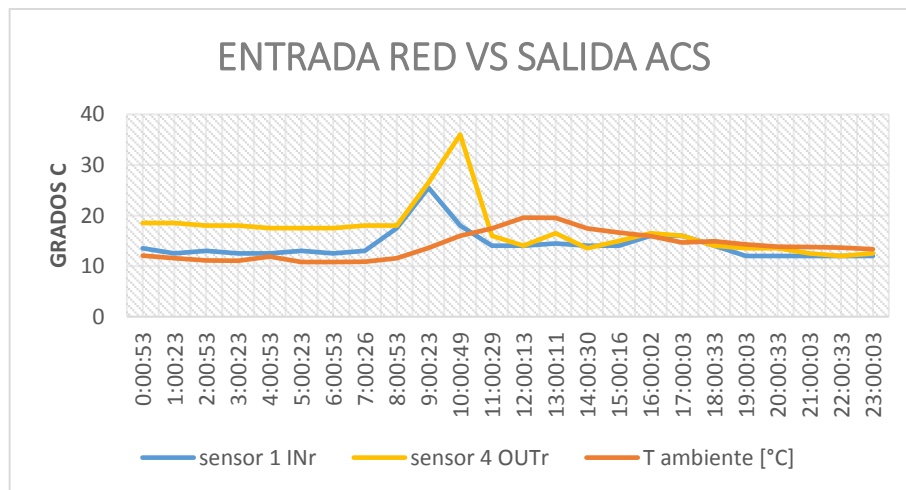
Reattore massimo	W _{max}	SPF (W)	Area di assorbimento	Total	Assorbitore
Capacità termica	6,5 MJ/K	6,728	η_g	0,728	0,806
Flusso medio per l'litro	108 litri/h	3,81	$a_1 [W / (m^2K)]$	3,81	3,81
Limite di conduttività termica	Value-Optical 53,3%	0,0050	$a_2 [W / (m^2K)]$	0,0050	0,0050

(*) Specific thermal capacity C of the accumulator without top, determined as per EN 12875-2:2001

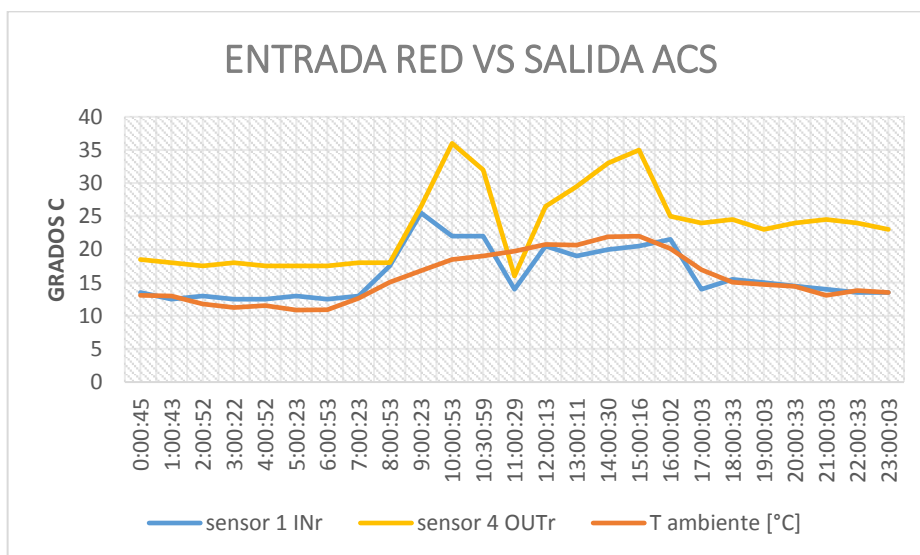
Anexo 8.

Datos de temperatura del prototipo tomados en campo

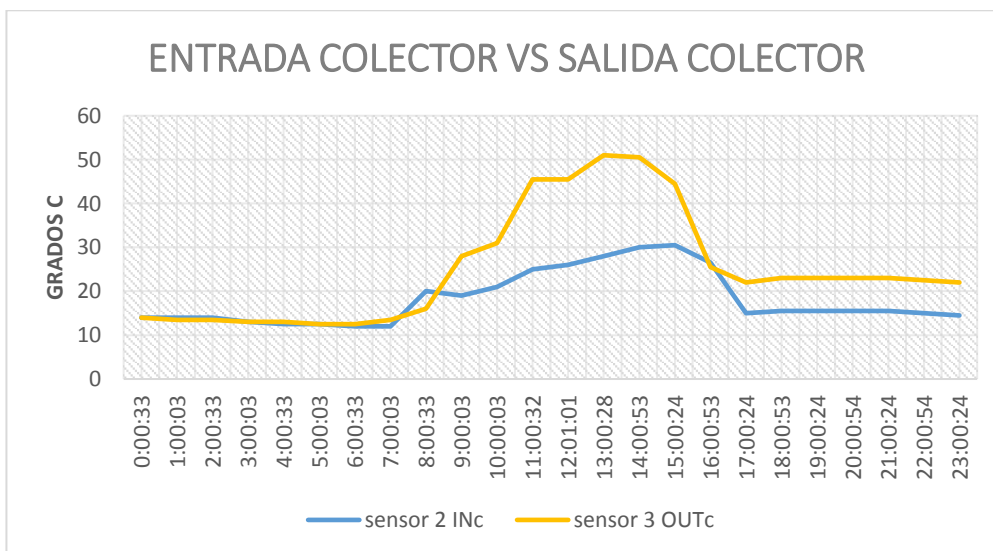
fecha	hora	sensor				T ambiente [°C]	Radiación [W/m ²]	AT
		sensor 1 INr	sensor 2 INc	sensor 3 OUTc	sensor 4 OUTr			
05/04/16	0:00:53	13.5	13.5	14.5	18.5	12.1	0	1
05/04/16	1:00:23	12.5	12.5	14	18.5	11.56	0	1.5
05/04/16	2:00:53	13	12.5	14	18	11.15	0	1.5
05/04/16	3:00:23	12.5	12	14.5	18	11.03	0	2.5
05/04/16	4:00:53	12.5	12	13.5	17.5	11.89	0	1.5
05/04/16	5:00:23	13	13	14.5	17.5	10.81	0	1.5
05/04/16	6:00:53	12.5	12.5	14	17.5	10.82	0	1.5
05/04/16	7:00:26	13	13.5	14.5	18	10.85	20.42	1
05/04/16	8:00:53	17.5	15.5	18	18	11.55	113.13	2.5
05/04/16	9:00:23	25.5	23	36	26.5	13.57	485.42	13
05/04/16	10:00:49	18	18	43.5	36	15.97	575.96	25.5
05/04/16	11:00:29	14	17.5	39.5	16	17.45	794.47	22
05/04/16	12:00:13	14	16.5	26.5	14	19.58	1102.29	10
05/04/16	13:00:11	14.5	15	19.5	16.5	19.52	417.34	4.5
05/04/16	14:00:30	14	14.5	15.5	13.5	17.47	132.89	1
05/04/16	15:00:16	14	15.5	22.5	15	16.63	83.77	7
05/04/16	16:00:02	16	16.5	24	16.5	15.9	43.31	7.5
05/04/16	17:00:03	16	20	26	16	14.64	144.75	6
05/04/16	18:00:33	14	21	24	14	14.92	66.06	3
05/04/16	19:00:03	12	15.5	23	13.5	14.26	1.16	7.5
05/04/16	20:00:33	12	14.5	23.5	13.5	13.86	0	9
05/04/16	21:00:03	12	14.5	23.5	12.5	13.79	0	9
05/04/16	22:00:33	12	14	23	12	13.62	0	9
05/04/16	23:00:03	12	13.5	23	12.5	13.33	0	9.5
SALTO TERMICO MAXIMO								
05/04/16	10:00:49	18	18	43.5	36	15.97	575.96	25.5



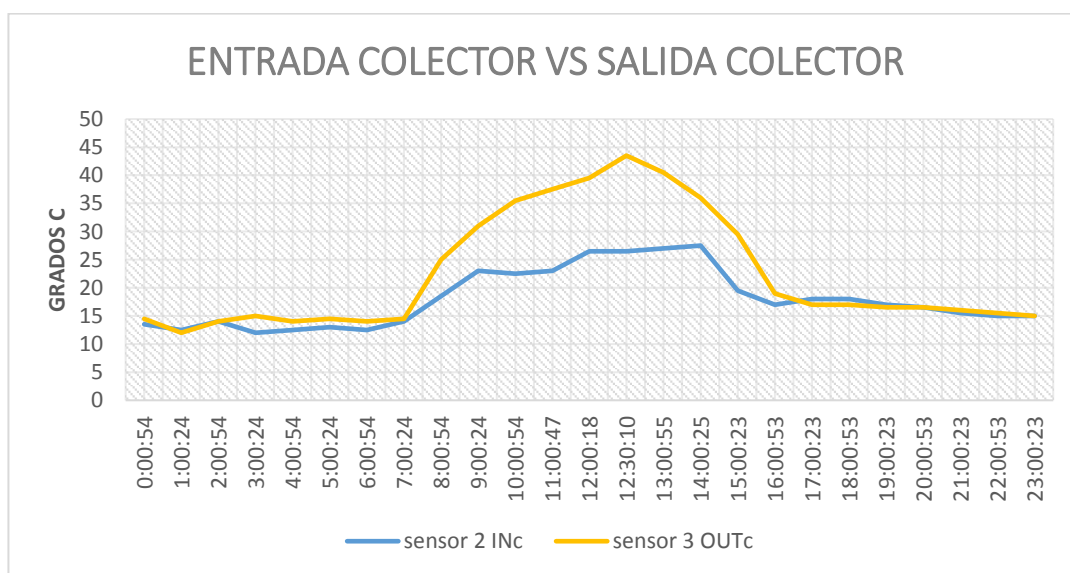
fecha	hora	sensor 1 INr	sensor 2 INc	sensor 3 OUTc	sensor 4 OUTr	T ambiente [°C]	Radiación [W/m2]	AT
06/04/16	0:00:45	13.5	13.5	14.5	18.5	13.1	0	1
06/04/16	1:00:43	12.5	12.5	14	18	12.98	0	1.5
06/04/16	2:00:52	13	12.5	14	17.5	11.78	0	1.5
06/04/16	3:00:22	12.5	12	14	18	11.23	0	2
06/04/16	4:00:52	12.5	12.5	14	17.5	11.54	0	1.5
06/04/16	5:00:23	13	13	14.5	17.5	10.86	0	1.5
06/04/16	6:00:53	12.5	12.5	14	17.5	10.89	0	1.5
06/04/16	7:00:23	13	13.5	14.5	18	12.65	24.3	1
06/04/16	8:00:53	17.5	15.5	18	18	15.07	206.82	2.5
06/04/16	9:00:23	25.5	23	36	26.5	16.77	457.72	13
06/04/16	10:00:53	22	18	43.5	36	18.46	704.92	25.5
06/04/16	10:30:59	22	17	43	32	19.01	753.9	26
06/04/16	11:00:29	14	16	39.5	16	19.75	794.47	23.5
06/04/16	12:00:13	20.5	19.5	43	26.5	20.73	1011.68	23.5
06/04/16	13:00:11	19	22	38.5	29.5	20.67	717.21	16.5
06/04/16	14:00:30	20	25	42	33	21.9	849.61	17
06/04/16	15:00:16	20.5	23	35.5	35	22	483.44	12.5
06/04/16	16:00:02	21.5	24	32	25	20.13	482.12	8
06/04/16	17:00:03	14	18	22	24	16.96	50.2	4
06/04/16	18:00:33	15.5	16	17.5	24.5	15.05	8.85	1.5
06/04/16	19:00:03	15	13	15	23	14.72	0	2
06/04/16	20:00:33	14.5	12	14.5	24	14.41	0	2.5
06/04/16	21:00:03	14	13.5	14	24.5	13.09	0	0.5
06/04/16	22:00:33	13.5	13	14	24	13.8	0	1
06/04/16	23:00:03	13.5	13.5	13.5	23	13.52	0	0
SALTO TERMICO MAXIMO								
05/04/16	10:30:59	14	17	43	22	16.63	679.9	26



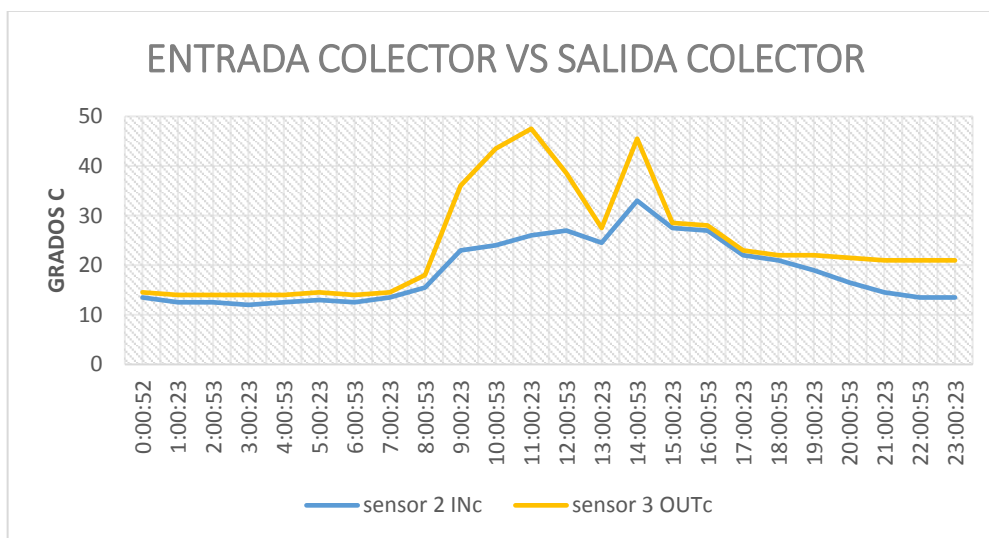
fecha	hora	sensor 1 INr	sensor 2 INc	sensor 3 OUTc	sensor 4 OUTr	T ambiente [°C]	Radiacion [W/m2]	AT
07/04/16	0:00:33	14	14	14	12.5	13.1	0	0
07/04/16	1:00:03	13.5	14	13.5	12.5	13.34	0	-0.5
07/04/16	2:00:33	13.5	14	13.5	12.5	13.4	0	-0.5
07/04/16	3:00:03	13	13	13	11.5	13.36	0	0
07/04/16	4:00:33	13	12.5	13	11.5	13.22	0	0.5
07/04/16	5:00:03	12.5	12.5	12.5	11	12.82	0	0
07/04/16	6:00:33	12.5	12	12.5	11	12.78	0	0.5
07/04/16	7:00:03	13	12	13.5	12	12.69	19.37	1.5
07/04/16	8:00:33	16	20	16	27	14.1	163.8	-4
07/04/16	9:00:03	17.5	19	28	27.5	17.04	401.58	9
07/04/16	10:00:03	19	21	31	28.5	19.08	671.02	10
07/04/16	11:00:32	23.5	25	45.5	37.5	20.75	780.4	20.5
07/04/16	12:01:01	23.5	26	45.5	41	21.5	990.45	19.5
07/04/16	13:00:28	26.5	28	51	46.5	21.9	1047.99	23
07/04/16	14:00:53	26	30	50.5	43.5	22.16	644.58	20.5
07/04/16	15:00:24	22.5	30.5	44.5	43.5	21.83	493.91	14
07/04/16	16:00:53	18.5	26.5	25.5	40.5	21.27	434.93	-1
07/04/16	17:00:24	11.5	15	22	38.5	20.45	527.87	7
07/04/16	18:00:53	13	15.5	23	39	18.69	100.39	7.5
07/04/16	19:00:24	13	15.5	23	39	17.16	0.11	7.5
07/04/16	20:00:54	13.5	15.5	23	39	15.92	0	7.5
07/04/16	21:00:24	13.5	15.5	23	38.5	14.3	0	7.5
07/04/16	22:00:54	13.5	15	22.5	37.5	14.13	0	7.5
07/04/16	23:00:24	13	14.5	22	36	13.83	0	7.5
SALTO TERMICO MAXIMO								
07/04/16	13:00:28	26.5	28	51	46.5	21.9	1047.99	23



fecha	hora	sensor 1 INr	sensor 2 INc	sensor 3 OUTc	sensor 4 OUTr	T ambiente [°C]	Radiacion [W/m2]	AT
08/04/2016	0:00:54	13	13.5	14.5	15	14.1	0	1
08/04/2016	1:00:24	12	12.5	12	15.5	13.96	0	-0.5
08/04/2016	2:00:54	11.5	14	14	17.5	13.69	0	0
08/04/2016	3:00:24	12	12	15	18	13.3	0	3
08/04/2016	4:00:54	12	12.5	14	17.5	13.25	0	1.5
08/04/2016	5:00:24	17	13	14.5	17.5	13.03	0	1.5
08/04/2016	6:00:54	19	12.5	14	17.5	13.09	0	1.5
08/04/2016	7:00:24	19	14	14.5	18	13.15	20.9	0.5
08/04/2016	8:00:54	21.5	18.5	25	23	14.69	215.43	6.5
08/04/2016	9:00:24	23	23	31	28	17.38	468.2	8
08/04/2016	10:00:54	24	22.5	35.5	35	19.5	664.49	13
08/04/2016	11:00:47	24.5	23	37.5	37.5	20.51	665.53	14.5
08/04/2016	12:00:18	24.5	26.5	39.5	36.5	20.01	579.82	13
08/04/2016	12:30:10	22.5	26.5	43.5	38.5	21.17	777.56	17
08/04/2016	13:00:55	23.5	27	40.5	38	21.2	815.79	13.5
08/04/2016	14:00:25	23.5	27.5	36	39.5	21.78	778.93	8.5
08/04/2016	15:00:23	15.5	19.5	29.5	20.5	20.45	294.89	10
08/04/2016	16:00:53	17.5	17	19	21	17.52	49.6	2
08/04/2016	17:00:23	17.5	18	17	20.5	16.64	84.76	-1
08/04/2016	18:00:53	17	18	17	20	16.86	57.31	-1
08/04/2016	19:00:23	16	17	16.5	19.5	15.78	0.06	-0.5
08/04/2016	20:00:53	16	16.5	16.5	19	15.76	0	0
08/04/2016	21:00:23	15	15.5	16	19	15.1	0	0.5
08/04/2016	22:00:53	14.5	15	15.5	18	14.02	0	0.5
08/04/2016	23:00:23	14	15	15	18.5	13.75	0	0
SALTO TERMICO MAXIMO								
08/04/2016	12:30:10	22.5	26.5	43.5	38.5	21.17	777.56	17

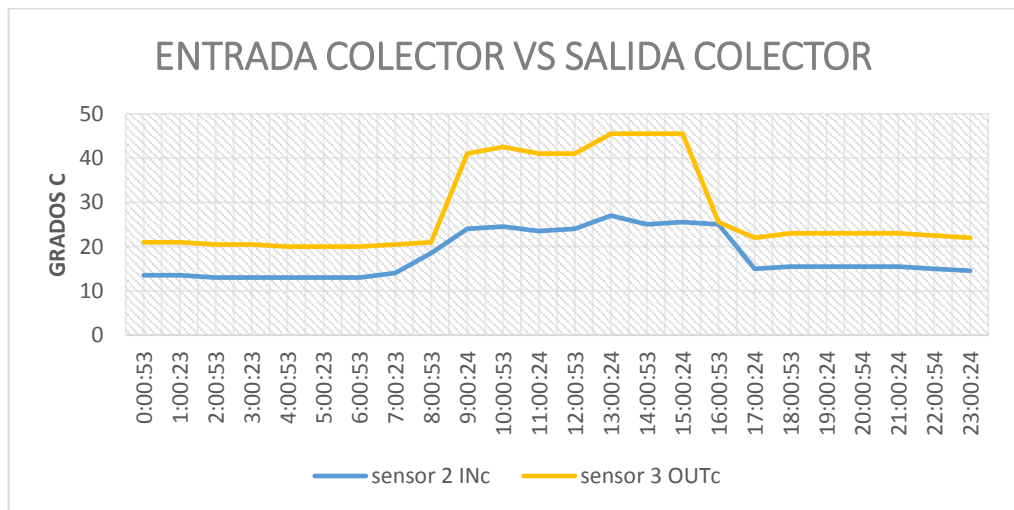


fecha	hora	sensor				T ambiente [°C]	Radiacion [W/m2]	AT
		sensor 1 INr	sensor 2 INc	sensor 3 OUTc	sensor 4 OUTr			
09/04/2016	0:00:52	13.5	13.5	14.5	18.5	13.55	0	1
09/04/2016	1:00:23	12.5	12.5	14	18	13.3	0	1.5
09/04/2016	2:00:53	13	12.5	14	17.5	12.97	0	1.5
09/04/2016	3:00:23	12.5	12	14	18	12.79	0	2
09/04/2016	4:00:53	12.5	12.5	14	17.5	12.7	0	1.5
09/04/2016	5:00:23	13	13	14.5	17.5	12.97	0	1.5
09/04/2016	6:00:53	12.5	12.5	14	17.5	12.72	0	1.5
09/04/2016	7:00:23	13	13.5	14.5	18	12.64	37.78	1
09/04/2016	8:00:53	17.5	15.5	18	18	14.64	150.77	2.5
09/04/2016	9:00:23	25.5	23	36	26.5	16.78	465.35	13
09/04/2016	10:00:53	24.5	24	43.5	36	19.1	731.83	19.5
09/04/2016	11:00:23	23	26	47.5	40	20.65	898.03	21.5
09/04/2016	12:00:53	24.5	27	38.5	41	20.86	597.93	11.5
09/04/2016	13:00:23	21	24.5	27.5	39	19.2	251.59	3
09/04/2016	14:00:53	26	33	45.5	41	19.24	745.17	12.5
09/04/2016	15:00:23	21.5	27.5	28.5	39.5	18.98	371.16	1
09/04/2016	16:00:53	20.5	27	28	38	19.38	313.41	1
09/04/2016	17:00:23	17.5	22	23	37	17.17	66.6	1
09/04/2016	18:00:53	17.5	21	22	36.5	17.12	21.07	1
09/04/2016	19:00:23	16.5	19	22	36	16.34	0.06	3
09/04/2016	20:00:53	15.5	16.5	21.5	35.5	15.42	0	5
09/04/2016	21:00:23	14.5	14.5	21	35	14.68	0	6.5
09/04/2016	22:00:53	14	13.5	21	34.5	13.81	0	7.5
09/04/2016	23:00:23	14.5	13.5	21	34	14.43	0	7.5
SALTO TERMICO MAXIMO								
09/04/2016	11:00:23	23	26	47.5	40	20.65	898.03	21.5

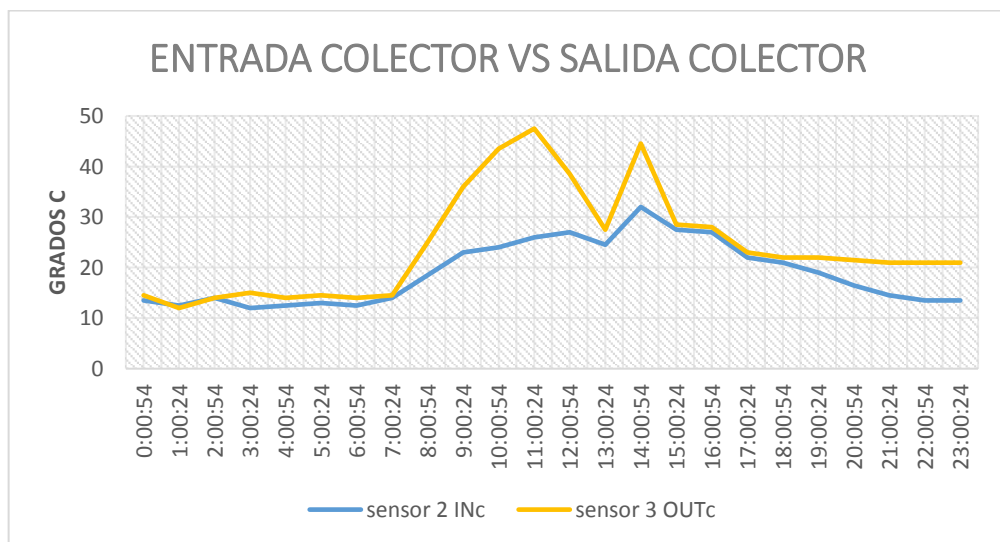


fecha	hora	sensor 1 INr	sensor 2 INc	sensor 3 OUTc	sensor 4 OUTr	T	Radiación [W/m2]	AT
						ambiente [°C]		
10/04/2016	0:00:53	14.5	13.5	21	33.5	14.91	0	7.5
10/04/2016	1:00:23	14.5	13.5	21	33.5	14.4	0	7.5
10/04/2016	2:00:53	14	13	20.5	33	13.96	0	7.5
10/04/2016	3:00:23	13.5	13	20.5	33	13.14	0	7.5
10/04/2016	4:00:53	13	13	20	32.5	12.6	0	7
10/04/2016	5:00:23	13	13	20	32.5	12.81	0	7
10/04/2016	6:00:53	12.5	13	20	31.5	12.77	0	7
10/04/2016	7:00:23	13.5	14	20.5	32	12.85	29.43	6.5
10/04/2016	8:00:53	17	18.5	21	32.5	14.85	266.91	2.5
10/04/2016	9:00:24	25	24	41	34.5	16.9	495.07	17
10/04/2016	10:00:53	24	24.5	42.5	39.5	18.5	580.26	18
10/04/2016	11:00:24	22	23.5	41	42	18.58	768.9	17.5
10/04/2016	12:00:53	22	24	41	43.5	19.08	504.06	17
10/04/2016	13:00:24	24	27	45.5	43	19.45	597.27	18.5
10/04/2016	14:00:53	26	25	45.5	43.5	19.87	697.78	20.5
10/04/2016	15:00:24	22.5	25.5	45.5	48.5	20.72	800.05	20
10/04/2016	16:00:53	18.5	25	25.5	40.5	18.55	74.23	0.5
10/04/2016	17:00:24	11.5	15	22	38.5	12.58	20.83	7
10/04/2016	18:00:53	13	15.5	23	39	13.79	20.14	7.5
10/04/2016	19:00:24	13	15.5	23	39	14.36	0.12	7.5
10/04/2016	20:00:54	13.5	15.5	23	39	14.16	0	7.5
10/04/2016	21:00:24	13.5	15.5	23	38.5	13.77	0	7.5
10/04/2016	22:00:54	13.5	15	22.5	37.5	13.59	0	7.5
10/04/2016	23:00:24	13	14.5	22	36	13.14	0	7.5

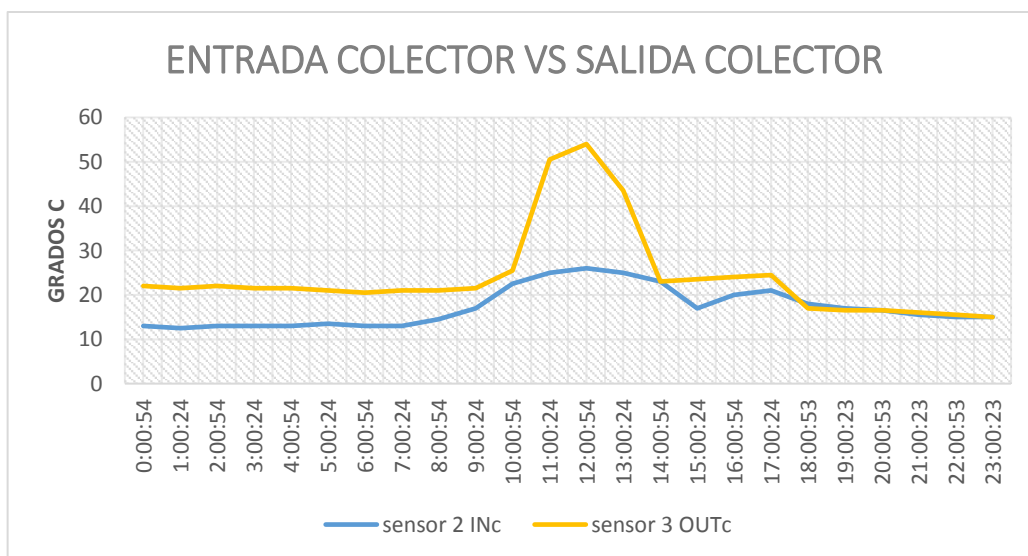
SALTO TERMICO MAXIMO



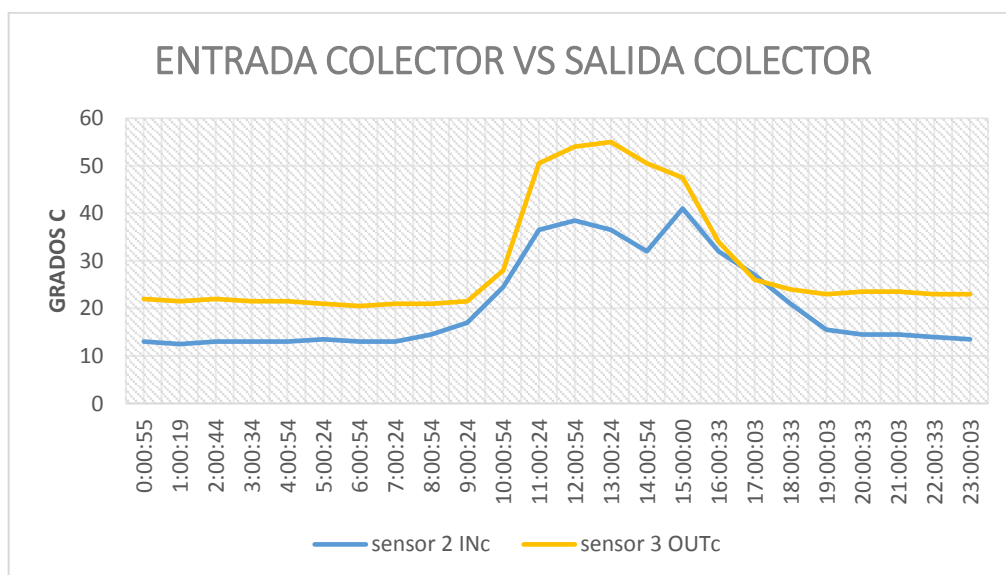
fecha	hora	sensor 1 INr	sensor 2 INc	sensor 3 OUTc	sensor 4 OUTr	T	Radiacion [W/m2]	AT
						ambiente [°C]		
11/04/2016	0:00:54	11	13.5	14.5	15	12.2	0	1
11/04/2016	1:00:24	11.5	12.5	12	15.5	12.63	0	-0.5
11/04/2016	2:00:54	13	14	14	17.5	12.65	0	0
11/04/2016	3:00:24	11	12	15	18	12.54	0	3
11/04/2016	4:00:54	12.5	12.5	14	17.5	12.54	0	1.5
11/04/2016	5:00:24	12.5	13	14.5	17.5	12.43	0	1.5
11/04/2016	6:00:54	11.5	12.5	14	17.5	12.32	0	1.5
11/04/2016	7:00:24	15	14	14.5	18	12.28	9.09	0.5
11/04/2016	8:00:54	17.5	18.5	25	18	12.42	53.17	6.5
11/04/2016	9:00:24	25.5	23	36	26.5	13.15	157.46	13
11/04/2016	10:00:54	24.5	24	43.5	36	15.5	330.12	19.5
11/04/2016	11:00:24	23	26	47.5	40	16.15	587.21	21.5
11/04/2016	12:00:54	24.5	27	38.5	41	18	944.7	11.5
11/04/2016	13:00:24	21	24.5	27.5	39	18.24	646.27	3
11/04/2016	14:00:54	26	32	44.5	41.5	19.01	147.63	12.5
11/04/2016	15:00:24	21.5	27.5	28.5	39.5	19.12	73.52	1
11/04/2016	16:00:54	20.5	27	28	38	17.6	195.19	1
11/04/2016	17:00:24	17.5	22	23	37	14.75	96.67	1
11/04/2016	18:00:54	17.5	21	22	36.5	13.2	1.7	1
11/04/2016	19:00:24	16.5	19	22	36	12.53	0	3
11/04/2016	20:00:54	15.5	16.5	21.5	35.5	12.25	0	5
11/04/2016	21:00:24	14.5	14.5	21	35	12.24	0	6.5
11/04/2016	22:00:54	14	13.5	21	34.5	12.01	0	7.5
11/04/2016	23:00:24	14.5	13.5	21	34	11.73	0	7.5
SALTO TERMICO MAXIMO								
11/04/2016	11:00:24	23	26	47.5	40	16.15	587.21	21.5



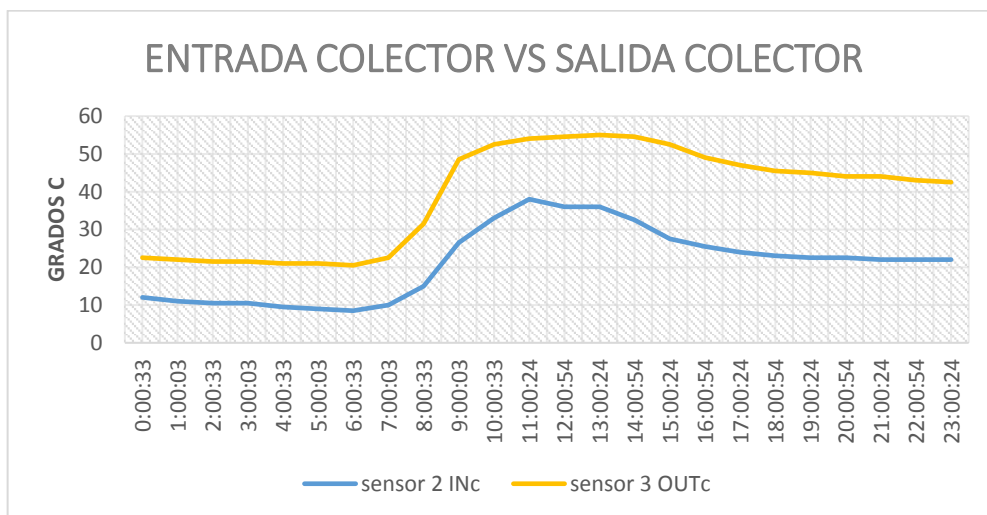
fecha	hora	sensor 1 INr	sensor 2 INc	sensor 3 OUTc	sensor 4 OUTr	T	Radiacion [W/m2]	AT
						ambiente [°C]		
12/04/2016	0:00:54	12	13	22	36	12.2	0	9
12/04/2016	1:00:24	11.5	12.5	21.5	36.5	11.43	0	9
12/04/2016	2:00:54	12	13	22	36	11.34	0	9
12/04/2016	3:00:24	12	13	21.5	35.5	11.41	0	8.5
12/04/2016	4:00:54	12	13	21.5	35.5	11.18	0	8.5
12/04/2016	5:00:24	12	13.5	21	34.5	11.11	0	7.5
12/04/2016	6:00:54	11.5	13	20.5	34.5	11.3	0	7.5
12/04/2016	7:00:24	12	13	21	34.5	11.57	29	8
12/04/2016	8:00:54	12.5	14.5	21	34	12.64	135.44	6.5
12/04/2016	9:00:24	14.5	17	21.5	34.5	14.16	276.63	4.5
12/04/2016	10:00:54	17.5	22.5	25.5	35	14.73	203.3	3
12/04/2016	11:00:24	25	25	50.5	44	13.93	200.67	25.5
12/04/2016	12:00:54	28	26	54	48.5	14.81	341.04	28
12/04/2016	13:00:24	28	25	43.5	49.5	16.66	437.2	18.5
12/04/2016	14:00:54	15	23	23	45	16.54	245.62	0
12/04/2016	15:00:24	13.5	17	23.5	44.5	14.37	66.64	6.5
12/04/2016	16:00:54	14.5	20	24	44.5	13.77	96.71	4
12/04/2016	17:00:24	14.5	21	24.5	43.5	14.29	66.56	3.5
12/04/2016	18:00:53	17	18	17	41	14.14	40.92	-1
12/04/2016	19:00:23	16	17	16.5	40	13.44	0	-0.5
12/04/2016	20:00:53	16	16.5	16.5	37	13.11	0	0
12/04/2016	21:00:23	15	15.5	16	28	12.8	0	0.5
12/04/2016	22:00:53	14.5	15	15.5	28	12.2	0	0.5
12/04/2016	23:00:23	14	15	15	27	11.79	0	0
SALTO TERMICO MAXIMO								
12/04/2016	12:00:54	28	26	54	48.5	14.81	341.04	28



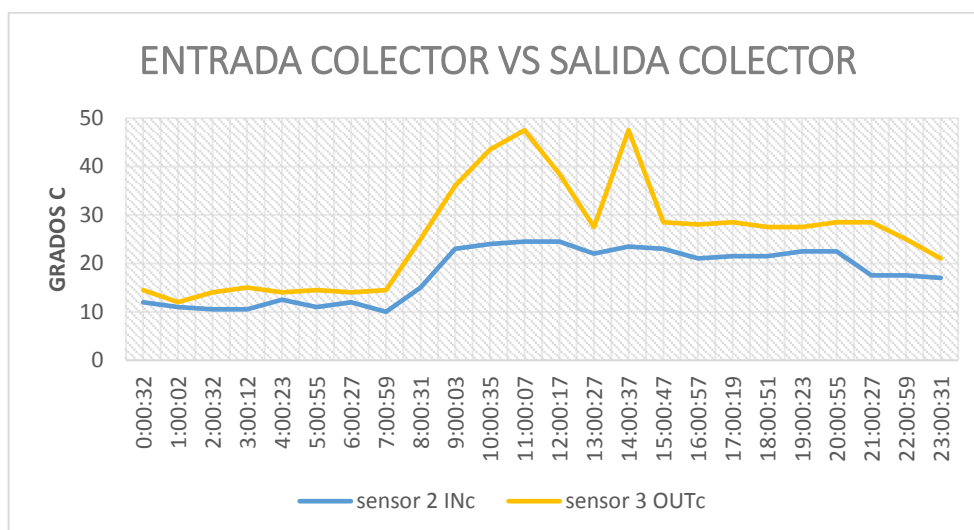
fecha	hora	sensor 1 INr	sensor 2 INc	sensor 3 OUTc	sensor 4 OUTr	T ambiente [°C]	Radiacion [W/m ²]	AT
11/04/2016	0:00:55	11	13	22	36	12.2	0	9
11/04/2016	1:00:19	11.5	12.5	21.5	36.5	11.47	0	9
11/04/2016	2:00:44	11	13	22	36	11.33	0	9
11/04/2016	3:00:34	11.5	13	21.5	35.5	11.37	0	8.5
11/04/2016	4:00:54	12	13	21.5	35.5	11.3	0	8.5
11/04/2016	5:00:24	12	13.5	21	34.5	11.37	0	7.5
11/04/2016	6:00:54	11.5	13	20.5	34.5	11.32	0	7.5
11/04/2016	7:00:24	12	13	21	34.5	11.46	13.34	8
11/04/2016	8:00:54	12.5	14.5	21	34	12.53	160.26	6.5
11/04/2016	9:00:24	15.5	17	21.5	34.5	15.35	483.71	4.5
11/04/2016	10:00:54	17.5	24.5	28	35	16.92	786.96	3.5
11/04/2016	11:00:24	25	36.5	50.5	44	17.81	632.71	14
11/04/2016	12:00:54	28	38.5	54	48.5	17.25	435.83	15.5
11/04/2016	13:00:24	28	36.5	55	49.5	18.04	605.07	18.5
11/04/2016	14:00:54	15	32	50.5	45	19.13	490.19	18.5
13/04/2016	15:00:00	21.5	41	47.5	44.5	19.11	375.69	6.5
13/04/2016	16:00:33	18.5	32	34	42.5	17.8	178.88	2
13/04/2016	17:00:03	16	27	26	41	15.34	151.19	-1
13/04/2016	18:00:33	14	21	24	39.5	13.7	3.77	3
13/04/2016	19:00:03	12	15.5	23	38.5	12.94	0	7.5
13/04/2016	20:00:33	12	14.5	23.5	38.5	13.01	0	9
13/04/2016	21:00:03	12	14.5	23.5	38.5	12.66	0	9
13/04/2016	22:00:33	12	14	23	38.5	12.65	0	9
13/04/2016	23:00:03	12	13.5	23	37.5	12.66	0	9.5
SALTO TERMICO MAXIMO								
11/04/2016	14:00:54	15	32	50.5	45	19.13	490.19	18.5



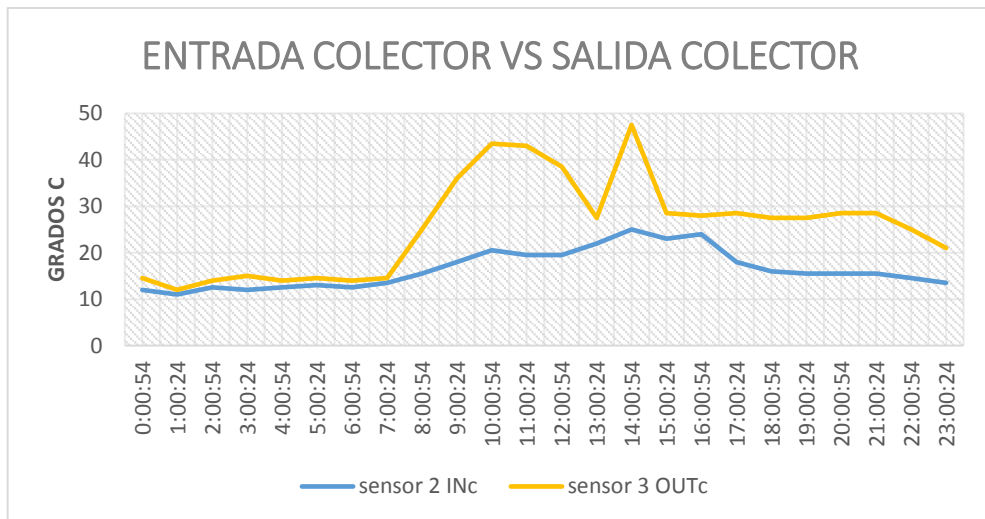
fecha	hora	sensor 1 INr	sensor 2 INc	sensor 3 OUTc	sensor 4 OUTr	T		Radiacion [W/m2]	AT
						ambiente	[°C]		
14/04/2016	0:00:33	11	12	22.5	37	11.56	0	10.5	
14/04/2016	1:00:03	11	11	22	36.5	11.15	0	11	
14/04/2016	2:00:33	11	10.5	21.5	36	10.99	0	11	
14/04/2016	3:00:03	11	10.5	21.5	35.5	10.99	0	11	
14/04/2016	4:00:33	10	9.5	21	35.5	10.55	0	11.5	
14/04/2016	5:00:03	10	9	21	34.5	10.42	0	12	
14/04/2016	6:00:33	9.5	8.5	20.5	35	9.56	0	12	
14/04/2016	7:00:03	16	10	22.5	35	11.28	38.46	12.5	
14/04/2016	8:00:33	23	15	31.5	36	14.95	195.74	16.5	
14/04/2016	9:00:03	28	26.5	48.5	40	17.21	439.51	22	
14/04/2016	10:00:33	30	33	52.5	45.5	18.73	657.96	19.5	
14/04/2016	11:00:24	28.5	38	54	47	19.21	864.48	16	
14/04/2016	12:00:54	30	36	54.5	47.5	19.86	907.9	18.5	
14/04/2016	13:00:24	15	36	55	51.5	20	553.41	19	
14/04/2016	14:00:54	14.5	32.5	54.5	50.5	17.7	55.66	22	
14/04/2016	15:00:24	14.5	27.5	52.5	49	14.98	205.38	25	
14/04/2016	16:00:54	14.5	25.5	49	46.5	17.94	402.26	23.5	
14/04/2016	17:00:24	14.5	24	47	34.5	16.47	73.36	23	
14/04/2016	18:00:54	14.5	23	45.5	25	16.08	62.11	22.5	
14/04/2016	19:00:24	14.5	22.5	45	21.5	14.64	0.55	22.5	
14/04/2016	20:00:54	14.5	22.5	44	19.5	14.41	0	21.5	
14/04/2016	21:00:24	14.5	22	44	18.5	13.65	0	22	
14/04/2016	22:00:54	16.5	22	43	18.5	13.61	0	21	
14/04/2016	23:00:24	17.5	22	42.5	19.5	13.49	0	20.5	
SALTO TERMICO MAXIMO									
14/04/2016	15:00:24	14.5	27.5	52.5	49	14.98	205.38	25	



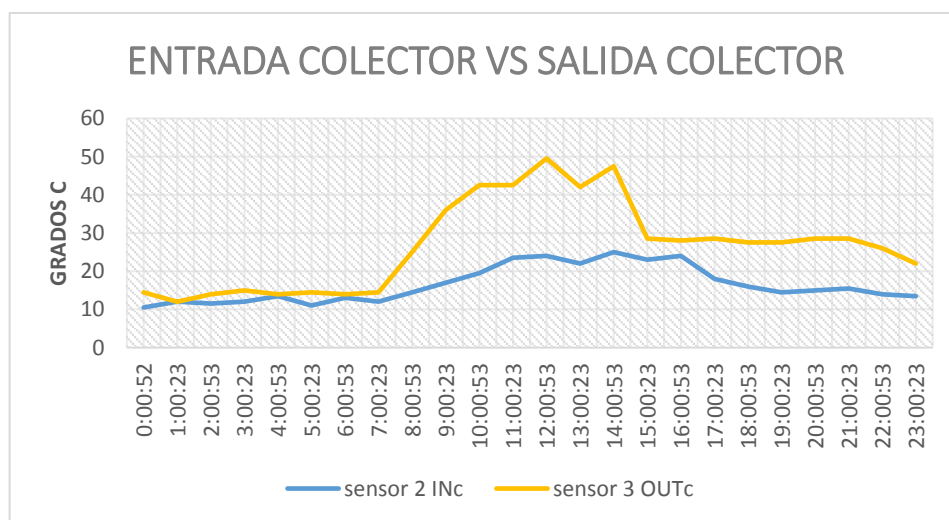
fecha	hora	sensor 1 INr	sensor 2 INc	sensor 3 OUTc	sensor 4 OUTr	T ambiente [°C]	Radiacion [W/m2]	AT
15/04/2016	0:00:32	13.5	12	14.5	18.5	11.56	0	2.5
15/04/2016	1:00:02	12.5	11	12	18	11.15	0	1
15/04/2016	2:00:32	13	10.5	14	17.5	10.99	0	3.5
15/04/2016	3:00:12	12.5	10.5	15	18	10.99	0	4.5
15/04/2016	4:00:23	12.5	12.5	14	17.5	10.55	0	1.5
15/04/2016	5:00:55	13	11	14.5	17.5	10.42	0	3.5
15/04/2016	6:00:27	12.5	12	14	17.5	9.56	0	2
15/04/2016	7:00:59	13	10	14.5	18	11.28	27.76	4.5
15/04/2016	8:00:31	17.5	15	25	18	14.95	202.64	10
15/04/2016	9:00:03	25.5	23	36	26.5	17.21	462.59	13
15/04/2016	10:00:35	24.5	24	43.5	36	18.73	704.48	19.5
15/04/2016	11:00:07	23	24.5	47.5	40	19.21	915.97	23
15/04/2016	12:00:17	24.5	24.5	38.5	41	19.86	720.72	14
15/04/2016	13:00:27	21	22	27.5	39	20	818.84	5.5
15/04/2016	14:00:37	26	23.5	47.5	41	17.7	932.53	24
15/04/2016	15:00:47	21.5	23	28.5	39.5	14.98	719.32	5.5
15/04/2016	16:00:57	20.5	21	28	38	17.94	67.62	7
15/04/2016	17:00:19	17.5	21.5	28.5	37	16.47	52.34	7
15/04/2016	18:00:51	17.5	21.5	27.5	36.5	16.08	22.03	6
15/04/2016	19:00:23	16.5	22.5	27.5	36	14.64	0.53	5
15/04/2016	20:00:55	15.5	22.5	28.5	35.5	14.41	0	6
15/04/2016	21:00:27	14.5	17.5	28.5	35	13.65	0	11
15/04/2016	22:00:59	14	17.5	25	34.5	13.61	0	7.5
15/04/2016	23:00:31	14.5	17	21	34	13.49	0	4
SALTO TERMICO MAXIMO								
15/04/2016	14:00:37	26	23.5	47.5	41	17.7	932.53	24



fecha	hora	sensor 1 INr	sensor 2 INc	sensor 3 OUTc	sensor 4 OUTr	T ambiente [°C]	Radiacion [W/m2]	AT
16/04/2016	0:00:54	11	12	14.5	12.5	11.4	0	2.5
16/04/2016	1:00:24	11.5	11	12	12.5	11.47	0	1
16/04/2016	2:00:54	13	12.5	14	12.5	11.33	0	1.5
16/04/2016	3:00:24	11	12	15	11.5	12.86	0	3
16/04/2016	4:00:54	12.5	12.5	14	11.5	11.3	0	1.5
16/04/2016	5:00:24	12.5	13	14.5	11	11.37	0	1.5
16/04/2016	6:00:54	11.5	12.5	14	11	11.78	0	1.5
16/04/2016	7:00:24	15	13.5	14.5	12	11.46	32.62	1
16/04/2016	8:00:54	17.5	15.5	25	27	12.53	202.61	9.5
16/04/2016	9:00:24	25.5	18	36	27.5	14.67	451.23	18
16/04/2016	10:00:54	24.5	20.5	43.5	28.5	16.92	659.03	23
16/04/2016	11:00:24	23	19.5	43	37.5	17.9	716.74	23.5
16/04/2016	12:00:54	24.5	19.5	38.5	41	17.25	478.72	19
16/04/2016	13:00:24	21	22	27.5	46.5	18.04	336.96	5.5
16/04/2016	14:00:54	26	25	47.5	43.5	19.13	356.7	22.5
16/04/2016	15:00:24	21.5	23	28.5	43.5	19.11	347.53	5.5
16/04/2016	16:00:54	20.5	24	28	40.5	17.8	235.51	4
16/04/2016	17:00:24	17.5	18	28.5	38.5	15.34	47.58	10.5
16/04/2016	18:00:54	17.5	16	27.5	39	13.7	20.95	11.5
16/04/2016	19:00:24	16.5	15.5	27.5	39	12.94	0	12
16/04/2016	20:00:54	15.5	15.5	28.5	39	13.01	0	13
16/04/2016	21:00:24	14.5	15.5	28.5	38.5	12.66	0	13
16/04/2016	22:00:54	14	14.5	25	37.5	12.65	0	10.5
16/04/2016	23:00:24	14.5	13.5	21	36	12.66	0	7.5
SALTO TERMICO MAXIMO								
16/04/2016	11:00:24	23	19.5	43	39	19.21	716.74	23.5

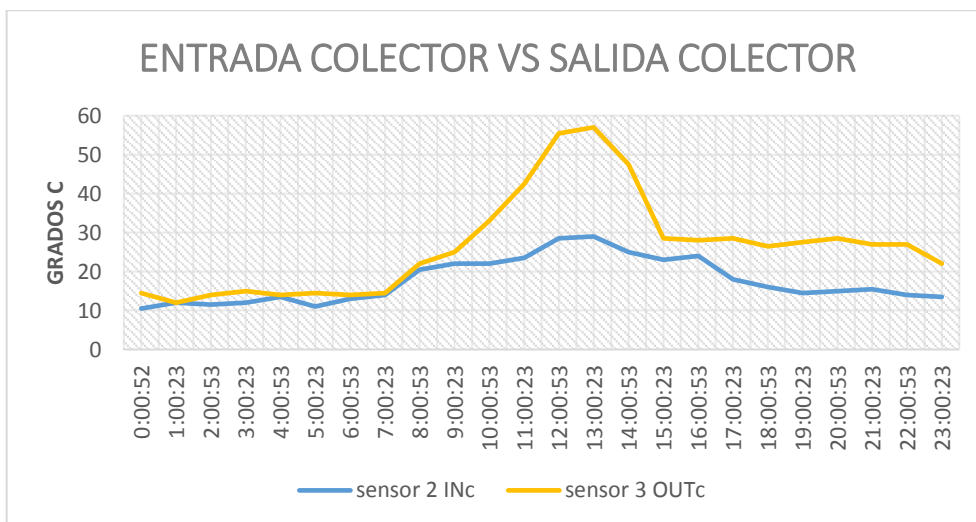


fecha	hora	sensor 1 INr	sensor 2 INc	sensor 3 OUTc	sensor 4 OUTr	T		Radiacion [W/m ²]	AT
						ambiente [°C]			
17/04/2016	0:00:52	10	10.5	14.5	12.5	13.1		0	4
17/04/2016	1:00:23	11	12	12	12.5	13.34		0	0
17/04/2016	2:00:53	11.5	11.5	14	12.5	13.4		0	2.5
17/04/2016	3:00:23	11.5	12	15	11.5	13.36		0	3
17/04/2016	4:00:53	12	13.5	14	11.5	13.22		0	0.5
17/04/2016	5:00:23	10	11	14.5	11	12.82		0	3.5
17/04/2016	6:00:53	11	13	14	11	12.78		0	1
17/04/2016	7:00:23	15	12	14.5	12	12.69	18.45		2.5
17/04/2016	8:00:53	17.5	14.5	25	27	14.1	136.27		10.5
17/04/2016	9:00:23	19	17	36	27.5	17.04	403.74		19
17/04/2016	10:00:53	21.5	19.5	42.5	28.5	19.08	395.44		23
17/04/2016	11:00:23	23	23.5	42.5	37.5	20.75	490.86		19
17/04/2016	12:00:53	24.5	24	49.5	41	21.5	885.44		25.5
17/04/2016	13:00:23	21	22	42	46.5	21.9	681.73		20
17/04/2016	14:00:53	26	25	47.5	43.5	22.16	314.7		22.5
17/04/2016	15:00:23	21.5	23	28.5	43.5	21.83	101.64		5.5
17/04/2016	16:00:53	20.5	24	28	40.5	21.27	126.61		4
17/04/2016	17:00:23	17.5	18	28.5	38.5	20.45	99.62		10.5
17/04/2016	18:00:53	17.5	16	27.5	39	18.69	40.32		11.5
17/04/2016	19:00:23	16.5	14.5	27.5	39	17.16	0.14		13
17/04/2016	20:00:53	15.5	15	28.5	39	15.92	0		13.5
17/04/2016	21:00:23	14.5	15.5	28.5	38.5	14.3	0		13
17/04/2016	22:00:53	14	14	26	37.5	14.13	0		12
17/04/2016	23:00:23	14.5	13.5	22	36	13.83	0		8.5
SALTO TERMICO MAXIMO									
17/04/2016	12:00:53	24.5	24	49.5	41	20.73	885.44		25.5

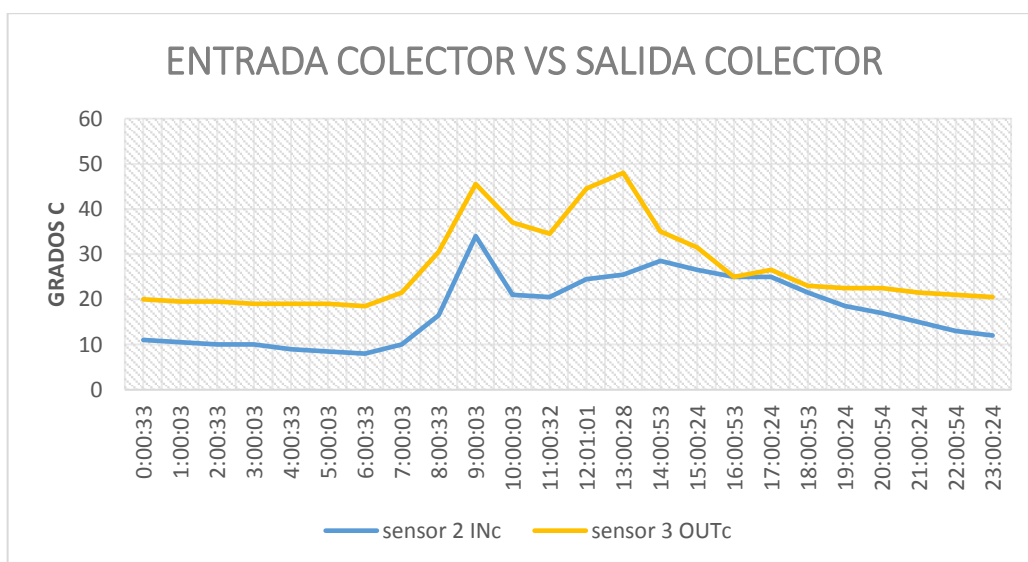


fecha	hora	sensor 1 INr	sensor 2 INc	sensor 3 OUTc	sensor 4 OUTr	T ambiente [°C]	Radiacion [W/m2]	AT
18/04/2016	0:00:52	11	10.5	14.5	12.5	13.1	0	4
18/04/2016	1:00:23	10	12	12	12.5	12.98	0	0
18/04/2016	2:00:53	10.5	11.5	14	12.5	11.78	0	2.5
18/04/2016	3:00:23	10	12	15	11.5	11.23	0	3
18/04/2016	4:00:53	11	13.5	14	11.5	11.54	0	0.5
18/04/2016	5:00:23	10	11	14.5	11	10.86	0	3.5
18/04/2016	6:00:53	10	13	14	11	10.89	0	1
18/04/2016	7:00:23	11.5	14	14.5	12	12.65	23.34	0.5
18/04/2016	8:00:53	14.5	20.5	22	16	15.07	127.41	1.5
18/04/2016	9:00:23	15	22	25	21	16.77	466.22	3
18/04/2016	10:00:53	20.5	22	33	24.5	18.46	636.83	11
18/04/2016	11:00:23	23	23.5	42.5	37.5	19.75	666.58	19
18/04/2016	12:00:53	24.5	28.5	55.5	41	20.73	1035.02	27
18/04/2016	13:00:23	21	29	57	46.5	20.67	1034.64	28
18/04/2016	14:00:53	24	25	47.5	43.5	21.9	394.72	22.5
18/04/2016	15:00:23	21.5	23	28.5	43.5	22	307.06	5.5
18/04/2016	16:00:53	21.5	24	28	40.5	20.13	352.18	4
18/04/2016	17:00:23	17.5	18	28.5	38.5	16.96	162.73	10.5
18/04/2016	18:00:53	17.5	16	26.5	39	15.05	39.85	10.5
18/04/2016	19:00:23	16.5	14.5	27.5	39	14.72	0	13
18/04/2016	20:00:53	15.5	15	28.5	39	14.41	0	13.5
18/04/2016	21:00:23	14.5	15.5	27	38.5	13.09	0	11.5
18/04/2016	22:00:53	14	14	27	37.5	13.8	0	13
18/04/2016	23:00:23	14.5	13.5	22	36	13.52	0	8.5

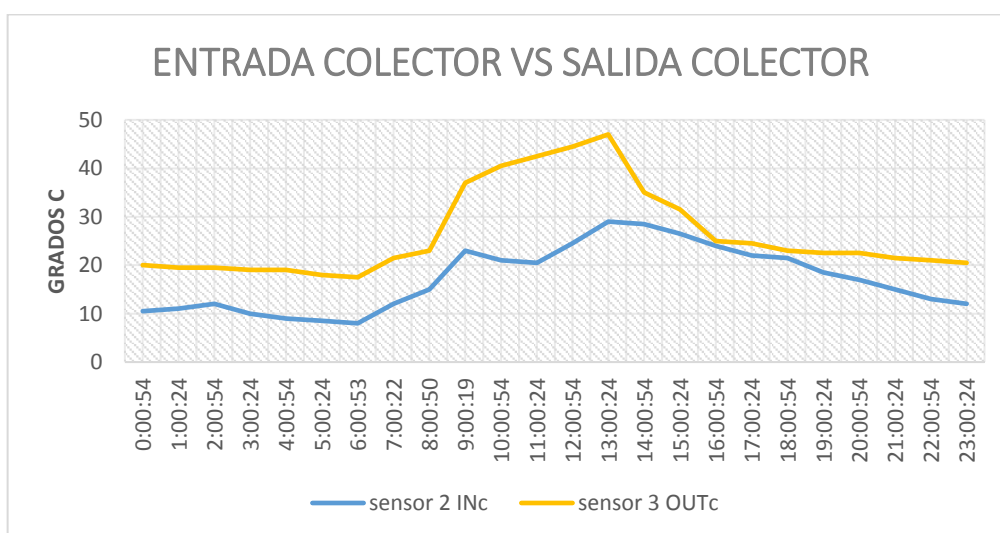
SALTO TERMICO MAXIMO



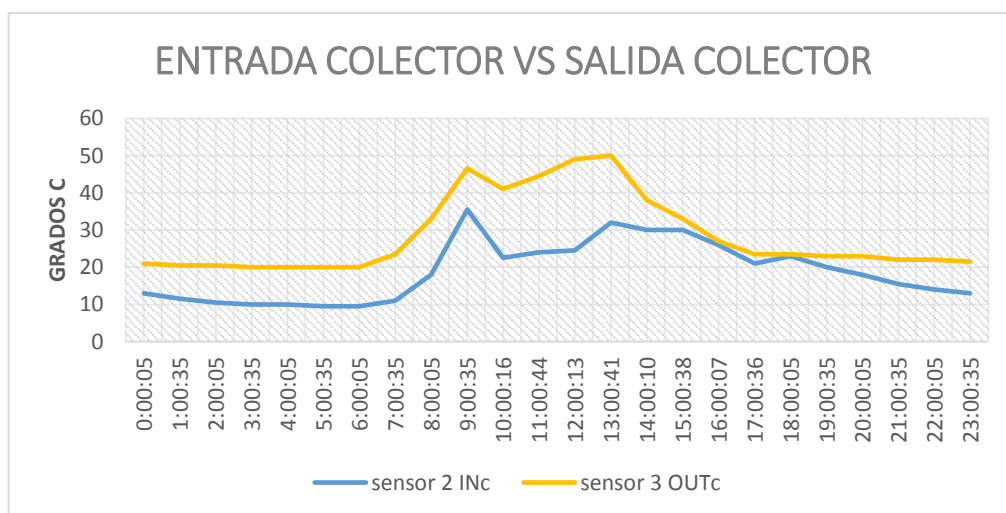
fecha	hora	sensor 1 INr	sensor 2 INc	sensor 3 OUTc	sensor 4 OUTr	T ambiente [°C]	Radiacion [W/m2]	AT
19/04/16	0:00:33	12	11	20	33.5	13.1	0	9
19/04/16	1:00:03	11.5	10.5	19.5	34	13.34	0	9
19/04/16	2:00:33	11	10	19.5	33.5	13.4	0	9.5
19/04/16	3:00:03	10.5	10	19	32.5	12.1	0	9
19/04/16	4:00:33	10	9	19	32.5	12.7	0	10
19/04/16	5:00:03	10	8.5	19	32.5	11.1	0	10.5
19/04/16	6:00:33	10	8	18.5	32	10.8	0	10.5
19/04/16	7:00:03	11.5	10	21.5	25	12.69	35.88	11.5
19/04/16	8:00:33	13	16.5	30.5	22	14.1	205.45	14
19/04/16	9:00:03	15	34	45.5	19.5	17.04	447.27	11.5
19/04/16	10:00:03	22.5	21	37	24	19.08	712.42	16
19/04/16	11:00:32	22.5	20.5	34.5	31	20.75	911	14
19/04/16	12:01:01	22.5	24.5	44.5	39.5	21.5	786.43	20
19/04/16	13:00:28	23	25.5	48	42	21.9	1062.81	22.5
19/04/16	14:00:53	22	28.5	35	40	22.16	454.35	6.5
19/04/16	15:00:24	21.5	26.5	31.5	39	21.83	474.63	5
19/04/16	16:00:53	21	25	25	39	21.27	318.75	0
19/04/16	17:00:24	19	25	26.5	37.5	20.45	170.24	1.5
19/04/16	18:00:53	17.5	21.5	23	37.5	18.69	40.46	1.5
19/04/16	19:00:24	16.5	18.5	22.5	36.5	17.16	0.23	4
19/04/16	20:00:54	15.5	17	22.5	36	15.92	0	5.5
19/04/16	21:00:24	14.5	15	21.5	35	14.3	0	6.5
19/04/16	22:00:54	13	13	21	34.5	14.13	0	8
19/04/16	23:00:24	12.5	12	20.5	34	13.83	0	8.5
SALTO TERMICO MAXIMO								
19/04/16	13:00:28	23	25.5	48	42	21.9	1062.81	22.5



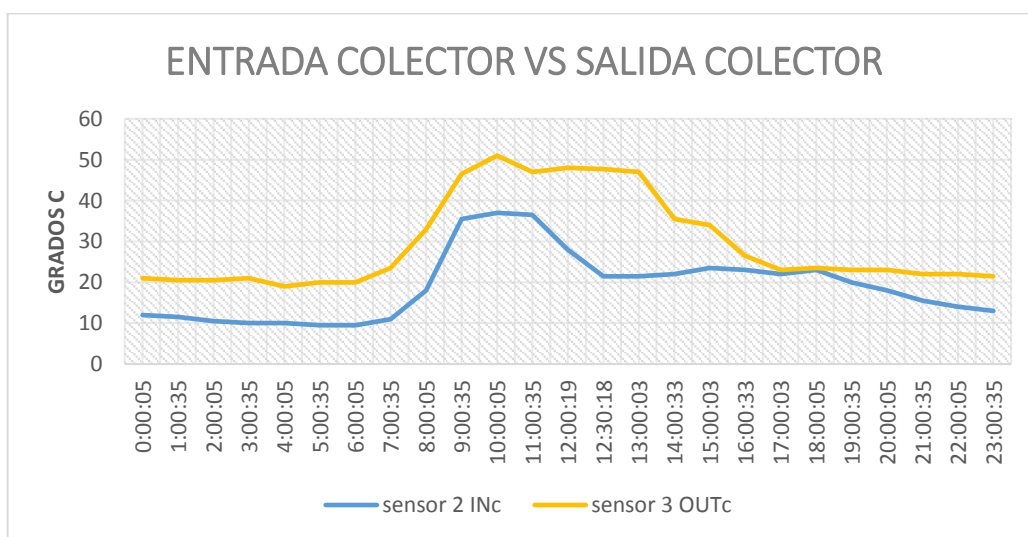
fecha	hora	T				ambiente [°C]	Radiacion [W/m ²]	AT
		sensor 1 INr	sensor 2 INc	sensor 3 OUTc	sensor 4 OUTr			
20/04/2016	0:00:54	12	10.5	20	31	11.4	0	9.5
20/04/2016	1:00:24	11.5	11	19.5	34	11.47	0	8.5
20/04/2016	2:00:54	11	12	19.5	32	11.33	0	7.5
20/04/2016	3:00:24	10.5	10	19	32	12.86	0	9
20/04/2016	4:00:54	10	9	19	32.5	11.3	0	10
20/04/2016	5:00:24	10	8.5	18	33	11.37	0	9.5
20/04/2016	6:00:53	11.5	8	17.5	32	11.78	0	9.5
20/04/2016	7:00:22	15	12	21.5	32	11.46	29.69	9.5
20/04/2016	8:00:50	15	15	23	23	12.53	223.79	8
20/04/2016	9:00:19	14	23	37	23	14.67	468.33	14
20/04/2016	10:00:54	22.5	21	40.5	18	16.92	674.12	19.5
20/04/2016	11:00:24	22.5	20.5	42.5	32	17.9	876.61	22
20/04/2016	12:00:54	22.5	24.5	44.5	36.5	17.25	580.79	20
20/04/2016	13:00:24	24	29	47	40	18.04	738.06	18
20/04/2016	14:00:54	22	28.5	35	41	19.13	505.96	6.5
20/04/2016	15:00:24	21.5	26.5	31.5	40	19.11	534.73	5
20/04/2016	16:00:54	21	24	25	39	17.8	387.17	1
20/04/2016	17:00:24	19	22	24.5	38	15.34	172.17	2.5
20/04/2016	18:00:54	17.5	21.5	23	37.5	13.7	31.82	1.5
20/04/2016	19:00:24	16.5	18.5	22.5	36	12.94	0.09	4
20/04/2016	20:00:54	15.5	17	22.5	36.5	13.01	0	5.5
20/04/2016	21:00:24	14.5	15	21.5	35.5	12.66	0	6.5
20/04/2016	22:00:54	13	13	21	35	12.65	0	8
20/04/2016	23:00:24	12.5	12	20.5	35	12.66	0	8.5
SALTO TERMICO MAXIMO								
20/04/2016	11:00:24	22.5	20.5	42.5	32	17.9	876.61	22



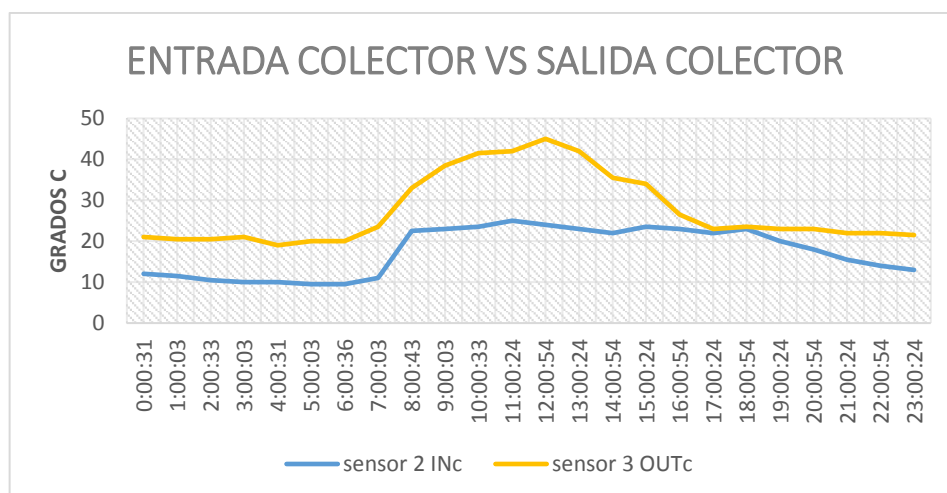
fecha	hora	sensor 1 INr	sensor 2 INc	sensor 3 OUTc	sensor 4 OUTr	T		Radiacion [W/m2]	AT
						ambiente [°C]			
21/04/2016	0:00:05	13.5	13	21	36	12		0	8
21/04/2016	1:00:35	12	11.5	20.5	35.5	11.6		0	9
21/04/2016	2:00:05	11.5	10.5	20.5	34.5	11.33		0	10
21/04/2016	3:00:35	11	10	20	34.5	12.86		0	10
21/04/2016	4:00:05	11.5	10	20	34	11.8		0	10
21/04/2016	5:00:35	11.5	9.5	20	34	10.5		0	10.5
21/04/2016	6:00:05	11.5	9.5	20	33.5	12.76		0	10.5
21/04/2016	7:00:35	17.5	11	23.5	34	11.46	45.65		12.5
21/04/2016	8:00:05	24	18	33	34.5	12.53	179.76		15
21/04/2016	9:00:35	30	35.5	46.5	38.5	14.67	465.84		11
21/04/2016	10:00:16	23	22.5	41	47	16.92	627.07		18.5
21/04/2016	11:00:44	23	24	44.5	48	17.9	829.75		20.5
21/04/2016	12:00:13	24.5	24.5	49	49.5	17.89	991.89		24.5
21/04/2016	13:00:41	26	32	50	48	18.04	808.21		18
21/04/2016	14:00:10	24	30	38	43.5	19.9	526.91		8
21/04/2016	15:00:38	23.5	30	33	43	19.11	389.41		3
21/04/2016	16:00:07	22	26	27	40	17.8	121.04		1
21/04/2016	17:00:36	19.5	21	23.5	38.5	15.34	109.3		2.5
21/04/2016	18:00:05	18	23	23.5	39	13.7	13.84		0.5
21/04/2016	19:00:35	16.5	20	23	38.5	12.94	0		3
21/04/2016	20:00:05	15.5	18	23	37.5	13.01	0		5
21/04/2016	21:00:35	14.5	15.5	22	37.5	12.66	0		6.5
21/04/2016	22:00:05	14	14	22	36	12.9	0		8
21/04/2016	23:00:35	13.5	13	21.5	36.5	12.66	0		8.5
SALTO TERMICO MAXIMO									
21/04/2016	12:00:13	24.5	24.5	49	49.5	17.89	991.89		24.5



fecha	hora	sensor 1 INr	sensor 2 INc	sensor 3 OUTc	sensor 4 OUTr	T	Radiacion [W/m2]	AT
						ambiente [°C]		
22/04/2016	0:00:05	11	12	21	33	11.23	0	9
22/04/2016	1:00:35	12	11.5	20.5	35.5	12.12	0	9
22/04/2016	2:00:05	12	10.5	20.5	35	11.65	0	10
22/04/2016	3:00:35	11	10	21	33	11.9	0	11
22/04/2016	4:00:05	10.5	10	19	34	11.34	0	9
22/04/2016	5:00:35	11.5	9.5	20	33.5	10.32	0	10.5
22/04/2016	6:00:05	11.5	9.5	20	33.5	11.78	0	10.5
22/04/2016	7:00:35	17.5	11	23.5	34	11.46	27.81	12.5
22/04/2016	8:00:05	24	18	33	34.5	12.53	211.54	15
22/04/2016	9:00:35	30	35.5	46.5	38.5	14.67	465.27	11
22/04/2016	10:00:05	27	37	51	44	16.92	686.55	14
22/04/2016	11:00:35	25.5	36.5	47	46.5	18.65	798.51	10.5
22/04/2016	12:00:19	14.5	28	48	45.5	19.45	1038.17	20
22/04/2016	12:30:18	21	21.5	47.7	26.5	19.17	1005.50	26.2
22/04/2016	13:00:03	22.5	21.5	47	30.5	18.89	972.83	25.5
22/04/2016	14:00:33	23	22	35.5	33	19.9	367.41	13.5
22/04/2016	15:00:03	22	23.5	34	33	19.11	508.65	10.5
22/04/2016	16:00:33	21.5	23	26.5	32	17.8	343.12	3.5
22/04/2016	17:00:03	20	22	23	31.5	15.34	143.26	1
22/04/2016	18:00:05	18	23	23.5	39	13.7	42.28	0.5
22/04/2016	19:00:35	16.5	20	23	38.5	12.94	0.01	3
22/04/2016	20:00:05	15.5	18	23	37.5	13.01	0	5
22/04/2016	21:00:35	14.5	15.5	22	37.5	12.66	0	6.5
22/04/2016	22:00:05	14	14	22	36	12.9	0	8
22/04/2016	23:00:35	13.5	13	21.5	36.5	12.66	0	8.5
SALTO TERMICO MAXIMO								
22/04/2016	12:30:18	21	21.5	47.7	26.5	19.17	1005.50	26.2



fecha	hora	sensor 1 INr	sensor 2 INc	sensor 3 OUTc	sensor 4 OUTr	T	Radiacion [W/m ²]	AT
						ambiente [°C]		
23/04/2016	0:00:31	11	12	21	32	10.5	0	9
23/04/2016	1:00:03	11	11.5	20.5	33	11.89	0	9
23/04/2016	2:00:33	11	10.5	20.5	31	12.87	0	10
23/04/2016	3:00:03	12	10	21	31	11.78	0	11
23/04/2016	4:00:31	10	10	19	32	11.2	0	9
23/04/2016	5:00:03	10	9.5	20	33.5	10.65	0	10.5
23/04/2016	6:00:36	10.5	9.5	20	33.5	11.78	0	10.5
23/04/2016	7:00:03	14	11	23.5	34	11.46	53.82	12.5
23/04/2016	8:00:43	19	22.5	33	34.5	12.53	224.06	10.5
23/04/2016	9:00:03	30	23	38.5	38.5	14.67	178.43	15.5
23/04/2016	10:00:33	27	23.5	41.5	44	16.92	354.79	18
23/04/2016	11:00:24	25.5	25	42	44	18.65	471.27	17
23/04/2016	12:00:54	21	24	45	42	19.45	694.57	21
23/04/2016	13:00:24	22.5	23	42	39	18.89	556.1	19
23/04/2016	14:00:54	23	22	35.5	33	19.9	420.87	13.5
23/04/2016	15:00:24	22	23.5	34	33	19.11	286.14	10.5
23/04/2016	16:00:54	21.5	23	26.5	32	17.8	179.08	3.5
23/04/2016	17:00:24	20	22	23	31.5	15.34	77.76	1
23/04/2016	18:00:54	18	23	23.5	39	13.7	15.35	0.5
23/04/2016	19:00:24	16.5	20	23	38.5	12.94	0	3
23/04/2016	20:00:54	15.5	18	23	37.5	13.01	0	5
23/04/2016	21:00:24	14.5	15.5	22	37.5	12.66	0	6.5
23/04/2016	22:00:54	14	14	22	36	12.9	0	8
23/04/2016	23:00:24	13.5	13	21.5	36.5	12.66	0	8.5
SALTO TERMICO MAXIMO								
23/04/2016	12:00:19	21	24	45	42	19.45	694.57	21



fecha	hora	sensor 1 INr	sensor 2 INc	sensor 3 OUTc	sensor 4 OUTr	T	Radiacion [W/m2]	AT
						ambiente [°C]		
24/04/2016	0:00:54	10.5	12	19	29	10.5	0	7
24/04/2016	1:00:24	10.5	11.5	21	28	11.89	0	9.5
24/04/2016	2:00:54	11	10.5	18	30	11.43	0	7.5
24/04/2016	3:00:24	11.5	10	19.5	31	10.76	0	9.5
24/04/2016	4:00:54	10	10	19	32	11.2	0	9
24/04/2016	5:00:24	10	9.5	20	31	10.65	0	10.5
24/04/2016	6:00:54	10.5	9.5	21	32	11.78	0	11.5
24/04/2016	7:00:24	13	11	23.5	34	11.46	12.72	12.5
24/04/2016	8:00:54	19	22.5	33	34.5	12.53	96.35	10.5
24/04/2016	9:00:24	30	22	38.5	38.5	13.67	302.59	16.5
24/04/2016	10:00:54	27	22	41.5	38	14.5	329.98	19.5
24/04/2016	11:00:47	25.5	25	42	40	16.78	424.67	17
24/04/2016	12:00:18	19	23	43	39	17.43	592.81	20
24/04/2016	13:00:55	22.5	23	42	39	17.54	315.74	19
24/04/2016	14:00:25	23	22	35.5	33	16.6	202.62	13.5
24/04/2016	15:00:23	22	23.5	34	33	16.6	322.11	10.5
24/04/2016	16:00:53	21.5	23	26.5	32	16.5	421.04	3.5
24/04/2016	17:00:23	20	22	23	31.5	15.34	101.36	1
24/04/2016	18:00:53	18	23	23.5	39	13.7	23.75	0.5
24/04/2016	19:00:23	16.5	20	23	38.5	12.94	0	3
24/04/2016	20:00:53	15.5	18	23	37.5	13.01	0	5
24/04/2016	21:00:23	14.5	15.5	22	37.5	12.66	0	6.5
24/04/2016	22:00:53	14	14	22	36	12.9	0	8
24/04/2016	23:00:23	13.5	13	21.5	36.5	12.66	0	8.5
SALTO TERMICO MAXIMO								
24/04/2016	12:00:18	19	23	43	39	17.43	592.81	20

