



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

Carrera de Ingeniería Electromecánica

Diseño de un sistema solar de calentamiento de agua sanitaria para faenamiento avícola en la ciudad de Catamayo

Trabajo de Titulación previo a la
obtención del Título de Ingeniero
Electromecánico

AUTOR:

Dennis Andrés Yaguana Cañar

DIRECTOR:

Ing. Milton Amable León Tapia, Mg. Sc.

LOJA - ECUADOR

2023

Certificación

Loja, 5 de septiembre del 2022

Ing. Milton Amable León Tapia, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de un sistema solar de calentamiento de agua sanitaria para faenamiento avícola en la ciudad de Catamayo**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Electromecánico**, de la autoría de la estudiante **Dennis Andrés Yaguana Cañar**, con **cédula de identidad Nro.1724396716**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:

**MILTON
AMABLE LEON**

Ing. Milton Amable León Tapia, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Dennis Andrés Yaguana Cañar**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional - Biblioteca Virtual.

Firma: 

Cédula: 1724396716

Fecha: 22/02/2023

Correo electrónico: dennis.yaguana@unl.edu.ec

Teléfono: 0985313325

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Dennis Andrés Yaguana Cañar**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de un sistema solar de calentamiento de agua sanitaria para faenamiento avícola en la ciudad de Catamayo.**, como requisito para optar el grado de: **Ingeniero Electromecánico**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional. Los usuarios pueden consultar de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con los cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de titulación que realice un tercero.

Para la constancia de esta autorización en la ciudad de Loja, los veintidós días del mes de febrero del dos mil veintitrés.

Firma:



Autor: Dennis Andrés Yaguana Cañar

Cédula: 1724396716

Dirección: Catamayo, Calle Haití Y Panamá.

Correo electrónico: dennis.yaguana@unl.edu.ec

Teléfono celular: 0985313325

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del trabajo de titulación: Ing. Milton Amable León Tapia, Mg. Sc.

Dedicatoria

A Dios por haberme dado la fortaleza y salud para permitirme alcanzar mis objetivos de culminar mis estudios universitarios con éxito llenándome de su amor y bondad.

A mis padres Ufredo Fernández, Blanca Cañar y Gonzalo Yaguana que con su infinito amor depositaron su fe, enseñanzas y consejos en mí, apoyándome en todo momento y motivándome a ser una persona de bien. A mi abuela Melva Ordoñez y demás familiares que siempre se preocuparon por mi bienestar y velaron por mi educación en todo momento inculcándome perseverancia y constancia para alcanzar mis metas.

Finalmente, a los docentes que conforman esta prestigiosa institución a quienes admiro, que me impartieron sus conocimientos con responsabilidad durante mi formación como profesional.

Dennis Andrés Yaguana Cañar

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de Loja, por abrirme las puertas y permitirme estudiar la carrera de mis sueños, así como a los diferentes docentes de la carrera de Ingeniería en Electromecánica que con profesionalismo supieron impartirme sus conocimientos académicos y valores humanos.

Mis sinceros agradecimientos al Ing. Milton León Tapia, que con ética y profesionalismo dirigió el presente trabajo de investigación, por haberme compartido su conocimiento y experiencia durante el periodo de tutorías, así como también haberme tenido paciencia durante el desarrollo del mismo.

A mis familiares y amigos que con paciencia siempre creyeron en mi capacidad intelectual, gracias por todo el amor y cariño demostrado durante mi formación académica.

Con mucha admiración y respeto.

Dennis Andrés Yaguana Cañar

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de Tablas	xii
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Anexos.....	xiv
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. Eficiencia Energética.....	6
4.2. Recurso solar	6
4.3. Radiación solar.....	6
4.3.1. Tipos de radiación solar sobre una superficie.....	7
4.3.2. Radiación solar en la provincia de Loja.....	8
4.4. Energía solar térmica.....	10
4.4.1. Tipos de sistemas solares térmicos según su funcionamiento	11
4.4.2. Sistemas que conforman una instalación de energía solar térmica.....	14
4.5. Clasificación de los colectores solares	15
4.5.1. Colectores de copolímero (plástico)	16

4.5.2.	Colectores de placa plana (CPP).....	16
4.5.3.	Colectores concentradores parabólicos compuestos (CPC).....	18
4.5.4.	Colectores de tubos de vacío (CTV).....	18
4.6.	Escaldado avícola.....	21
5.	Metodología	23
5.1.	Materiales.....	23
5.2.	Métodos.....	23
5.2.1.	Consumo de ACS.....	24
5.2.2.	Tipo de colector	24
5.2.3.	Método de cálculo de las curvas de f (f-chart).....	24
5.2.3.1.	Demanda energética	25
5.2.3.2.	Inclinación óptima de los colectores	25
5.2.3.3.	Sombras	26
5.2.3.4.	Pérdidas por orientación e inclinación.....	26
5.2.3.5.	Superficie de captación.....	27
5.2.3.6.	Cálculo de f-Chart	27
5.2.3.7.	Cálculo del parámetro Y.....	28
5.2.3.8.	Cálculo del parámetro X.....	28
5.2.3.9.	Cálculo de la energía útil mensual.....	29
5.2.3.10.	Cálculo de la cobertura solar anual (%)	30
5.2.3.11.	Temperatura del agua alcanzada por el sistema	30
5.2.3.12.	Rendimiento anual del sistema.....	31
5.2.4.	Sistema de acumulación.....	31
5.2.4.1.	Volumen del depósito de almacenamiento.....	31
5.2.4.2.	Pérdida de calor en el depósito de almacenamiento	31
5.2.5.	Sistema auxiliar.....	33

5.2.6.	Sistema hidráulico.....	33
5.2.6.1.	Tuberías	33
5.2.6.2.	Circuito primario	34
5.2.6.3.	Dimensionamiento de tuberías	34
5.2.6.4.	Aislamiento de tuberías	35
5.2.6.5.	Pérdidas de carga en la tubería	36
5.2.6.6.	Circuito secundario.....	37
5.2.6.7.	Circuito de consumo.....	38
5.2.7.	Vaso de expansión	38
5.2.8.	Estudio económico.....	40
5.2.8.1.	Ahorro anual.....	40
5.2.8.2.	Periodo de amortización	41
5.2.9.	Emisiones de CO ₂ evitadas	41
6.	Resultados.....	42
6.1.	Descripción del lugar de aplicación	42
6.2.	Recurso solar	43
6.3.	Contribución solar	44
6.4.	Tipo de colector.....	44
6.5.	Tipo de sistema.....	45
6.6.	Demanda energética de ACS.....	45
6.7.	Orientación e inclinación óptima de los colectores.....	46
6.8.	Irradiación sobre la superficie con pérdidas por sombras	47
6.9.	Irradiación sobre la superficie inclinada con pérdidas por sombra.....	49
6.10.	Perdidas por orientación e inclinación.....	49
6.11.	Sistema de captación	51
6.11.1.	Predimensionado de la superficie necesaria de captación.....	51

6.11.2.	Selección del colector solar	51
6.11.3.	Superficie de captación	52
6.11.4.	Cálculo del parámetro Y	52
6.11.5.	Cálculo del parámetro X	53
6.11.6.	Fracción calorífica mensual	54
6.11.7.	Energía útil mensual.....	55
6.11.8.	Cobertura solar anual (%)	55
6.11.9.	Temperatura del agua alcanzada por el sistema	56
6.11.10.	Rendimiento anual del sistema.....	56
6.12.	Sistema de acumulación	57
6.12.1.	Selección del depósito de almacenamiento	57
6.12.2.	Pérdidas térmicas en el depósito de almacenamiento	59
6.13.	Sistema auxiliar	63
6.14.	Sistema hidráulico	65
6.14.1.	Caudal total del circuito primario.....	66
6.14.2.	Diámetro de tuberías	67
6.14.3.	Aislamiento de las tuberías	68
6.14.4.	Pérdidas de carga en las tuberías.....	68
6.14.5.	Circuito secundario	71
6.14.6.	Circuito de consumo.....	72
6.15.	Vaso de expansión	72
6.16.	Estudio económico	74
6.16.1.	Presupuesto.....	74
6.16.2.	Ahorro anual.....	75
6.16.3.	Periodo de amortización.....	77
6.17.	Emisiones de CO ₂ evitadas.....	78

7. Discusión	79
8. Conclusiones	81
9. Recomendaciones	82
10. Bibliografía	83
11. Anexos	88

Índice de Tablas:

Tabla 1. Sistemas solares de concentración según su temperatura de aplicación.....	11
Tabla 2. Datos de Irradiación horizontal global del lugar de la avícola.....	43
Tabla 3. Rango de valores de irradiación diaria para las regiones del Ecuador.....	44
Tabla 4. Contribución solar mínima para la obtención de ACS.....	44
Tabla 5. Demanda energética total mensual.....	46
Tabla 6. Puntos del perfil del horizonte.....	48
Tabla 7. Irradiación global con sombreado de horizonte.....	48
Tabla 8. Irradiación global en plano inclinado con sombra.....	49
Tabla 9. Cálculo del parámetro Y.....	53
Tabla 10. Cálculo del parámetro X.....	54
Tabla 11. Cálculo de la fracción calorífica mensual.....	54
Tabla 12. Cálculo de la energía útil mensual.....	55
Tabla 13. Cálculo de la cobertura solar anual.....	55
Tabla 14. Cálculo de la temperatura alcanzada por el sistema.....	56
Tabla 15. Cálculo del rendimiento anual del sistema.....	57
Tabla 16. Datos técnicos del Acumulador termosifón.....	57
Tabla 17. Reajuste del sistema con el volumen de 600 l.....	58
Tabla 18. Contribución energética del sistema auxiliar.....	64
Tabla 19. Accesorios hidráulicos que conforman el circuito primario.....	70
Tabla 20. Volumen comprendido en las tuberías del circuito primario.....	72
Tabla 21. Presupuesto estimado para la instalación del SST.....	75

Índice de Figuras:

Figura 1. Formas de radiación solar sobre una superficie.....	8
Figura 2. Irradiación solar global horizontal (GHI) anual en la provincia de Loja.....	10
Figura 3. Distribución de un colector de circulación natural.....	12
Figura 4. Componentes de la instalación con sistema de bombeo.....	13
Figura 5. Componentes de un colector solar plástico.....	16
Figura 6. Despiece del colector de placa plana con cubierta.....	17
Figura 7. Foto de un colector de placa plana sin cubierta.....	18
Figura 8. Colector solar de tubos de vacío.....	19
Figura 9. Colectores de vacío de flujo directo.....	20
Figura 10. Colectores de vacío con tubo de calor (Heat Pipe).....	21
Figura 11. Rendimiento instantáneo de diferentes tipos de colectores.....	24
Figura 12. Transferencia de calor para un cilindro.....	32
Figura 13. Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de un cilindro compuesto de tres capas sujeto a convección en ambos lados.....	33
Figura 14. Ubicación de la avícola.....	42
Figura 15. Dibujo lineal del horizonte por puntos y plano inclinado de 15°.....	47
Figura 16. Determinación de los límites superior e inferior en función de la inclinación del captado.....	50
Figura 17. Ajuste de la curva de eficiencia del colector Chromagen PA-F.....	52
Figura 18. Diagrama de flujo para determinar el coeficiente de convección h_2	62
Figura 19. Esquema del sistema hidráulico para el SST.....	66

Índice de Anexos:

Anexo 1. Diagrama de porcentaje de pérdidas de acuerdo la orientación e inclinación para 41°	88
Anexo 2. Datos meteorológicos importados de la base de datos de Meteonorm 8.0.....	89
Anexo 3. Datos de demanda de ACS durante el calentamiento en la avícola y temperatura de agua inicial de la red, obtenidos del trabajo de campo	89
Anexo 4. Sistema de calentamiento de agua sanitaria tipo termosifón disponibles en el mercado nacional.....	90
Anexo 5. Sistema de calentamiento de agua sanitaria tipo termosifón disponibles en la ciudad de Loja.....	95
Anexo 6. Datos técnicos del acumulador de 300 l disponible en el mercado.....	96
Anexo 7. Localización de la instalación del sistema solar en la propiedad de la avícola.....	97
Anexo 8. Espesor de referencia para aislamiento de tuberías.....	98
Anexo 9. Propiedades del agua saturada.....	99
Anexo 10. Propiedades del aire a la presión de 1 atm.....	100
Anexo 11. Certificación de traducción de resumen.....	101

1. Título

Diseño de un sistema solar de calentamiento de agua sanitaria para faenamiento avícola en la ciudad de Catamayo.

2. Resumen

El presente trabajo tiene como finalidad diseñar un Sistema Solar Térmico (SST) enfocado en la obtención y almacenamiento de agua caliente sanitaria para el proceso de faenamiento de pollos en una avícola de la ciudad de Catamayo. Consiste en una instalación de baja temperatura por circulación natural o termosifón para aplicaciones menores a 100 °C. Inicialmente se detalla la información más relevante acerca de la energía solar como fuente renovable y su aprovechamiento en lugares con mayor incidencia para la aplicación de sistemas térmicos, la clasificación de los distintos tipos de colectores solares y acumuladores según su funcionamiento. Se establece la demanda energética de agua caliente sanitaria (ACS) para el faenamiento mediante análisis de campo y recurso solar del lugar usando el software PVsyst 7.2, para poder emplear el método de cálculo de las curvas de f (f-chart) y obtener valores confiables sobre la energía útil aprovechada y rendimiento del sistema en un periodo anual. Después, se determina las dimensiones adecuadas para el sistema de acumulación, tuberías, aislamiento, y cálculo del sistema auxiliar para proporcionar la energía restante con el fin de cubrir en su totalidad la demanda energética necesaria para alcanzar la temperatura de 60 °C ideal para el escaldado de pollos. Todo el diseño del sistema se encuentra bajo las recomendaciones establecidas por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y normativas internacionales como el pliego de condiciones técnicas del IDEA. Finalmente, se presenta un estudio económico del sistema y se evalúa la cantidad de dinero ahorrado si se emplean fuentes energéticas convencionales, así como el periodo de retorno del capital invertido si se pone en funcionamiento el sistema diseñado.

Palabras claves: Sistema Solar Térmico (SST), Agua Caliente Sanitaria (ACS), Radiación Solar, Colectores solares, Termosifón, Termotanque, Escaldado avícola.

2.1. Abstract

The present research aims to design a Solar Thermal System (STE) focused on the production and storage of hot sanitary water for the slaughtering process of chickens in a poultry farm in the city of Catamayo. It consists of the installation of low temperature by a natural circulation or thermosiphon for applications below 100 °C. Initially, it detailed the most relevant information about solar energy as a renewable source and its use in places with a higher incidence for the application of thermal systems. Also, the classification of the different types of solar collectors and accumulators is according to their operation. The Domestic Hot Water (DHW) energy demand for the slaughterhouse is established through the field and solar resource analysis on the site using PVsyst 7.2 software, in order to use the f (f-chart) calculation method and obtain reliable data on the useful energy used and system performance over an annual period. After that, the appropriate dimensions for the accumulation system, piping, isolation, and calculation of the auxiliary system are determined to provide the remaining energy to fully cover the energy demand necessary to reach the ideal temperature of 60°C for broiler blanching. The entire system design is based on the recommendations established by the Ecuadorian Construction Standard (NEC) and international standards such as IDEA's technical specifications. Finally, an economic study of the system is presented and the amount of money saved if conventional energy sources are used is evaluated, as well as the payback period of the invested capital if the designed system is put into operation.

Keywords: Solar Thermal System (STE), Domestic Hot Water (DHW), Solar radiation, Solar collectors, Thermosiphon, Thermo tank, Poultry blanching.

3. Introducción

Desde la antigüedad, relatos de historiadores griegos explican que si una persona deseaba tomar un baño de agua caliente solamente bastaba hacer verter el agua sobre las piedras calientes en aquellos días soleados, desarrollando la iniciativa de aprovechar la energía solar con fines domésticos. Los colectores solares usan el mismo principio de captación de radiación solar para elevar la temperatura de un fluido que circula por el mismo, en este caso el agua. El uso de calentadores de agua solares se viene implementando desde hace más de 100 años, pues en 1909 el ingeniero William J. Bailey diseñó uno de los primeros colectores solares usando el efecto termosifón o por circulación natural con tanque de almacenamiento, estructura que en la actualidad sigue en uso.

Con el desarrollo continuo de la ciencia y tecnología para colectores solares, el aprovechamiento de la energía solar térmica ha logrado cubrir con total fiabilidad un buen porcentaje de las necesidades de agua caliente sanitaria (ACS), calefacción residencial e incluso con fines industriales. Para requerimientos domésticos, los sistemas solares térmicos (SST) han tenido muy buena acogida debido a que complementan la necesidad de ACS familiar al ser sistemas compactos y con un coste de mantenimiento muy bajo.

Desde las últimas décadas, se ha planteado la iniciativa de utilizar los sistemas solares de captación de energía para suplir las necesidades térmicas en los procesos que llevan a cabo las industrias y los sectores productivos. En el caso del sector avícola, para el proceso de faenamiento, hace uso de agua caliente a temperaturas entre 50 °C y 62 °C en la etapa de escaldado. Alcanzar estas temperaturas requiere usar un combustible convencional como el gas licuado de petróleo (GLP), resultando un problema de contaminación medioambiental. Diseñar un sistema solar térmico para esta industria sería muy útil y necesario para incorporarlo dentro del proceso de producción en el sector local, se lograría importantes beneficios económicos a largo plazo.

Uno de los requerimientos necesarios para que un sistema solar funcione con mucha eficiencia es la constante captación de radiación incidente en el lugar de emplazamiento y Ecuador es un país cuya localización geográfica en el planeta permite tener niveles de radiación solar óptimas para que los sistemas solares térmicos tengan mucho éxito en su implementación.

Por tal razón, el presente trabajo busca presentar un diseño de un sistema solar térmico para aprovechar el recurso solar incidente en la ciudad de Catamayo y así producir ACS almacenándola en un termotanque por circulación natural, permitiendo que se pueda llevar a cabo el proceso de escaldado dentro del faenamiento avícola de la industria local brindando una alternativa innovadora, sustentable y amigable con el ambiente.

Para su ejecución y con la finalidad de poner en práctica los conocimientos adquiridos durante el proceso de formación como profesional de la carrera de Ingeniería en Electromecánica se plantean los siguientes objetivos para el proyecto:

Objetivo General

Calcular y diseñar un sistema de calentamiento solar de agua sanitaria para ser usada en faenamiento avícola en la ciudad de Catamayo

Objetivos específicos

- Determinación de los parámetros específicos para el diseño del sistema.
- Cálculo, diseño y/o selección de los componentes del sistema.
- Análisis de costos para la implementación del sistema.

4. Marco teórico

4.1. Eficiencia Energética

La eficiencia energética representa el resultado de alcanzar la satisfacción de una necesidad usando métodos y recursos que minimizan la cantidad de energía consumida sin afectar la calidad de un servicio. “Es preciso tener presente que la eficiencia energética en su concepción más amplia pretende mantener el servicio prestado, reduciendo al mismo tiempo el consumo de energía” [1].

Es una práctica que actualmente está teniendo mucha acogida a nivel mundial, su aplicación garantiza la minimización de los problemas medioambientales y genera beneficios económicos a quien lo aplique. Además, es una excelente iniciativa para potenciar el desarrollo sostenible en el uso de los recursos naturales renovables disponibles en nuestro planeta.

4.2. Recurso solar

Durante 6.000 millones de años el sol ha sido la principal fuente de energía, en su núcleo existen varios elementos en estado gaseoso a elevadas temperaturas que desencadena un proceso de fusión nuclear siendo aquello el origen de la energía solar. Aún existe hidrógeno en su núcleo para mantenerse en constante disipación energética durante unos 8.000 millones de años más, por esta razón se la considera como una fuente energética inagotable.

Hay que tener claro que no toda la energía emitida por el sol llega de forma directa a la Tierra, pues solo una parte insignificante de esta energía es captada por la superficie terrestre a una distancia de 150 millones de kilómetros.

Se puede decir que esta potencia captada solo equivale alrededor de 173.000 TW y aun así este valor es 10.000 veces mayor que toda la energía necesaria que pueden producir los seres humanos para sus necesidades en la Tierra. El recurso solar tiene la particularidad de estar al alcance de cualquier persona, solo hace falta aplicar iniciativas innovadoras para poder aprovecharlo de forma gratuita.

4.3. Radiación solar

La radiación solar se considera como aquel flujo de energía que el sol emite en forma de ondas electromagnéticas, este flujo también es conocido como la irradiancia o insolación

por unidad de área y de tiempo. Esta energía nace por la fusión de gases en su núcleo, transfiriéndose hasta el exterior de la corona solar y consecuentemente ser irradiada al espacio exterior.

En base a la longitud de onda (λ), la radiación se clasifica en:

- Radiación luminosa, o también llamada luz visible comprende valores de $400 < \lambda < 760$ nm.
- Radiación ultravioleta, con valores de $\lambda < 400$ nm.
- Radiación infrarroja, con valores de $\lambda > 760$ nm, tiene la capacidad de generar un efecto calorífico.

La radiación solar que incide sobre la superficie terrestre puede variar debido a factores como la latitud, época del año, y hora del día, sin embargo, fuera de la atmosfera la radiación recibida puede considerarse constante [2]. Además, la forma elíptica de la órbita terrestre genera una fluctuación representativa entre la distancia entre la tierra y el sol y a pesar de esta excentricidad la intensidad de la radiación solar se considera como un valor constante.

Estudios desarrollados en la segunda mitad del siglo XX indican que se realizaron intentos de establecer el valor de aquella constante, hallando distintos valores que varían entre 1322 W/m^2 y 1395 W/m^2 , para finalmente en 1982 el Centro Mundial de Radiación (World Radiation Centre, o WRC) acogiera en base a los resultados de Duncan el valor medio de $G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$ como una constante oficial, siempre y cuando se admita un 1% de incertidumbre.

Luego de cruzar por la atmosfera compuesta por un conjunto de gases esta radiación puede ser redireccionada o absorbida por los mismos.

4.3.1. Tipos de radiación solar sobre una superficie

Hay que tener en cuenta que no toda la radiación que es interceptada por el planeta llega a la superficie terrestre, de hecho, tiene que sobrepasar las capas densas de la atmósfera. Cuando esta radiación entra en contacto con los gases que componen la atmosfera sufre una serie de procesos causando que la tercera parte de la radiación interceptada regresa al espacio, mientras que la radiación restante logra llegar a la superficie terrestre. Existen algunos tipos de irradiancia producto de la interacción y los efectos causados por la atmosfera sobre los rayos solares durante su paso.

- **Radiación Directa:** Es aquella radiación que no incide con ningún tipo de elemento en el camino, llegando de forma directa a la superficie terrestre sin haber tenido ningún tipo de desvío en su trayectoria. Es característica por ser la causante de generar sombras y ser la dominante en un día soleado.
- **Radiación Difusa:** Es característica en aquellos días nublados. Llega después de haber filtrado por las partículas contenidas en la atmósfera (nubes, polvo, partículas contaminantes), por lo que su trayectoria cambia de dirección.
- **Reflexividad o Albedo:** Es una parte de la energía solar que llega a la Tierra y es dispersada de regreso al espacio por la misma. Esta energía reflejada tiene una gran importancia tanto para el balance energético del planeta como para los procesos que gobiernan su magnitud, distribución y variabilidad que dan forma al clima y cambio climático [3]. Su magnitud de reflexividad de luz solar a nivel global es de 0.2 W/m^2 .
- **Radiación Global:** Es la sumatoria de la radiación directa y difusa.
- **Radiación Total:** Es la sumatoria de la radiación directa, difusa y el albedo.

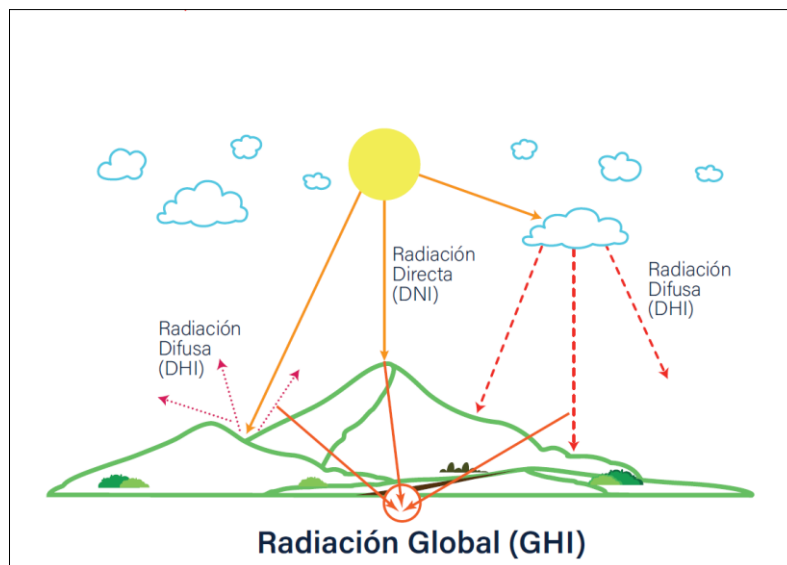


Figura 1. Formas de radiación solar sobre una superficie.

Fuente: [2].

4.3.2. Radiación solar en la provincia de Loja

Ecuador es considerado un país con una topográfica variada, gran diversidad climática, y de condiciones únicas que atribuyen un alto potencial en el aprovechamiento de las energías renovables para la cobertura de la demanda energética actual [4]. Al estar ubicado a la altura de la línea ecuatorial, tiene algunas ventajas en lo que a captación de la radiación solar se

refiere, entre estas es que presenta una pequeña variación en la insolación solar durante todo el año lo que se evita la utilización de acumuladores de energía.

Generalmente, las zonas de mayor altitud a nivel del mar como la región andina tienen niveles superiores de radiación solar en comparación con las demás regiones. A pesar del potencial solar que tiene el país, la participación de la energía solar en la matriz energética nacional tiene un porcentaje mínimo [2].

El Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en 2008 hizo público el documento “Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica”. Este fue desarrollado usando la base de datos del Laboratorio de Energías Renovables (NREL) de Estados Unidos, elaborando datos de promedios mensuales y anuales de estimaciones satelitales de radiación solar usando el modelo CSR (Climatological Solar Radiation Model). Luego, para el 2015 el NREL actualiza a una nueva base de datos con una resolución geográfica más precisa en base a un modelo matemático mejorado.

En base a esto, se realizó una actualización del mapa solar del Ecuador desarrollado por la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador usando los datos más actualizados del NREL y validando los resultados con la información de las estaciones meteorológicas del país [2].

En la Figura 2, se puede observar la irradiación solar global horizontal anual de la provincia de Loja, obtenida del Mapa Solar del Ecuador 2019, donde se cuenta con el mayor potencial solar del Ecuador continental con niveles de radiación desde los 4.2 hasta los 5.7 kWh/m²día [2]. En la ciudad de Catamayo, las industrias no están lo suficientemente desarrolladas, por lo que, si se implementa proyectos solares, se puede ayudar a diversificar la matriz productiva a nivel local.

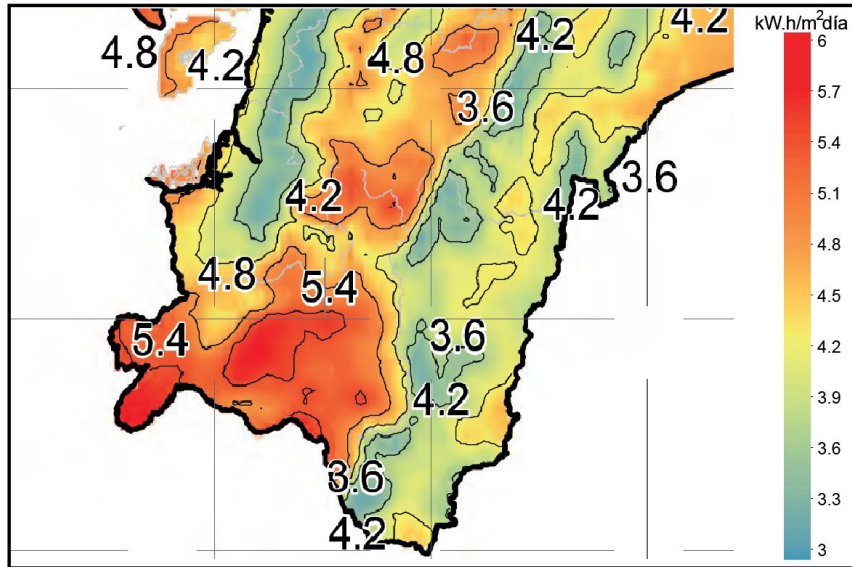


Figura 2. Irradiación solar global horizontal (GHI) anual en la provincia de Loja.

Fuente: [2].

4.4. Energía solar térmica

La energía solar térmica representa la acción de aprovechar la energía irradiada por el sol y convertirla en calor por medio de elementos que suelen ser comúnmente el aire o el agua [5]. También existe la opción de usar este tipo de energía solar térmica para la generación de electricidad, elevando la temperatura del agua a valores superiores a los 100°C para su evaporación y accionamiento de turbinas de generación eléctrica.

Existen tres tipos de colectores a elegir según la finalidad que se vaya a dar al sistema solar térmico como se muestra en la Tabla 1.

- **Colector de baja temperatura** – Para aplicaciones como servicios domiciliarios o pequeñas industrias.
- **Colector de temperatura media** – También conocida como ingeniería termosolar, usa tecnologías con sistemas de captación a temperaturas de $100^{\circ}\text{C} < T < 400^{\circ}\text{C}$.
- **Colector de alta temperatura** – Es aquel sistema basado en arquitecturas de alta concentración, generalmente son de tipo torre solar y disco solar.

Tabla 1. Sistemas solares de concentración según su temperatura de aplicación.

Temperatura de aplicación	Rango de temperaturas (°C)	Concentrador solar
Baja	≤ 120	Paneles solares CPC Tubos de vacío tipo V y tipo U
Media	100-300	CCP Frensel Lentes Frensel FMSC
	250-500	CCP Frensel
Alta	500-800	Torre solar Disco parabólico

Fuente: [6].

Ventajas

- Al ser una energía limpia, esta no emite ningún tipo de contaminación.
- Usa como fuente al sol, considerado como una fuente ilimitada.
- Está disponible en todos lados
- Requiere un mínimo mantenimiento.
- Proporciona un ahorro energético y económico.

Desventajas

- Es dependiente de altos niveles de radiación solar para cubrir la demanda.
- Requiere de una importante inversión inicial.
- Si la necesidad es a gran escala, se necesitaría de un gran terreno para su instalación.

4.4.1. Tipos de sistemas solares térmicos según su funcionamiento

Existen dos métodos para el calentamiento de agua en los colectores solares térmicos, los cuales son el sistema activo y pasivo. El sistema activo se caracteriza por usar energía adicional (eléctrica, mecánica o térmica) para poner en marcha su funcionamiento, una bomba incorporada en su ciclo abierto es un claro ejemplo de este sistema, es también conocida como sistema de circulación forzada. Por otro lado, el sistema pasivo o sistema de circulación natural,

únicamente usa la energía solar como recurso y por medio del efecto termosifón logra poner en funcionamiento la circulación del agua para su posterior almacenamiento.

Calentamiento del agua por termosifón

En este tipo de sistema, el agua al entrar al colector por la parte inferior es calentada, lo cual disminuye su densidad debido al incremento de la temperatura, entonces, el agua fría en la tubería de retorno al colector y el agua caliente dentro del mismo, se desequilibran, que, por gravedad la primera baje y empuje el agua caliente hacia el tanque [7].

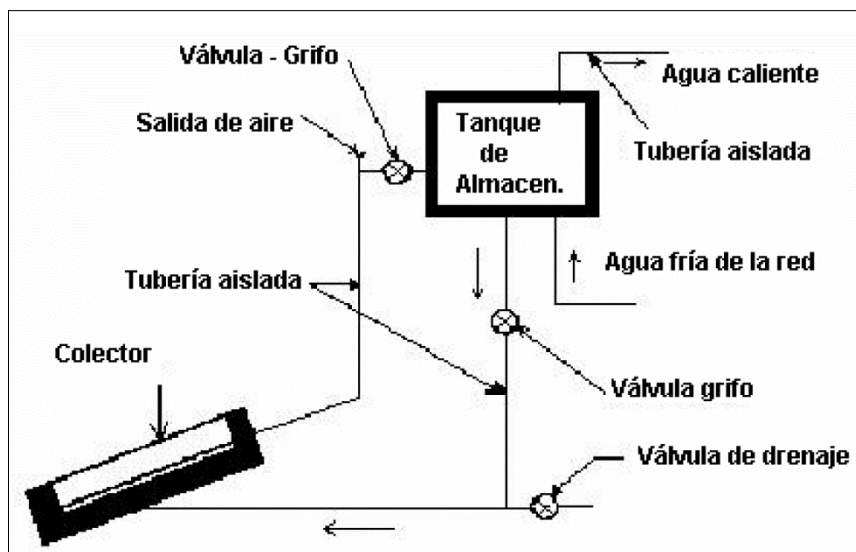


Figura 3. Distribución de un colector de circulación natural.

Fuente: [7].

El tanque de almacenamiento debe ser aislado para mantener la temperatura del agua y para su uso, por gravedad se distribuye a las distintas salidas de agua caliente del lugar (Figura 3). Sus ventajas son la fácil instalación y mantenimiento por ser un sistema simple de bajo costo. Sus desventajas principales son la dependencia de un sistema auxiliar para cubrir la temperatura de demanda la cual no tiene control y es dependiente de la presión del agua en entrada al lugar donde se quiere instalar.

Calentamiento del agua usando sistema de bombeo

Este sistema comprende el colector solar, tanque de almacenamiento, bomba para la circulación de agua, equipo de calentamiento adicional, sistemas de control de presión y temperatura (Figura 4). Es común encontrarlos en residencias, la implementación del sistema de bombeo permite tener un mayor rendimiento del colector junto con el sistema de control

que permite el accionamiento de la bomba cuando la diferencia de temperaturas del agua fría y caliente en la salida y entrada del colector respectivamente este entre 10 y 20°C.

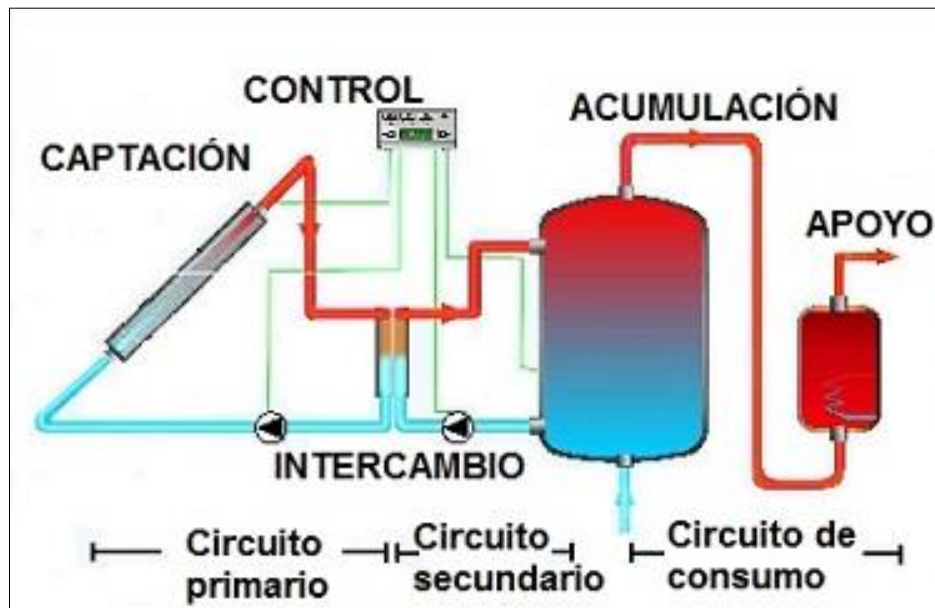


Figura 4. Componentes de la instalación con sistema de bombeo.

Fuente: [36].

Entre sus ventajas encontramos:

- Se puede implementar un tanque de almacenamiento de mayor dimensión sin afectar la estética del lugar.
- En casos donde se necesite temperaturas del agua más altas, se puede calentar en dos etapas: con calentamiento solar hasta cierta temperatura y luego alcanzar la temperatura deseada con equipo de respaldo.
- Presenta una mayor eficiencia en aprovechamiento solar.
- Su mantenimiento resulta más accesible pues la mayoría de sus sistemas no están ubicados en el techo.
- El tanque de almacenamiento al estar al interior de la vivienda no requiera de aislamiento adicional.

Sus desventajas destacan:

- Se requiere de energía eléctrica adicional para poner en funcionamiento la bomba.
- Su instalación es de mayor complejidad que el de termosifón.
- Su costo de adquisición es más alto.

4.4.2. Sistemas que conforman una instalación de energía solar térmica

Es evidente que un sistema solar térmico es una buena alternativa que permitirá ahorrar energía y tener un ahorro económico para aquella persona que lo implemente. Dependiendo el tipo de uso que se desea dar se debe seleccionar el tipo de colector con la temperatura de trabajo deseada. Pero ahí no termina todo el sistema, se debe también conocer la estructura que en conjunto forman la instalación del sistema de energía solar térmica. Entre los subsistemas más importantes que forman la instalación tenemos:

Sistema de captación de radiación solar

Este sistema lo conforma los colectores solares, son aquellos que inician todo el proceso, absorbiendo la energía irradiada por el sol en el fluido para pasar a ser energía térmica. Estos pueden ser de varios tipos, pero comúnmente se usa más el colector solar plano, pues, puede alcanzar temperaturas hasta 60°C a un precio razonable.

Otros sistemas de captación pueden ser no vidriados (para calentamiento de piscinas o spas), colectores de vacío, colectores con sistemas de concentración de radiación (para grandes instalaciones) o colectores con sistema de seguimiento de sol.

Sistema de acumulación

Es el elemento almacenador de la energía calorífica lista para ser utilizada para cuando se requiera. Compuesto además por un material aislante a su alrededor para evitar pérdidas de energía cuando se acumule el agua caliente y de dimensiones acorde a su uso. Si es con fines domésticos, es suficiente un depósito de unos 60 litros, pero, si es para necesidades aún mayores como las industriales el depósito debe ser de mayor capacidad.

Sistema de distribución

Es el conjunto de elementos encargados de distribuir la energía solar térmica a las zonas donde se requiere ser usada, conformada por las cañerías, purgadores, llaves de paso, entre otros. Además, se incluye sistemas de emergencia en caso de fallos o sistemas de respaldo en caso de tener una baja radiación solar.

Sistema de apoyo (auxiliar o de respaldo)

Suministra la energía necesaria al volumen almacenado para cubrir el consumo previsto. Se encargan también de dar el soporte necesario para cuando exista una baja radiación solar o cuando la demanda de energía térmica exceda más de lo esperado. Estos sistemas de apoyo energético generalmente usan combustible, gas natural o electricidad.

4.5. Clasificación de los colectores solares

Un colector solar es un dispositivo que absorbe la energía proveniente del sol, la convierte en energía térmica (calor) y utiliza dicha energía para calentar un fluido [8]. Se han desarrollado dos tipos de métodos de captación para los colectores solares: de tubos al vacío y los planos, pero a su vez, también existen ciertas clasificaciones para los colectores.

Clasificación según el seguimiento

- Estacionarios: ubicados en una posición fija todo el tiempo.
- Dinámicos: realizan el seguimiento del sol durante el día (no representa el objeto de estudio de este trabajo).

Clasificación según la forma en que traspassa el calor

- Sistema directo: cuando el agua a consumir pasa por el colector.
- Sistema indirecto: existe un fluido que se calienta por el sol y transfiere su calor mediante un intercambiador al agua de consumo.

De forma general existen algunos tipos de colectores solares, entre los más conocidos se puede señalar los siguientes:

- Colectores de copolímero (plástico)
- Colectores de placa plana (CPP)
- Colectores concentradores parabólicos compuestos (CPC)
- Colectores de tubos de vacío (CTV)

4.5.1. Colectores de copolímero (plástico)

Son sencillos y económicos, sus aplicaciones no requieren de temperaturas tan elevadas (hasta 38°C), como lo es el calentamiento de albercas [8]. Su estética se asemeja a una alfombra y están conformadas por una superficie de captación de color negra (Figura 5) y dos colectores de cabecera.



Figura 5. Componentes de un colector solar plástico.

Fuente: [8].

4.5.2. Colectores de placa plana (CPP)

Son los más empleados para calentar agua en hogares y sistemas de calefacción. Este tipo de calentadores son desarrollados para uso en lugares con climas soleados y cálidos, su eficiencia es mejor con altos niveles de radiación y temperaturas ambientales cálidas; sin embargo, su eficiencia se disminuye cuando las condiciones meteorológicas no son favorables.

Colectores de placa plana con cubierta

Un colector de placa plana se compone de una caja metálica con aislamiento con una cubierta de vidrio o de plástico (la ventana) y de una placa absorbente de color oscuro. La radiación solar es absorbida por la placa que está construida de un material que transfiere rápidamente el calor a un fluido que circula a través de tubos en el colector [9].

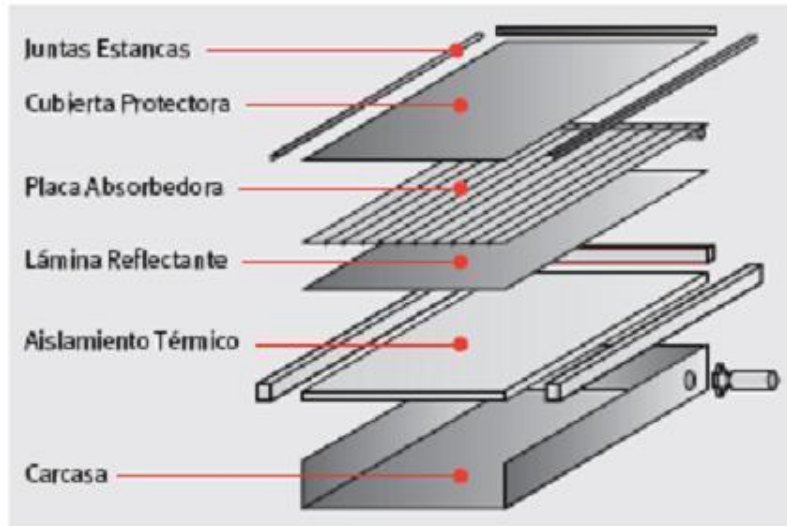


Figura 6. Despiece del colector de placa plana con cubierta.

Fuente: [38].

Son los más adecuados para aplicaciones donde la demanda de temperatura es de 30-70°C. De igual forma, son los más utilizados para calentar agua en sistemas de hogar, de comercio y en piscinas cubiertas. Consiste en un absorbedor, una cubierta transparente, un marco, y aislamiento. Su cubierta transparente permite el paso de gran cantidad de luz de onda corta del espectro solar y simultáneamente solo permite la salida de muy poca radiación de onda larga (calor que emite el absorbedor) produciendo un efecto invernadero.

Inclusive su cubierta transparente cubre que el viento y brisas se lleven el calor acumulado por medio de convección. Estos colectores demostraron tener un buen vínculo precio/calidad y tienen una amplia variedad de posibilidades para su instalación.

Colectores de placa plana sin cubierta

Son sencillos y económicos, comprende el sistema de absorción, pero carecen de la cubierta transparente, por lo que una gran parte de la energía solar absorbida se pierde principalmente por convección. El material usado para sus absorbedores suele ser de plástico negro resistente a la radiación ultravioleta, o por tubería de metal, o a su vez, plástico recubierto de pigmentos ennegrecidos por los que circula el agua. La ganancia de temperatura se limita a unos 20°C sobre la del aire del ambiente debido a su carencia de aislamiento adicional, son los más adecuados para aplicaciones de baja temperatura [9].



Figura 7. Foto de un colector de placa plana sin cubierta.

Fuente: [9].

4.5.3. Colectores concentradores parabólicos compuestos (CPC)

Se usan para alcanzar elevadas temperaturas, se debe concentrar la radiación solar, para lo cual se emplean procedimientos ópticos con dispositivos de lentes, los cuales representan un coste muy elevado. Los más desarrollados actualmente son los de reflexión mediante espejos cilindro-parabólicos, que refleja toda la radiación solar recibida sobre un tubo de vidrio situado a lo largo de la línea focal del espejo.

Su funcionamiento e instalación es similar que los colectores de placa plana convencionales. Estas características se deben a que el área de pérdidas es menor al área de colección logrando una minimización de las pérdidas y alcanzando un rendimiento cercano al 50% [9].

4.5.4. Colectores de tubos de vacío (CTV)

Este tipo de colectores basan su funcionamiento en un fenómeno llamado principio de la concentración [8]. Se componen de un conjunto de tubos de vacío (o evacuados) donde cada uno contiene un absorbedor (plancha de metal con tratamiento selectivo o de color negro), el cual tiene la función de recoger la energía solar y la transferirla a un fluido portador (agua).



Figura 8. Colector solar de tubos de vacío.

Fuente: [38].

Al ser de forma cilíndrica, aprovechan la radiación solar de manera más efectiva en comparación con los colectores planos, al permitir que los rayos de sol incidan de forma perpendicular sobre los tubos durante el mayor tiempo del día (Figura 8), por lo que son hasta unos 30% más eficientes que los colectores planos, pero son bastante costosos. Gracias a las propiedades aislantes del vacío, las pérdidas de calor son reducidas y pueden alcanzarse temperaturas en el rango de 77 °C a 177 °C. De esta manera, este tipo de colectores resultan particularmente apropiados para aplicaciones de alta temperatura [9].

Existen dos tipos de colectores tubulares de vacío, según sea el método empleado para el intercambio de calor entre la placa y el fluido caloportador:

- De flujo directo.
- Con tubo de calor (heat pipe).

De flujo directo: Consisten en un grupo de tubos de vidrio, dentro de cada uno de los cuales hay una aleta de aluminio absorbedor, conectada a un tubo de metal (normalmente cobre) o tubo de vidrio. La aleta posee un recubrimiento que absorbe la radiación solar, e inhibe la pérdida de calor por radiación. El fluido de transferencia de calor es el agua y se distribuye a través de las tuberías, una para la entrada del líquido y el otro para la salida de fluidos (Figura

9). Los colectores de tubos de vacío de corriente directa vienen en varias variedades de acuerdo al tipo de tubería utilizada.



Figura 9. Colectores de vacío de flujo directo.

Fuente: [38].

Con tubo de calor (heat pipe): En este sistema los tubos de vacío llevan un fluido que no puede salir del interior del tubo y que funciona como caloportador. Este fluido se evapora por efecto de la radiación solar, asciende hasta el extremo superior del tubo que se encuentra a temperatura inferior, esto hace que el vapor se condense, ceda su energía y retorne a su estado líquido cayendo por acción de la gravedad a la parte inferior del tubo (Figura 10), donde al recibir más radiación, vuelve a evaporarse y comienza un nuevo ciclo [9].

Este tipo de colectores son considerados como los “superconductores” del calor, debido a su muy baja capacidad calorífica y a su excelente conductividad. El uso del tubo de calor tiene mucha expansión en la industria y, basándose en este principio de funcionamiento se fabrican los actuales colectores de vacío con tubo de calor.

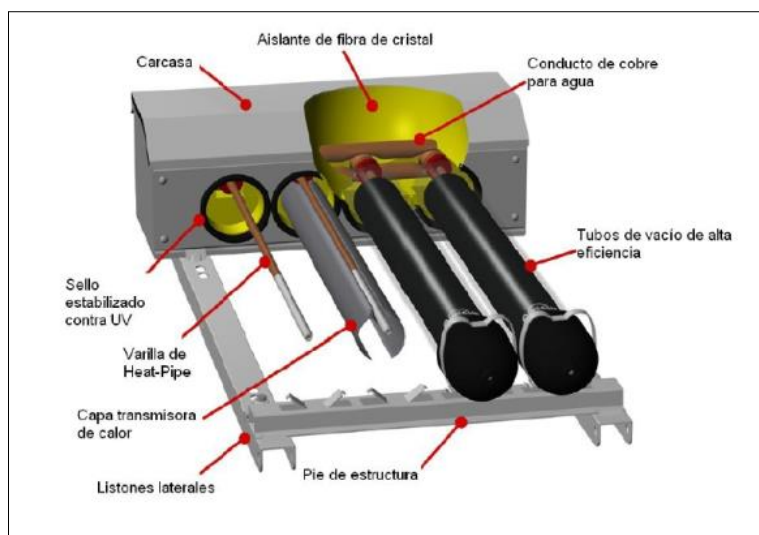


Figura 10. Colectores de vacío con tubo de calor (Heat Pipe).

Fuente: [38].

4.6. Escaldado avícola

El escaldado consiste en la inmersión total de los animales en los tanques con desplazamiento continuo de agua caliente con el objetivo de dilatar los folículos de la piel y permitir la extracción fácil de plumas [10].

Luego del desangrado, el escaldado es el siguiente factor que afecta a la calidad final dentro del procesamiento de pollos. El color y la integridad de la piel están muy influidos por los procesos de escaldado y desplumado en las plantas de procesamiento [11]. A medida que se incrementa la temperatura del agua para el escaldado, se reduce también la fuerza necesaria para arrancar las plumas de la piel, sin embargo, temperaturas demasiado altas pueden generar afectaciones como abrasiones y descoloraciones en el ave.

El escaldado es una de las etapas más importantes a controlar, porque variables como la temperatura y velocidad en la línea afectan el porcentaje de pluma y despigmentación en cualquier tipo de ave blanca o campesina [12].

Según [13], para lograr una buena calidad en esta operación es necesario que los siguientes aspectos funcionen bien:

- Temperatura según el tipo de pollo a faenar: Blanco (sin epidermis), amarillo (con epidermis).
- Tiempo acorde con las características de las aves a procesar.

- Agitación del agua, uniforme en toda la superficie de los tanques, manteniendo el nivel inicial.

Existen dos tipos de escaldado que afecta directamente la calidad del pollo los cuales son.

Escaldado suave: La inmersión del pollo se la efectúa a una temperatura del agua de 53.3°C durante 120 segundos, este proceso mantiene la cutícula-pigmentación de la piel, y no es adecuado para uso de empanados o KFC [14].

Escaldado duro: La inmersión se la efectúa a una temperatura del agua de 60-62.7°C durante un tiempo de 45s, este proceso remueve la cutícula, elimina la pigmentación de la piel y es adecuado para empanados [14].

Diversos investigadores que han desarrollado trabajos académicos y científicos referente al escaldado avícola, recomiendan una temperatura óptima promedio del agua de 60°C, para así evitar que se cocine la carne y garantizar un correcto desplume posterior.

5. Metodología

5.1. Materiales

Los materiales empleados para el desarrollo del presente trabajo se enuncian a continuación.

- Material de oficina
- Computadora
- Material bibliográfico
 - ✓ Tesis
 - ✓ Artículos
 - ✓ Libros
 - ✓ Páginas web
- Software de ingeniería
 - ✓ PVsyst 7.1
 - ✓ AutoCAD
- Termómetro digital
- Entre otros

5.2. Métodos

Para el correcto desarrollo del cálculo y diseño del SST se estructuró la siguiente metodología:

Primero se debe establecer la caracterización del recurso solar del lugar donde se proyecta el SST, para ello se hace uso del software PVsyst 7.2, el cual permite la obtención de esta información meteorológica como irradiación global y difusa del lugar en análisis, usando la base de datos de Meteonorm 8.0.

La información proporcionada son datos confiables resultado de sofisticados modelos de interpolación basados en la combinación de fuentes con alta precisión de más de 8000 estaciones meteorológicas.

Además, se establece la demanda de ACS requerida en la avícola durante el proceso de escaldado y el tipo de colector a emplear.

5.2.1. Consumo de ACS

Para determinar el consumo energético de ACS, se requiere visitar las instalaciones de una avícola en la ciudad y realizar recolección de datos como: cantidad total de agua caliente empleada para llevar a cabo el proceso de faenamiento de pollos en una jornada de trabajo promedio (litros/día), la temperatura de la red de agua potable y la fuente energética utilizada actualmente para calentar el agua hasta elevar su temperatura al punto de escaldado.

5.2.2. Tipo de colector

La selección del colector dependerá de su eficiencia cuando se encuentre en operación, para ello primero se establece las temperaturas de trabajo y se calcula su variación con la siguiente ecuación.

$$\Delta T = T_{\text{fluido}} - T_{\text{ambiente}} \quad (1)$$

Se ingresa en la gráfica de la (Figura 11), seleccionado el colector con mejor rendimiento en función de la disponibilidad en el mercado.

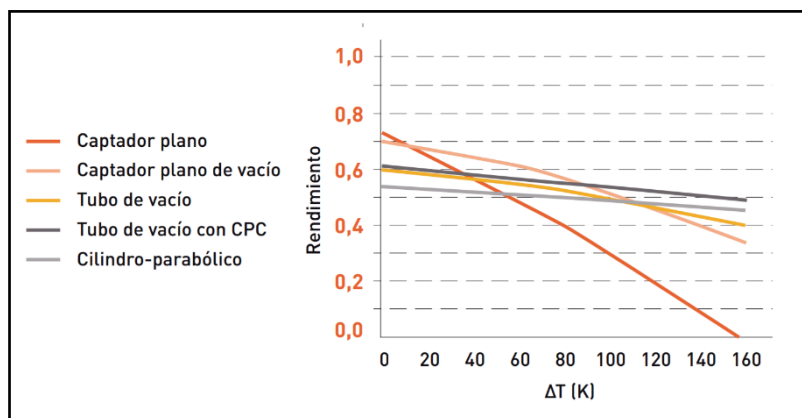


Figura 11. Rendimiento instantáneo de diferentes tipos de colectores.

Fuente: [39].

5.2.3. Método de cálculo de las curvas de f (f-chart)

Esta metodología es muy útil para el diseño y dimensionamiento del sistema de obtención de ACS, es recomendada por el Pliego de condiciones técnicas del IDAE (normativa española) y por la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Se usa cuando se especifica al menos, en base mensual, los valores medios diarios de la demanda de energía y de la contribución solar.

El principal objetivo de este método es obtener la curva f , que es una representación de la fracción de energía aprovechada a partir de la energía solar incidente y se define en función de la energía absorbida (ganancia) y pérdidas por reflexión [15]. También es posible estimar el desempeño del colector solar seleccionado.

Previamente se debe establecer la superficie captadora y el volumen necesario de acumulación del sistema, luego, se procede con los siguientes pasos detallados para el cálculo del SST.

5.2.3.1. Demanda energética

Es la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de un volumen de agua, desde una temperatura inicial (T_i) hasta una temperatura final de consumo (T_f), se determina mediante la siguiente ecuación.

$$D_{ACS} = \dot{m} * C_p * n * \rho * (T_f - T_i) \quad (2)$$

Donde:

\dot{m} : Volumen de agua diario a la temperatura de consumo (l/día)

C_p : Capacidad calorífica del agua ($1,163 \times 10^{-3}$ kWh/kg °C)

n : Número de días del mes considerado

ρ : Densidad del agua (1 kg/l)

T_i : Temperatura inicial del agua (temperatura de red °C)

T_f : Temperatura de consumo del agua en °C

5.2.3.2. Inclinación óptima de los colectores

La inclinación de los colectores garantiza una mayor mejor captación de la radiación solar, también, permite la circulación del fluido por medio del efecto termosifón. La ecuación (3) está basada en un análisis estadístico de radiación solar sobre superficies en lugares de

diferentes del planeta y proporciona la inclinación óptima del colector considerando la latitud del lugar [16].

$$\beta_{\text{opt}} = 3,7 + 0,69 * |\phi| \quad (3)$$

Donde:

β_{opt} : Ángulo de inclinación óptimo (grados)

ϕ : Latitud del lugar (grados)

5.2.3.3. Sombras

Las sombras son causadas por obstáculos, elementos arquitectónicos o naturales alrededor del lugar donde se instalará el sistema. Estos obstáculos generan condiciones para no aprovechar la radiación incidente sobre la superficie de captación y deben ser considerados para evaluar el potencial real cuando varía la posición del sol durante el día.

5.2.3.4. Pérdidas por orientación e inclinación

Según [17], las pérdidas por orientación e inclinación de un sistema de captación en general deben ser inferiores al 10%. Estas pérdidas pueden calcularse en función de:

- Ángulo azimut: Es el ángulo formado por la dirección de referencia norte y una línea de interés previsto por el observador ubicada en el mismo plano que la dirección de referencia.
- Ángulo de inclinación (β): Es aquel formado por la superficie de captación y el plano horizontal donde se instala el colector.

Establecido el ángulo de azimut del colector, se determinarán los límites de inclinación aceptables de acuerdo a las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima establecida en la figura del (Anexo 1), los valores obtenidos son válidos para una latitud de 41°.

Luego, se realiza la corrección de los límites e inclinación aceptables en función de la diferencia entre la latitud del lugar y la correspondiente a 41°, para lo cual aplicaremos las siguientes expresiones:

$$\text{Inclinación máxima} = \text{inclinación máxima}(\beta = 41^\circ) - (41^\circ - \phi) \quad (4)$$

$$\text{Inclinación mínima} = \text{inclinación mínima}(\beta = 41^\circ) - (41^\circ - \phi) \quad (5)$$

Como método de verificación cuando los datos se encuentren cerca del límite, se utilizarán la siguiente expresión:

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \cdot [1,2 \times 10^{-4} \cdot (\beta - \phi)^2] \text{ para } \beta \leq 15^\circ \quad (6)$$

5.2.3.5. Superficie de captación

La determinación de la superficie colectora representa una etapa importante para proceder con el dimensionamiento del sistema solar térmico, pues en base a esta, se puede obtener la cobertura anual de la demanda energética.

- Predimensionado del campo de captadores

Según [18] se considera para un sistema solar térmico, un ratio de 75 litros de acumulación por cada m² instalado. De esta forma, el consumo diario de ACS en litros se divide para 75 l/m² y se obtiene la superficie necesaria para la demanda.

Luego, considerando la superficie útil de un colector y mediante la ecuación (7), se determina finalmente la superficie colectora a instalar.

$$S_c = \text{redondear} \left(\frac{\text{Superficie necesaria}}{\text{Superficie útil de 1 colector}} \right) * \text{Superficie útil de 1 colector} \quad (7)$$

A partir de este valor es posible determinar la cobertura solar, para ello se emplea el método de f-Chart, el mismo que está en función de las variables adimensionales “Y” y “X”, y se explica a continuación.

5.2.3.6. Cálculo de f-Chart

Representa la fracción “f” de la carga calorífica mensual que puede aportar el sistema de energía solar, se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$f = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3 \quad (8)$$

Esta ecuación es válida siempre y cuando los parámetros X e Y determinados previamente se encuentren dentro de los siguientes rangos: $0 < Y < 3$ y $0 < X < 18$.

5.2.3.7. Cálculo del parámetro Y

Este parámetro expresa mensualmente, la relación entre la energía absorbida por el captador plano y la demanda energética durante un mes [18].

$$Y = \frac{\text{Energía absorbida por el captador}}{\text{Demanda energética mensual}} \quad (9)$$

$$Y = \frac{F_R(\tau\alpha)_n * \frac{F'_R}{F_R} * \left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right] * H_T * n * S_c}{D_{ACS}} \quad (10)$$

Donde:

$F_R(\tau\alpha)_n$: Factor de eficiencia óptica del captador (ordenada en el origen de la curva característica del captador)

$\frac{F'_R}{F_R}$: Coeficiente de corrección del acumulador (Recomendado por [19] el valor de 0,95)

$\left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right]$: Variación de absortancia y transmitancia con el ángulo de incidencia. Según [19] se suele tomar 0.96 para colectores de cubierta simple y 0.94 para cubierta doble.

H_T : Radiación media mensual diaria incidente recibida por el captador (kWh/m²/día)

n: Número de días del mes considerado

S_c : Superficie de captación (m²)

5.2.3.8. Cálculo del parámetro X

Este parámetro expresa para cada mes, la relación entre las pérdidas de energía en el captador para una determinada temperatura y la demanda energética durante un mes [18].

$$X = \frac{\text{Energía perdida por el captador}}{\text{Demanda energética mensual}} \quad (11)$$

$$X = \frac{F_R U_L * \frac{F'_R}{F_R} * (100 - T_{amb}) * \Delta t * S_c}{D_{ACS}} * K_1 * K_2 \quad (12)$$

Donde:

$F_R U_L$: Pendiente de la curva característica del captador (W/m² °C)

$\frac{F'_R}{F_R}$: Coeficiente de corrección del acumulador (Recomendado por [19] el valor de 0,95)

T_{amb} : Temperatura ambiente (°C)

Δt : Número de horas total del mes considerado

S_c : Superficie de captación (m²)

K_1 : Factor de corrección por el almacenamiento, expresado mediante la ecuación (13).

$$K_1 = \left(\frac{V}{75 * S_c} \right)^{-0,25} \quad (13)$$

K_2 : Factor de corrección para temperaturas, expresado mediante la ecuación (14).

$$K_2 = \frac{11,6 + 1,18T_f + 3,86T_i - 2,32T_{amb}}{100 - T_{amb}} \quad (14)$$

Siendo:

V : Volumen total de acumulación (l)

T_f : Temperatura de consumo del agua en °C

T_i : Temperatura inicial del agua (temperatura de red °C)

5.2.3.9. Cálculo de la energía útil mensual

La energía útil mensual se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Q_u = f * D_{ACS} \quad (15)$$

Donde:

f: Fracción solar mensual

D_{ACS} : Demanda energética mensual (kWh/mes)

5.2.3.10. Cálculo de la cobertura solar anual (%)

$$\text{Cobertura anual} = \frac{\sum_{\text{Enero}}^{\text{Diciembre}} Q_u}{\sum_{\text{Enero}}^{\text{Diciembre}} D_{ACS}} \quad (16)$$

Donde:

Q_u : Energía útil mensual (kWh/mes)

D_{ACS} : Demanda energética mensual (kWh/mes)

5.2.3.11. Temperatura del agua alcanzada por el sistema

La temperatura del agua promedio mensual que alcanzará el sistema (T_s), se determina usando la ecuación (17).

$$T_s = \frac{Q_u}{\dot{m} * C_p * \rho * n} + T_i \quad (17)$$

Donde:

Q_u : Energía útil mensual (kWh/mes)

\dot{m} : Volumen de agua diario a la temperatura de consumo (l/día)

C_p : Capacidad calorífica del agua ($1,163 \times 10^{-3}$ kWh/kg °C)

n: Número de días del mes considerado

ρ : Densidad del agua (1 kg/l)

T_i : Temperatura inicial del agua (temperatura de red °C)

5.2.3.12. Rendimiento anual del sistema

Se define como el cociente entre la energía térmica aportada por el SST, entregada al consumo, y la energía solar incidente sobre el plano del captador [19], y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\eta_{\text{anual}} = \left(\frac{Q_u}{H_{\beta} * S_c} \right) * 100 \quad (18)$$

Donde:

Q_u : Energía útil mensual (kWh/mes)

H_{β} : Radiación mensual incidente sobre el plano del colector (kWh/m²)

5.2.4. Sistema de acumulación

5.2.4.1. Volumen del depósito de almacenamiento

Bajo la consideración de la demanda volumétrica de ACS, el sistema de acumulación debe cumplir la relación con el área total de los colectores para la obtención de ACS y cuyo valor esté comprendido en el intervalo expuesto en la ecuación (19), como lo sugiere [19].

$$40 \leq \frac{V}{A} \leq 180 \text{ l/m}^2 \quad (19)$$

Donde:

V: Volumen de acumulación (l)

A: Es la suma de las superficies de captación (m²)

5.2.4.2. Pérdida de calor en el depósito de almacenamiento

La pérdida de calor en el depósito de almacenamiento se produce en dos direcciones, axial y radial (Figura 12), el calor resultante es igual a la sumatoria de estas componentes, para calcular estos valores es necesario efectuar un análisis de transferencia térmica desde el fluido almacenado hacia el tanque interno de almacenamiento, aislante, carcasa del depósito y ambiente exterior.

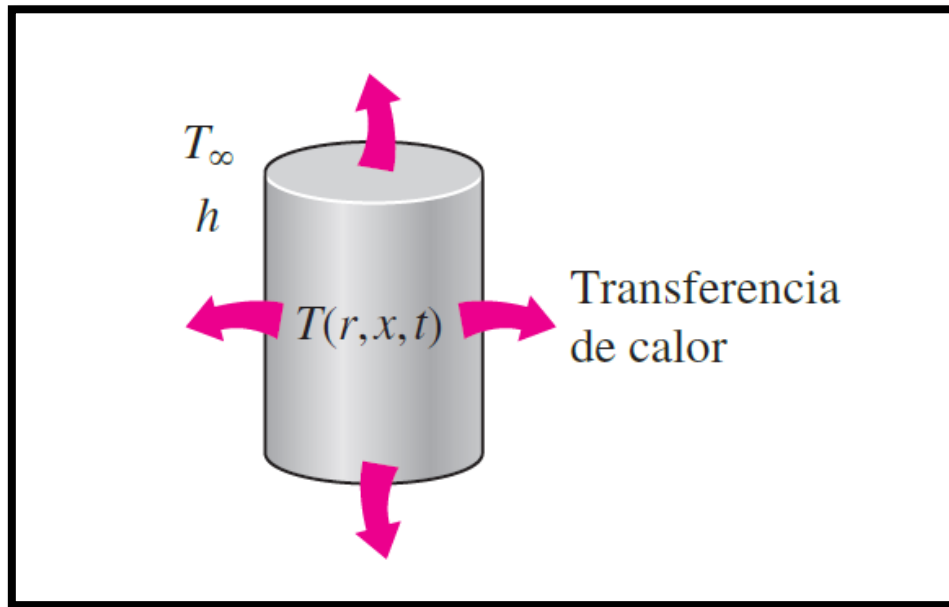


Figura 12. Transferencia de calor para un cilindro.

Fuente: [25].

El método de red de resistencias térmicas (Figura 13), analiza la razón de la transferencia de calor a través de un cilindro compuesto por capas y para determinar las pérdidas en el termotanque, se toman en consideración las características técnicas de construcción y las propiedades físicas de los materiales empleados del mismo. El cálculo de esta transferencia se determina empleando las siguientes ecuaciones.

$$Q_p = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} \quad (20)$$

Donde:

R_{total} : Resistencia térmica total expresada como:

$$R_{total} = \frac{1}{h_1 A_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L k_1} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi L k_2} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi L k_3} + \frac{1}{h_2 A_4} \quad (21)$$

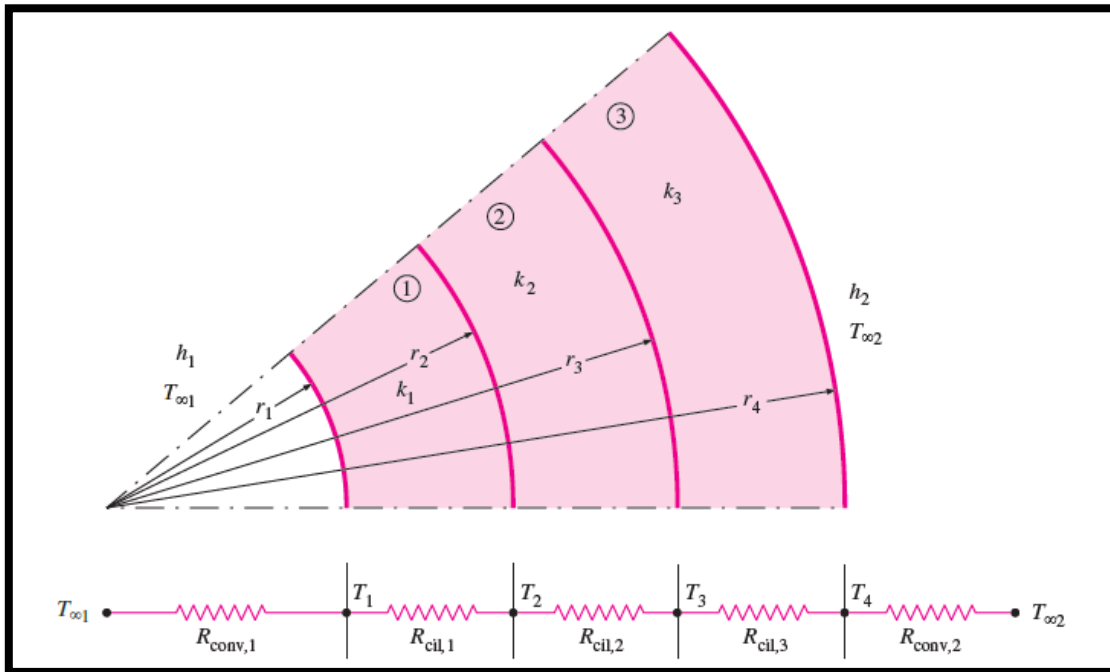


Figura 13. Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de un cilindro compuesto de tres capas sujeto a convección en ambos lados.

Fuente: [25].

5.2.5. Sistema auxiliar

La instalación solar térmica debe incluir un sistema de apoyo que asegure la continuidad en el suministro de agua caliente sanitaria [19]. Se debe calcular el sistema de apoyo con el fin de proporcionar la energía restante para cubrir el 100% de la demanda energética requerida, tomando en cuenta que la NEC establece que el diseño del sistema de captación debe cubrir con un mínimo del 60% de la demanda necesaria.

5.2.6. Sistema hidráulico

5.2.6.1. Tuberías

Las tuberías son la base del sistema hidráulico y facilita el transporte del ACS hacia los diferentes usos que se requieran. Según [19], el tipo de material seleccionado para la tubería debe cumplir con los siguientes aspectos: compatibilidad con el tipo de fluido empleado, su comportamiento dentro del rango de temperaturas y presiones de trabajo, resistencia a la corrosión, facilidad de instalación, durabilidad, entre otros. Estas tuberías deberán ser de cobre,

acero inoxidable, polipropileno u otros plásticos de grado alimenticio que soporten la temperatura de diseño.

La velocidad de circulación del fluido caloportador en el circuito primario será inferior a 2,0 m/s y de un valor límite de 0,3 m/s para evitar la entrada de aire, mientras que para circuitos secundarios debe estar en torno a 2,5 m/s.

En el dimensionamiento de las tuberías se debe considerar longitudes mínimas evitando el uso excesivo de accesorios generando pérdidas de carga en general, además de tener una pendiente mínima del 1% en dirección de circulación en los tramos horizontales. Las pérdidas de carga unitaria en tuberías no deben superar los 40 mmca por cada metro lineal de tubería a instalar.

5.2.6.2. Circuito primario

Primero, se establece el caudal unitario recomendado por el fabricante por cada m² del colector, la superficie de absorción y la cantidad de colectores a instalar. El caudal recomendado surge de ensayos realizados por el fabricante para garantizar una eficiente transferencia de calor hacia el fluido caloportador desde la placa de absorción.

Luego, se determina el caudal total comprendido en el circuito primario mediante el uso de la ecuación (22).

$$Q = Q_{\text{colector}} * S_c \quad (22)$$

Donde:

Q: Caudal del circuito (l/h)

Q_{colector}: Caudal unitario recomendado por el fabricante del colector (l/h*m²)

S_c: Superficie total de absorción de los colectores (m²)

5.2.6.3. Dimensionamiento de tuberías

La ecuación (23) de la continuidad para un fluido incompresible, relaciona la velocidad (v), la sección de la tubería (S) y el caudal (Q), y permitirá determinar el dimensionamiento recomendado de las tuberías.

$$Q = S * v = \frac{\pi * D^2}{4} * v \quad (23)$$

Donde:

Q: Caudal del circuito (m³/s)

v: Velocidad del fluido (m/s)

S: Sección interna de la tubería (m²)

D: Diámetro interno de la tubería (m)

5.2.6.4. Aislamiento de tuberías

Para evitar pérdidas de energía en los circuitos hidráulicos el aislamiento térmico debe tener un coeficiente de conductividad térmica máximo de 0.04 (W/m °C) y tolerar temperaturas comprendidas entre -35 °C y 130 °C para el circuito primario, mientras que para el circuito de consumo debe tolerar la temperatura máxima de servicio como lo sugiere [19].

El espesor el aislamiento térmico se puede determinar mediante la ecuación (24).

$$e = \frac{D_i}{2} \left[\exp \left(\frac{\lambda}{\lambda_{ref}} * \ln \left(\frac{D_i + 2 * e_{ref}}{D_i} \right) \right) - 1 \right] \quad (24)$$

Donde:

e: Espesor requerido del aislamiento térmico (mm)

exp: Función exponencial (e^x)

D_i: Diámetro interno de la sección circular (mm)

λ: Conductividad térmica del material de aislamiento en (W/m °C)

λ_{ref}: Conductividad térmica de referencia 0.04 (W/m °C)

e_{ref}: Espesor de referencia (mm), (Anexo 8)

5.2.6.5. Pérdidas de carga en la tubería

En un sistema de tuberías la circulación del fluido genera pérdidas de energía debido a la fricción producida en la superficie interior, dicha pérdida se ve afectada por el tipo de fluido, la velocidad del flujo y la naturaleza de la superficie de la pared de la tubería estacionaria [20]. La ecuación (25) de Darcy-Weisbach permite calcular las pérdidas de carga en tuberías de sección circular tanto para flujo laminar como para turbulento.

$$h_L = f * \frac{L}{D_i} * \frac{v^2}{2g} \quad (25)$$

Donde:

h_L : Pérdida de energía debida a la fricción (m)

L: Longitud de la tubería (m)

D_i : Diámetro interno de la sección circular (m)

v: Velocidad media del flujo (m/s)

f: Factor de fricción (adimensional)

La condición para establecer si el flujo es laminar o turbulento depende de los valores que tomen el número de Reynolds (N_R). Cuando el número de Reynolds toma valores inferiores a 2000 el flujo será laminar, para valores mayores a 4000 el flujo será turbulento, si se encuentran comprendidos entre 2000 y 4000 resulta imposible establecer el tipo de flujo existente y se conoce como región crítica.

El número de Reynolds para secciones circulares se calcula con la ecuación (26).

$$N_R = \frac{\rho * v * D_i}{\mu} \quad (26)$$

Donde:

N_R : Número de Reynolds (adimensional)

ρ : Densidad del fluido (kg/m^3)

v: Velocidad del fluido (m/s)

μ : Viscosidad dinámica del fluido (kg/m*s)

D_i : Diámetro interno de la tubería (m)

Cuando el flujo sea laminar el valor del factor de fricción (f) se calcula mediante la ecuación (27).

$$f = \frac{64}{N_R} \quad (27)$$

Si el flujo es turbulento el valor del factor de fricción (f) se puede determinar usando el diagrama de Moody. Este diagrama estima el factor de fricción graficado contra el número de Reynolds (N_R), con una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa (D/ϵ). La alternativa más precisa de cálculo es empleando la ecuación (28).

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\epsilon}{3,7D_i} + \frac{5,74}{N_R^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (28)$$

Donde:

N_R : Número de Reynolds (adimensional)

ϵ : Rugosidad de la tubería (m)

D_i : Diámetro interno de la tubería (m)

5.2.6.6. Circuito secundario

Esta comprendido por el intercambiador de calor hacia el acumulador de ACS, en sistemas de volúmenes inferiores a 1000 litros el intercambiador está en el interior del acumulador, los fluidos de ambos circuitos no se mezclan, puesto que el fluido caloportador no debe ser utilizado para el consumo.

Según [19], la relación entre la superficie útil de intercambio y la superficie total de captación no debe ser inferior a 0,15 como lo establece la siguiente ecuación.

$$S_i \geq 0,15 * S_C \quad (29)$$

5.2.6.7. Circuito de consumo

Este circuito abarca desde el acumulador solar hasta los puntos de consumo de ACS, el agua se mueve impulsada por la presión de red cuando se abre cualquier grifo o punto de consumo. Según [21], la única precaución a adoptar en este circuito es que no se generen pérdidas de carga excesivas cuando se produce la circulación del fluido en las tuberías.

5.2.7. Vaso de expansión

El vaso de expansión permite absorber las dilataciones y contracciones del fluido caloportador compensando los cambios de volumen producidos por las diferencias de temperaturas dentro del circuito hidráulico, permite también mantener la presión interna en un rango de valores admisibles del fluido evitando el ingreso de aire exterior cuando el sistema vuelva a enfriarse y asegurando un correcto funcionamiento del SST.

Su dimensionamiento se realizará conforme al rango de presiones, temperaturas máximas y mínimas como lo establece [19]. Se deben dimensionar de forma que la presión mínima en frío, en el punto más alto del circuito, esté comprendida entre 500 y 1.500 hPa, (0,5 y 1,5 bar) y la presión máxima en caliente en cualquier punto del circuito no deberá superar la máxima de trabajo del circuito.

La ecuación (30) permite dimensionar el vaso de expansión bajo ciertos requerimientos.

$$V_t = (V * C_e + V_{vap} * 1,1) * C_{pre} \quad (30)$$

Donde:

V_t : Volumen total del vaso de expansión (l)

V : Volumen del fluido comprendido en el circuito primario (l)

C_e : Coeficiente de expansión del fluido caloportador (adimensional), si es agua de la red toma un valor de 0,05 [19]

C_{pre} : Coeficiente de presión del fluido (adimensional)

V_{vap} : Volumen susceptible a evaporarse, contenido en los colectores solares y en las tuberías a cotas superiores a la parte inferior de los colectores

El coeficiente de presión representa la proporción del volumen del vaso de expansión que puede ser ocupado por el fluido cuando este se expande. Este valor es siempre positivo y mayor que la unidad. Su valor se determina a partir de la ecuación (31).

$$C_{\text{pre}} = \frac{P_{\text{máx}} + 1}{P_{\text{máx}} - P_{\text{min}}} \quad (31)$$

Donde:

$P_{\text{máx}}$: Presión máxima admisible en el vaso de expansión (bar)

P_{min} : Presión mínima en el vaso de expansión (bar)

La presión mínima deberá ser lo suficientemente elevada para evitar la entrada de aire en el circuito, y se calcula a partir de las siguientes ecuaciones.

$$P_{\text{min}} = 500 + P_{\text{estática}} \quad (32)$$

$$P_{\text{estática}} = h * 100 \quad (33)$$

Donde:

h : Diferencia de altura existente entre la cota más alta de la instalación y la cota del lugar de ubicación del vaso de expansión (m).

El vaso de expansión deberá tolerar una presión máxima cercana a la presión de calibración de la válvula de seguridad.

La presión máxima admisible deberá ser inferior a la de calibración de la válvula de seguridad del vaso de expansión, se expresa mediante la siguiente ecuación (34):

$$P_{\text{máx}} = P_{\text{vs}} - 300 \quad (34)$$

Donde:

P_{vs} : Presión de calibración de la válvula de seguridad (hPa)

5.2.8. Estudio económico

Un proyecto de ingeniería sobre energía solar térmica surge para satisfacer la necesidad de alcanzar un beneficio económico mediante el aprovechamiento de una energía que llega directa y gratuitamente al emplazamiento, alcanzando la autosuficiencia del usuario cuando evita la utilización de fuentes convencionales [22].

El análisis económico permite conocer al usuario aspectos importantes cuando se desea implementar un SST como la inversión inicial, ahorro de combustible y periodo de retorno del capital invertido, para luego discutir si el proyecto permite tener una rentabilidad deseada.

Un sistema convencional se caracteriza por ser adquirido a un costo inicial relativamente bajo, sin embargo, para mantener un continuo funcionamiento es necesario un costo adicional anual para ser abastecido con combustible y se caracterizan por ser acumulativos durante el tiempo de vida útil del sistema.

Por otro lado, el sistema solar térmico requiere de una inversión inicial elevada, pero durante el tiempo de vida útil no requiere de costos adicionales ya que utiliza la energía solar incidente para cumplir con el calentamiento de agua, por lo que la inversión inicial se amortiza gradualmente en cierto periodo obteniendo beneficios económicos hasta cumplir el periodo de vida útil del SST.

5.2.8.1. Ahorro anual

Es la cantidad de dinero ahorrado si el usuario implementa el SST evitando que pague más con el uso de fuentes convencionales reduciendo su uso en el calentamiento de agua.

$$\text{Ahorro anual} = \left(\frac{\text{Demanda energética anual}}{\eta_{\text{sistema convencional}}} \right) * (\text{Precio}) - \text{Costo anual}_{\text{auxiliar}} \quad (35)$$

Donde:

Demanda energética anual: Energía solar aprovechada anualmente por la instalación solar (kWh/año)

Precio del combustible convencional: (USD/kWh)

Costo anual auxiliar: Costo de la energía auxiliar para complementar la demanda energética

5.2.8.2. Periodo de amortización

Equivale a el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial en la adquisición del SST.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Costo del sistema}}{\text{Ahorro anual}} \quad (36)$$

5.2.9. Emisiones de CO₂ evitadas

Es la cantidad de gases de efecto invernadero o emisiones de CO₂ evitadas al reemplazar el sistema convencional por un sistema solar térmico.

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ evitadas} = (\text{fac. CO}_2) * (\text{Energía útil producida}) \quad (37)$$

Donde:

fac. CO₂: Factor de emisión de CO₂ por generación de energía convencional (kg CO₂/kWh)

energía producida: La energía útil anual (kWh/año)

6. Resultados

6.1. Descripción del lugar de aplicación

El lugar donde se propone el proyecto es en la “Planta Avícola “Paladines”, cuyo propietario es el Sr. Ermel Paladinez. Está ubicado en las coordenadas (3°58'38" S/-79°22'34,8" W/-), barrio Trapichillo de la ciudad de Catamayo, a una altura aproximada de 1.235 m sobre el nivel del mar. En la Figura 14 se muestra la localización en mapa de la avícola.

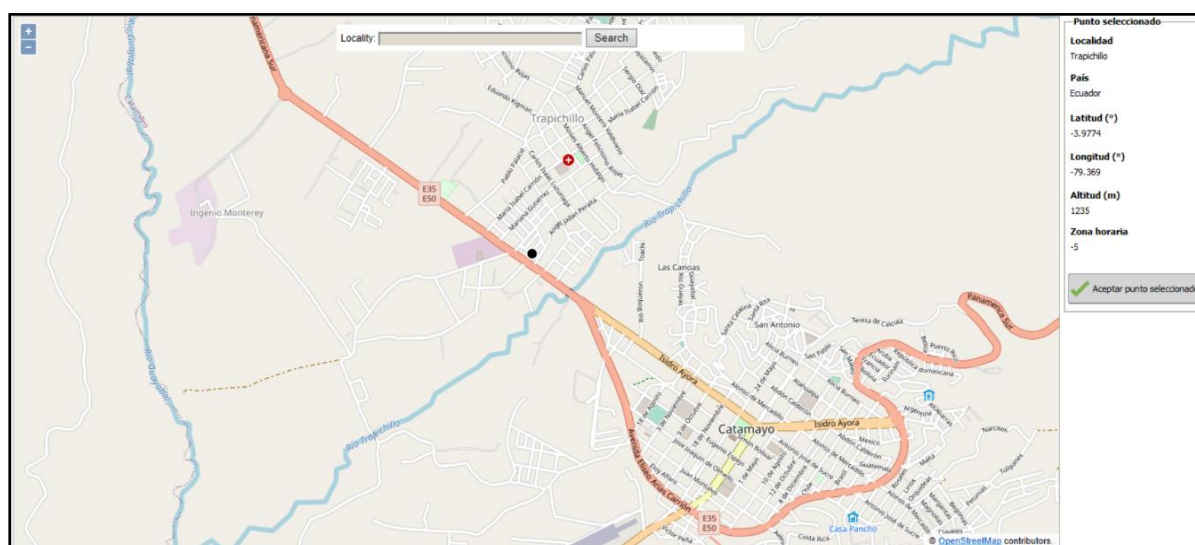


Figura 14. Ubicación de la avícola.

Fuente: [23].

La faenadora avícola es un establecimiento donde operan 7 trabajadores en una jornada de trabajo, el horario para llevar a cabo el proceso de escaldado y desplumado de pollos comprende desde las 12 pm hasta las 18 pm aproximadamente en dependencia de la demanda de pedidos.

Para el proceso de escaldado calientan el agua usando Gas licuado de petróleo (GLP), en una cocina industrial, el agua usada es potable, proveniente de la red y almacenada en tanques elevados para su posterior uso.

6.2. Recurso solar

Existen diversos métodos y herramientas que permiten obtener la información de la radiación solar en un lugar determinado, entre ellos destacan las estaciones meteorológicas, softwares e instrumentos de medición puntual. Las estaciones meteorológicas al igual que los instrumentos de medición brindan una información veraz de la radiación, sin embargo, su disposición no se encuentra en todos los lugares de una región determinada y el costo de implementación es elevado. Por otro lado, existen softwares que pueden estimar datos de radiación de cualquier lugar con márgenes de error aceptables.

Para el desarrollo del presente trabajo se empleó el software PVsyst 7.2 escogiendo la base de datos Meteonorm 8.0, la cual proporciona información confiable de la radiación solar, resultado de sofisticados modelos de interpolación basados en fuentes de más de 8.000 estaciones meteorológicas. El programa permite importar las coordenadas geográficas de la avícola de forma fácil solamente con seleccionar la ubicación del lugar en el mapa interactivo que tiene el software.

Tabla 2. Datos de Irradiación horizontal global del lugar de la avícola.

Fuente de datos Meteonorm 8.0, Sat=100%	
Lugar	Barrio Trapichillo (Catamayo-Ecuador)
Mes	Irradiación horizontal global (kWh/m ² /día)
Enero	6,31
Febrero	5,73
Marzo	6,17
Abril	6,10
Mayo	5,98
Junio	5,74
Julio	5,81
Agosto	5,90
Septiembre	6,21
Octubre	5,45
Noviembre	5,70
Diciembre	5,94
Año	5,92

Fuente: [23].

Con esta información geográfica, se puede importar la base de datos de Meteonorm y obtener los valores de radiación solar global horizontal mensual (Tabla 2), además de otros valores como: irradiación difusa, temperatura ambiental, velocidad del viento, etc., los cuales se especifican en el (Anexo 2).

6.3. Contribución solar

Según [19], la contribución solar representa la fracción entre los valores anuales de energía solar aportada y la demanda de energía anual requerida. También establece una contribución solar mínima requerida del 65%, para una zona climática de tipo VI, con irradiación solar superior a 5,4 kWh/m²día y una demanda entre 50-5.000 l/día de ACS a una temperatura 60 °C (Tabla 3 y Tabla 4).

Tabla 3. Rango de valores de irradiación diaria para las regiones del Ecuador.

Zona climática	kWh/m ²	MJ/m ²
I	$H < 3,8$	$H < 13,68$
II	$3,8 \leq H < 4,2$	$13,68 \leq H < 15,12$
III	$4,2 \leq H < 4,6$	$15,12 \leq H < 16,56$
IV	$4,6 \leq H < 5,0$	$16,56 \leq H < 18,00$
V	$5,0 \leq H < 5,4$	$18,00 \leq H < 19,44$
VI	$H \geq 5,4$	$H \geq 19,44$

Fuente: [19].

Tabla 4. Contribución solar mínima para la obtención de ACS.

Demanda total ACS del edificio (l/d)	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV	Zona V	Zona VI
50 – 5.000	30%	40%	50%	55%	60%	65%
5.001 – 10.000	35%	45%	55%	60%	65%	70%
> 10.000	40%	50%	60%	65%	70%	75%

Fuente: [19].

6.4. Tipo de colector

Para la selección del tipo de colector se debe tener en cuenta principalmente la temperatura de trabajo que debe alcanzar el fluido y la temperatura del ambiente donde se

requiere su instalación. Su rendimiento puede disminuir a medida que la temperatura del fluido aumenta o la temperatura ambiental disminuye.

Aplicando la ecuación (1), para una temperatura media del fluido de 60 °C (temperatura recomendada para el escaldado avícola) y una temperatura promedio ambiental de 19,4 °C obtenida de [23] ver (Anexo 2), se obtiene:

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_{\text{fluido}} - T_{\text{ambiente}} \\ \Delta T &= (60 \text{ °C} - 19,4 \text{ °C}) = 40,6 \text{ °C} \\ \Delta T &= 40,6 \text{ K}\end{aligned}$$

El incremento de la temperatura de trabajo estará alrededor de los 40,6 K y mediante la (Figura 11) se puede observar que el colector de placa plana y tubos al vacío alcanzan un rendimiento semejante, además de ser los más distinguidos en el mercado nacional. Por criterios técnicos y económicos se elige el colector de tipo placa plana para el desarrollo de este trabajo. Incluso con temperaturas ambientales en climas templados-cálidos este tipo de colector mejora su rendimiento.

6.5. Tipo de sistema

En este caso, el sistema solar térmico será de tipo placa plana, con circulación por diferencia de densidades (termosifón) y almacenamiento directo de agua caliente sanitaria colocado sobre el nivel del captador.

Este sistema es usado comúnmente en la región ya que poseen un mejor desempeño en climas templados y cálidos en comparación con otras tecnologías. Son característicos por su precio económico, fácil montaje y bajo mantenimiento, con una vida útil de hasta 25 años.

6.6. Demanda energética de ACS

Inicialmente, se estableció el consumo diario de agua caliente durante el proceso de escaldado en la avícola, para lo cual se realizó la recolección de información durante una jornada de trabajo, ver (Anexo 3), obteniendo un volumen de consumo de 598,7 litros/día y una temperatura promedio inicial de agua en la red de 21 °C.

La demanda energética se determina mediante la ecuación (2), considerando también la temperatura de producción de 60 °C, los resultados mensuales se establecen en la siguiente tabla.

Tabla 5. Demanda energética total mensual.

Mes	n (días)	T _i (°C)	T _f (°C)	T _f - T _i (°C)	Dacs (kWh/mes)
Enero	31	21	60	39	841,81
Febrero	28	21	60	39	760,35
Marzo	31	21	60	39	841,81
Abril	30	21	60	39	814,66
Mayo	31	21	60	39	841,81
Junio	30	21	60	39	814,66
Julio	31	21	60	39	841,81
Agosto	31	21	60	39	841,81
Septiembre	30	21	60	39	814,66
Octubre	31	21	60	39	841,81
Noviembre	30	21	60	39	814,66
Diciembre	31	21	60	39	841,81
ANUAL					9911,66

Fuente: Autor.

6.7. Orientación e inclinación óptima de los colectores

Aplicando la ecuación (3) se obtiene:

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 * |\phi|$$

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 * |-3,97|$$

$$\beta_{opt} = 6,44^\circ$$

El ángulo de inclinación óptimo obtenido es de 6,44°, por lo tanto, se considera como la mínima inclinación que pueden tener los colectores solares. De esta forma, se optó por la selección de 15° de inclinación, este valor está en el rango recomendado por [19]. Además, la orientación de los colectores sería hacia el norte ya que la avícola se encuentra en el hemisferio sur, y por recomendación se orientan en dirección hacia la línea equinoccial.

6.8. Irradiación sobre la superficie con pérdidas por sombras

En los alrededores de la avícola no existe edificios, árboles o algún tipo de objeto físico que genere sombras considerables que puedan afectar en la captación solar de los colectores, sin embargo, se considera el perfil montañoso del horizonte que en este caso genera pérdidas por sombras lejanas y reducirá la irradiación solar sobre la superficie captadora.

De esta forma, empleando el software PVsyst 7.2, se configura la superficie colectora a una inclinación de 15° y se establece la línea de horizonte por puntos (Tabla 3), que está en función del azimut y el ángulo de la altitud montañosa (Figura 15).

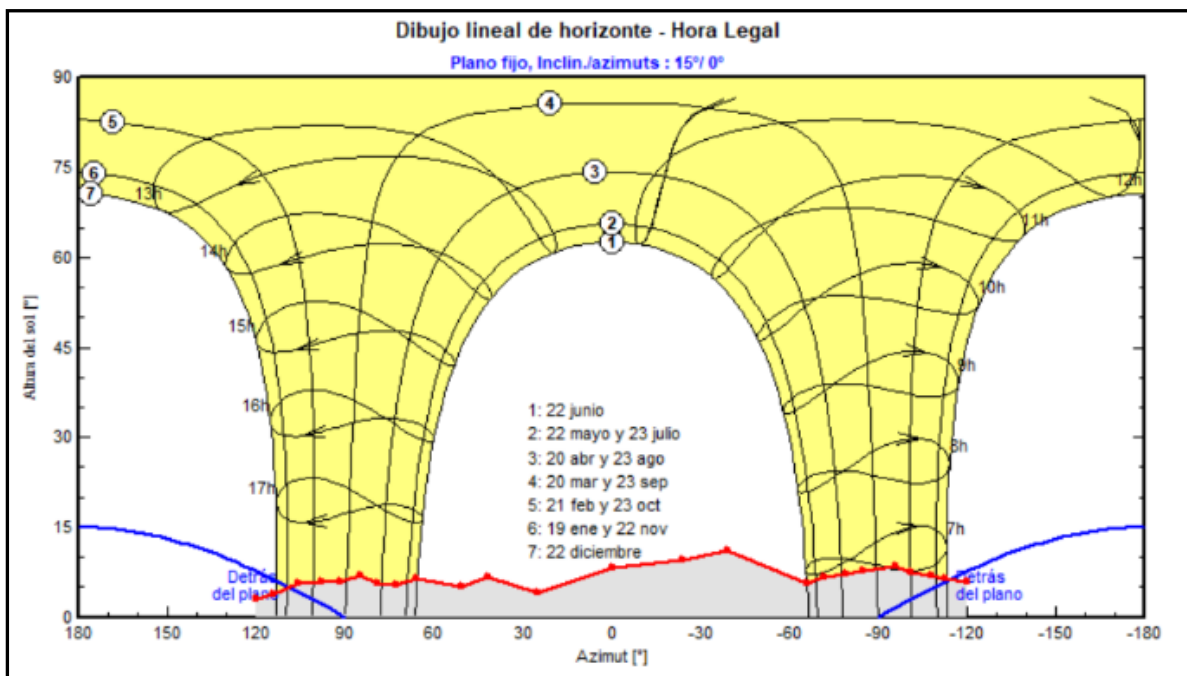


Figura 15. Dibujo lineal del horizonte por puntos y plano inclinado de 15° .

Fuente: [23].

El recorrido del horizonte de sombras está definido por los siguientes puntos:

Tabla 6. Puntos del perfil del horizonte.

N°	Azimut (°)	Altura (°)	N°	Azimut (°)	Altura (°)	N°	Azimut (°)	Altura (°)
1	-120	5,9	9	-66	5,6	17	73	5,4
2	-113	6,5	10	-39	11	18	79	5,7
3	-108	7	11	-24	9,6	19	85	6,8
4	-101	7,4	12	0	8,2	20	92	6
5	-96	8,5	13	25	4	21	98	5,9
6	-85	7,6	14	42	6,7	22	106	5,6
7	-79	7,2	15	51	5,2	23	114,3	3,7
8	-72	6,7	16	66	6,5	24	120	3,1

Fuente: [23].

El resultado de los datos de radiación solar incidente sobre la superficie colectora considerando solo el recorrido solar de cada punto del horizonte, se muestran en la (Tabla 7).

Tabla 7. Irradiación global con sombreado de horizonte.

Fuente de datos Meteonorm 8.0, Sat=100%	
Lugar	Barrio Trapichillo (Catamayo-Ecuador)
Mes	Irradiación global con sombreado de horizonte (kWh/m ² /día)
Enero	5,55
Febrero	5,32
Marzo	6,04
Abril	6,32
Mayo	6,52
Junio	6,41
Julio	6,43
Agosto	6,23
Septiembre	6,18
Octubre	5,14
Noviembre	5,09
Diciembre	5,19
Año	5,87

Fuente: [23].

6.9. Irradiación sobre la superficie inclinada con pérdidas por sombra

Con la configuración establecida en el software, se calcula los datos de radiación solar incidente sobre la superficie colectora considerando tanto el recorrido solar de cada punto del horizonte como la inclinación óptima del colector, dando como resultado los datos presentados en la (Tabla 8), que serán los usados para el dimensionamiento del SST.

Tabla 8. Irradiación global en plano inclinado con sombra.

Fuente de datos Meteonorm 8.0, Sat=100%	
Lugar	Barrio Trapichillo (Catamayo-Ecuador)
Mes	Irradiación global en plano inclinado con sombra (kWh/m ² /día)
Enero	5,32
Febrero	5,14
Marzo	5,86
Abril	6,16
Mayo	6,37
Junio	6,27
Julio	6,28
Agosto	6,08
Septiembre	6,02
Octubre	4,98
Noviembre	4,91
Diciembre	4,98
Año	5,70

Fuente: [23].

6.10. Pérdidas por orientación e inclinación

Según [19], teniendo en cuenta que el sistema se implementará en el hemisferio sur orientado hacia el norte, bajo estas condiciones, el ángulo azimut será de 0° y se toma en cuenta que las pérdidas por orientación e inclinación no deben superar el 10%.

Los límites de inclinación se determinan mediante la figura del (Anexo 1), la cual es válida para una latitud de 41°, por lo tanto, se hace una corrección de los límites e inclinación

aceptables en función de la diferencia entre la latitud del lugar, considerando un ángulo azimut de ($\alpha=0^\circ$), obteniendo los siguientes resultados.

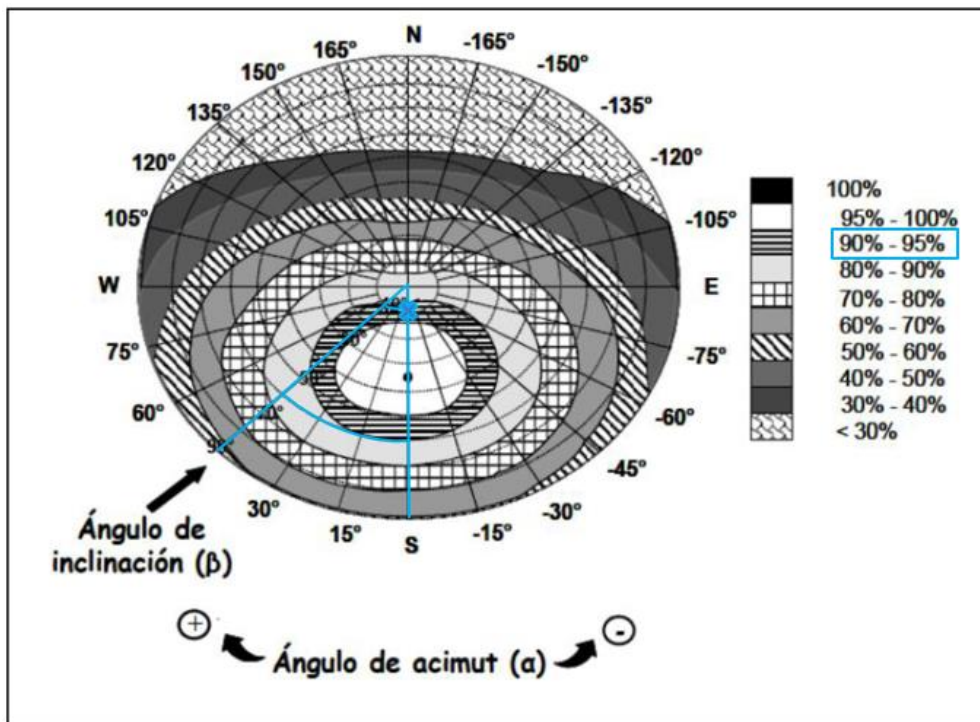


Figura 16. Determinación de los límites superior e inferior en función de la inclinación del captador.

Fuente: Autor.

Para un limite de pérdidas del 10% existe una región que comprende un porcentaje del 90% - 95% (Figura 16), la intersección formada por el azimut determina los siguientes límites de esta región para una latitud de 41° :

- Inclinación máxima: 60°
- Inclinación mínima: 7°

Estos valores deben ser corregidos para la latitud del lugar ($\phi=-3,977^\circ$) con el fin de ajustar los resultados al lugar de diseño, empleando las ecuaciones (4) y (5) respectivamente.

$$\text{Inclinación máxima} = \text{inclinación máxima}(\beta = 41^\circ) - (41^\circ - \phi)$$

$$\text{Inclinación máxima} = 60^\circ - [41^\circ - (-3,977^\circ)] = 15,02^\circ$$

$$\text{Inclinación mínima} = \text{inclinación mínima}(\beta = 41^\circ) - (41^\circ - \phi)$$

$$\text{Inclinación mínima} = 7^\circ - [41^\circ - (-3,977^\circ)] = -37,97^\circ$$

Al estar dentro del rango recomendado, se establece que la inclinación mínima de 10° como lo establece [19].

Por último, se determina el porcentaje de pérdidas aplicando la ecuación (6).

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \cdot [1,2 \times 10^{-4} \cdot (\beta - \phi)^2]$$

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \cdot [1,2 \times 10^{-4} \cdot (15^\circ - 3,977^\circ)^2]$$

$$\text{Pérdidas (\%)} = 4,32 \%$$

6.11. Sistema de captación

6.11.1. Predimensionado de la superficie necesaria de captación

Teniendo en cuenta el volumen necesario para llevar a cabo el escaldado avícola (Anexo 3), se establece la primera hipótesis de superficie necesaria de captación.

$$S = \frac{598.71}{75 \frac{1}{\text{m}^2}}$$

$$S = 7,98 \text{ m}^2$$

6.11.2. Selección del colector solar

El objetivo fue de escoger un captador solar disponible en el mercado ecuatoriano que logre cumplir con todos los requerimientos de la instalación, disponga de su información técnica de diseño y tenga un precio económico.

Luego de haber analizado estos requerimientos en diferentes captadores, se optó por el colector **Chromagen PA-F**, que oferta la empresa “HidroTherm”, sus especificaciones técnicas se pueden ver en el (Anexo 4), con una superficie útil de un colector de $2,54 \text{ m}^2$.

6.11.3. Superficie de captación

Se aplica la ecuación (7), obteniendo la superficie colectora a instalar.

$$S_c = \text{redondear} \left(\frac{\text{Superficie necesaria}}{\text{Superficie útil de 1 colector}} \right) * \text{Superficie útil de 1 colector}$$

$$S_c = \text{redondear} \left(\frac{7,98 \text{ m}^2}{2,54 \text{ m}^2} \right) * 2,54 \text{ m}^2$$

$$S_c = 7,62 \text{ m}^2$$

6.11.4. Cálculo del parámetro Y

El primer paso es determinar el factor de eficiencia óptica del captador, para ello se debe conocer la información técnica del colector proporcionada por la empresa que lo comercializa, obteniéndose de la curva de eficiencia (Figura 17), dando un valor de 78,5 %.

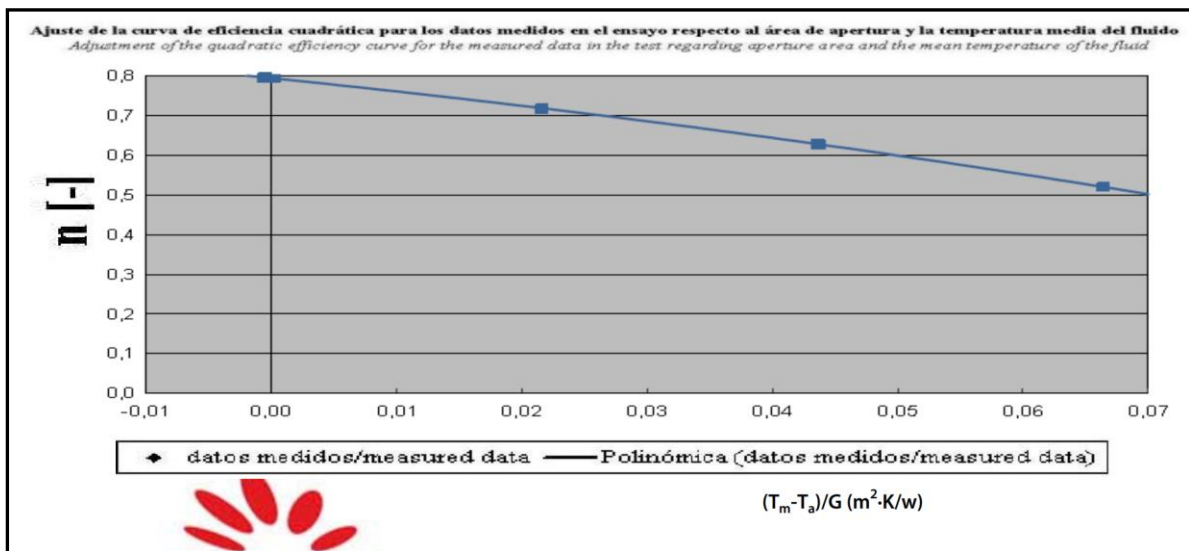


Figura 17. Ajuste de la curva de eficiencia del colector Chromagen PA-F.

Fuente: [24].

Al ser un colector de cubierta simple se toma un valor de 0,96 como factor de la variación de absorptancia y transmitancia [19]. Luego se emplea la ecuación (10) para obtener los siguientes resultados que se encuentran entre el rango ($0 < Y < 3$).

Tabla 9. Cálculo del parámetro Y.

Mes	n (días)	HT (kWh/m2/día)	Dacs (kWh/mes)	Sc (m2)	$F_R(\tau\alpha)_n$ (s.d)	$\frac{F'_R}{F_R}$ (s.d)	$\frac{[(\tau\alpha)]}{(\tau\alpha)_n}$ (s.d)	Y (s.d)
Enero	31	5,32	841,81	7,62	0,785	0,95	0,96	1,07
Febrero	28	5,14	760,35	7,62	0,785	0,95	0,96	1,03
Marzo	31	5,86	841,81	7,62	0,785	0,95	0,96	1,18
Abril	30	6,16	814,66	7,62	0,785	0,95	0,96	1,24
Mayo	31	6,37	841,81	7,62	0,785	0,95	0,96	1,28
Junio	30	6,27	814,66	7,62	0,785	0,95	0,96	1,26
Julio	31	6,28	841,81	7,62	0,785	0,95	0,96	1,26
Agosto	31	6,08	841,81	7,62	0,785	0,95	0,96	1,22
Septiembre	30	6,02	814,66	7,62	0,785	0,95	0,96	1,21
Octubre	31	4,98	841,81	7,62	0,785	0,95	0,96	1,00
Noviembre	30	4,91	814,66	7,62	0,785	0,95	0,96	0,99
Diciembre	31	4,98	841,81	7,62	0,785	0,95	0,96	1,00

Fuente: Autor.

6.11.5. Cálculo del parámetro X

Antes de determinar el parámetro X, es necesario calcular el factor K1 (corrección por el almacenamiento) mediante la ecuación (13), el valor obtenido es igual para todos los meses, y da como resultado:

$$K_1 = \left(\frac{V}{75 * S_c} \right)^{-0,25}$$

$$K_1 = \left(\frac{598,7 \text{ l}}{75 * 7,62 \text{ m}^2} \right)^{-0,25}$$

$$K_1 = 0,988$$

De igual forma, se calcula el factor K2 (corrección para temperaturas) mediante la ecuación (14). La pendiente característica de la curva de eficiencia del colector se puede obtener de la (Figura 17), y toma un valor de:

$$F_R U_L = 4,25$$

Obtenidos estos valores se calcula el parámetro X mediante la ecuación (12) para obtener los siguientes resultados que se encuentran entre el rango ($0 < X < 18$).

Tabla 10. Cálculo del parámetro X.

Mes	Tamb (°C)	Δt (h)	Dacs (Wh/mes)	Sc (m ²)	F _R U _L (W/m ² °C)	$\frac{F'_R}{F_R}$ (s.d)	K1 (s.d)	K2 (s.d)	X (s.d)
Enero	21,3	744	841812,3	7,62	4,25	0,95	1,0	1,45	3,1
Febrero	21,8	672	760346,6	7,62	4,25	0,95	1,0	1,44	3,0
Marzo	22	744	841812,3	7,62	4,25	0,95	1,0	1,44	3,0
Abril	21,3	720	814657,1	7,62	4,25	0,95	1,0	1,45	3,1
Mayo	20,3	744	841812,3	7,62	4,25	0,95	1,0	1,46	3,1
Junio	18,5	720	814657,1	7,62	4,25	0,95	1,0	1,48	3,2
Julio	17,6	744	841812,3	7,62	4,25	0,95	1,0	1,49	3,3
Agosto	17,1	744	841812,3	7,62	4,25	0,95	1,0	1,49	3,3
Septiembre	17,1	720	814657,1	7,62	4,25	0,95	1,0	1,49	3,3
Octubre	17,5	744	841812,3	7,62	4,25	0,95	1,0	1,49	3,3
Noviembre	18	720	814657,1	7,62	4,25	0,95	1,0	1,48	3,3
Diciembre	19,8	744	841812,3	7,62	4,25	0,95	1,0	1,47	3,2

Fuente: Autor.

6.11.6. Fracción calorífica mensual

Obtenidas las variables adimensionales “Y” y “X”, se puede calcular la fracción calorífica mensual mediante la ecuación (8).

Tabla 11. Cálculo de la fracción calorífica mensual.

Mes	Y (s.d)	X (s.d)	f (s.d)
Enero	1,1	3,1	0,66
Febrero	1,0	3,0	0,64
Marzo	1,2	3,0	0,73
Abril	1,2	3,1	0,76
Mayo	1,3	3,1	0,78
Junio	1,3	3,2	0,76
Julio	1,3	3,3	0,76
Agosto	1,2	3,3	0,73
Septiembre	1,2	3,3	0,73
Octubre	1,0	3,3	0,61
Noviembre	1,0	3,3	0,60
Diciembre	1,0	3,2	0,62

Fuente: Autor.

6.11.7. Energía útil mensual

Usando la ecuación (15) se puede conocer la energía útil mensual aprovechada por el sistema.

Tabla 12. Cálculo de la energía útil mensual.

Mes	f (s.d)	Dacs (kWh/mes)	Qu (kWh/mes)
Enero	0,66	841,8	558,5
Febrero	0,64	760,3	490,2
Marzo	0,73	841,8	612,4
Abril	0,76	814,7	616,7
Mayo	0,78	841,8	652,5
Junio	0,76	814,7	617,8
Julio	0,76	841,8	637,1
Agosto	0,73	841,8	618,4
Septiembre	0,73	814,7	593,2
Octubre	0,61	841,8	514,6
Noviembre	0,60	814,7	492,0
Diciembre	0,62	841,8	520,7

Fuente: Autor.

6.11.8. Cobertura solar anual (%)

El porcentaje de la cobertura solar anual se determina usando la ecuación (16).

Tabla 13. Cálculo de la cobertura solar anual.

Mes	Dacs (kWh/mes)	Qu (kWh/mes)
Enero	841,8	558,5
Febrero	760,3	490,2
Marzo	841,8	612,4
Abril	814,7	616,7
Mayo	841,8	652,5
Junio	814,7	617,8
Julio	841,8	637,1
Agosto	841,8	618,4
Septiembre	814,7	593,2
Octubre	841,8	514,6
Noviembre	814,7	492,0
Diciembre	841,8	520,7

Cobertura Anual	69,86 %
------------------------	----------------

Fuente: Autor.

La cobertura anual es de 69,9 %, por lo tanto, el sistema cumple con el requerimiento de un 60 % como mínima contribución solar para usos residenciales.

6.11.9. Temperatura del agua alcanzada por el sistema

Esta temperatura se determina en función de la energía útil mensual obtenida por el sistema mediante la ecuación (17).

Tabla 14. Cálculo de la temperatura alcanzada por el sistema.

Mes	n (días)	Ti (°C)	Qu (kWh/mes)	Ts (°C)	Aportación %
Enero	31	21	558,5	46,9	78,12%
Febrero	28	21	490,2	46,1	76,91%
Marzo	31	21	612,4	49,4	82,29%
Abril	30	21	616,7	50,5	84,21%
Mayo	31	21	652,5	51,2	85,38%
Junio	30	21	617,8	50,6	84,30%
Julio	31	21	637,1	50,5	84,20%
Agosto	31	21	618,4	49,7	82,75%
Septiembre	30	21	593,2	49,4	82,33%
Octubre	31	21	514,6	44,8	74,73%
Noviembre	30	21	492,0	44,6	74,26%
Diciembre	31	21	520,7	45,1	75,21%
PROMEDIO				48,2	80,39%

Fuente: Autor.

La temperatura promedio anual del agua alcanzada es de 48,2°C, representando un 80,39 % de la temperatura óptima de trabajo. Esto indica que la variación de temperatura faltante se debe compensar con una resistencia eléctrica.

6.11.10. Rendimiento anual del sistema

El rendimiento anual puede calcularse mediante la ecuación (18).

Tabla 15. Cálculo del rendimiento anual del sistema.

Mes	H _β (kWh/m ²)	Q _u (kWh)	η (%)
Enero	164,8	558,5	44,47%
Febrero	144,0	490,2	44,68%
Marzo	181,8	612,4	44,21%
Abril	184,9	616,7	43,77%
Mayo	197,5	652,5	43,36%
Junio	188,0	617,8	43,13%
Julio	194,7	637,1	42,94%
Agosto	188,6	618,4	43,03%
Septiembre	180,7	593,2	43,08%
Octubre	154,5	514,6	43,71%
Noviembre	147,3	492,0	43,83%
Diciembre	154,4	520,7	44,26%
ANUAL	2081,2	6924,2	43,66%

Fuente: Autor.

El rendimiento alcanzado por el sistema es de 43,66 %, lo que significa que está por encima del 20 % recomendado por la Norma Ecuatoriana de la construcción [19].

6.12. Sistema de acumulación

6.12.1. Selección del depósito de almacenamiento

La cantidad máxima de ACS necesaria para llevar a cabo el proceso de calentamiento en la avícola en una jornada de trabajo es de 598,7 litros, por tal razón se seleccionó 2 Acumuladores termosifón tipo **Interacumulador multiposición DC de 300 litros** de la marca **Chromagen** que oferta la empresa “HidroTherm”, sus especificaciones técnicas completas se pueden ver en el (Anexo 6) y resumidas en la siguiente tabla.

Tabla 16. Datos técnicos del Acumulador termosifón.

Interacumulador multiposición DC					
Capacidad (l)	Presión (Bar)	Peso (kg)	Intercambiador		
			Superficie (m ²)	Volumen (l)	Presión (Bar)
300	8	130	1,6	13	8

Fuente: [24].

Al escoger un tanque acumulador de mayor capacidad a la demanda necesaria, se debe evaluar nuevamente la cobertura solar anual y el rendimiento del sistema (Tabla 17).

Tabla 17. Reajuste del sistema con el volumen de 600 l.

Mes	Dacs (kWh/mes)	Qu (kWh/mes)	Ts (°C)	Aportación (%)
Enero	843,6	558,9	46,8	78,06%
Febrero	762,0	490,6	46,1	76,85%
Marzo	843,6	612,9	49,3	82,23%
Abril	816,4	617,3	50,5	84,14%
Mayo	843,6	653,1	51,2	85,32%
Junio	816,4	618,4	50,5	84,23%
Julio	843,6	637,7	50,5	84,13%
Agosto	843,6	619,0	49,6	82,69%
Septiembre	816,4	593,8	49,4	82,27%
Octubre	843,6	515,0	44,8	74,68%
Noviembre	816,4	492,4	44,5	74,20%
Diciembre	843,6	521,1	45,1	75,15%
Promedio			48,2	80,33%
Cobertura Anual			69,77%	
Rendimiento del sistema			43,70%	

Fuente: Autor.

Realizados los cálculos con el reajuste del volumen se determina una cobertura solar anual de 69,77 % y un rendimiento anual de 43,7 %, recalcando que estos valores cumplen con la condición establecida para la implementación de su diseño.

Por último, se comprueba la relación establecida por la Norma Ecuatoriana de la Construcción para el sistema de acumulación empleando la ecuación (19).

$$40 \leq \frac{V}{A} \leq 180 \text{ l/m}^2$$

$$40 \leq \frac{600}{7,62} \leq 180 \text{ l/m}^2$$

$$40 \leq 78,74 \leq 180 \text{ l/m}^2$$

Cabe destacar que el tanque interno del interacumulador tiene sus extremos de forma convexa, adecuado para este tipo de trabajo, favoreciendo una presión interna de manera uniforme en sus extremos.

De igual forma, es necesario conocer si el tanque seleccionado cumple con los requerimientos necesarios en las condiciones en las que va a trabajar en base a sus dimensiones y propiedades mecánicas. La geometría del tanque corresponde a una altura de 1,361 m, diámetro interno de 0,606 m y espesor de 2 mm. Según DIPAC MANTA S.A., el acero inoxidable vitrificado AISI 430, presenta un límite de fluencia mínimo de 215.7 MPa.

$$\sigma_t = \frac{P * r}{e} \leq \sigma_d$$

$$\sigma_t = \frac{8 \text{ Bar} * 0,303 \text{ m}}{0,002 \text{ m}} = 121,2 \text{ MPa}$$

$$\eta_s = \frac{\sigma_d}{\sigma_t}$$

$$\eta_s = \frac{215,7 \text{ MPa}}{121,2 \text{ MPa}} = 1,78$$

El coeficiente de seguridad n_s , indica que el tanque seleccionado cumple con los requisitos mínimos para poder trabajar en las condiciones de diseño.

6.12.2. Pérdidas térmicas en el depósito de almacenamiento

Para el cálculo de las pérdidas térmicas del interacumulador seleccionado es necesario conocer la conductividad térmica del material del que está fabricado el tanque, espesor de la pared del mismo, el tipo de aislante y espesor usado por el fabricante para el aislamiento del tanque acumulador. Las características técnicas del tanque de acero, utilizadas para realizar el cálculo son:

$$D_{et} = 0,610 \text{ m}$$

$$D_{it} = 0,606 \text{ m}$$

$$D_{ec} = 0,693 \text{ m}$$

$$D_{ic} = 0,690 \text{ m}$$

Conductividad térmica del tanque ($k = 26,1 \text{ W/mK}$)

Espesor del aislante, poliuretano: 40 mm

Conductividad térmica del poliuretano ($k = 0,033 \text{ W/mK}$)

Empleando la ecuación (21), se procede a determinar la resistencia térmica del acumulador se la siguiente forma:

$$R_{\text{tanque}} = \frac{1}{h_1 A_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L k_1} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi L k_2} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi L k_3} + \frac{1}{h_2 A_4}$$

Donde:

$$A_1 = 2\pi r_1 L = 2\pi * 0,303 \text{ m} * 1,361 \text{ m} = 2,59 \text{ m}^2$$

$$A_4 = 2\pi r_2 L = 2\pi * 0,3465 \text{ m} * 1,361 \text{ m} = 2,96 \text{ m}^2$$

Para resolver esta ecuación es primordial conocer los coeficientes de convección en el interior del tanque (agua) y fuera de él (aire). Por esta razón, considerando una temperatura del agua dentro del acumulador igual a $T_{\infty 1} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$, se establece sus propiedades físicas a esta temperatura y se procede al cálculo respectivo.

$$k = 0,654 \text{ W/mK}$$

$$\beta = 0,517 * 10^{-3} \text{ 1/K}$$

$$\rho = 983,3 \text{ kg/m}^3$$

$$v = 4,75 * 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Pr} = 2,99$$

La transferencia energética del colector hacia el depósito de almacenamiento es efectuada por medio de un intercambiador de calor, también conocido como transferencia por flujo indirecto, causando que no exista ningún mezclado de fluido ni algún tipo de circulación de agua dentro del tanque, por lo tanto, el caudal másico en el interior del tanque es cercano o igual a cero, al igual que la velocidad de flujo ($v = 0 \text{ m/s}$).

A continuación, se determina si el fluido dentro del tanque se encuentra en régimen laminar o turbulento, haciendo uso de la siguiente expresión.

Flujo laminar $2000 > N_R > 4000$ *Flujo turbulento*

$$N_R = \frac{v * D}{\nu} = \frac{0 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,606 \text{ m}}{4,75 * 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 0$$

Como en el interior del tanque el flujo de agua se encuentra en régimen laminar, se procede a determinar el número de Nusselt, considerando que la temperatura superficial en el interior del tanque es constante, misma que es determinada usando la expresión descrita por [25].

$$Nu = \frac{h_1 * D}{k} = 3,66$$

$$h_1 = \frac{k * Nu}{D} = \frac{0,654 \frac{W}{mK} * 3,66}{0,606 \text{ m}} = 3,95 \frac{W}{m^2K}$$

Para obtener el coeficiente convectivo en la parte externa del tanque, primero hay que establecer las temperaturas T_4 y $T_{\infty 2}$, expuestas en la Figura 13, para ello se considera un flujo de calor constante y a temperatura ambiente de 19,36 °C. Como no es posible conocer la temperatura T_4 , se la calcula mediante un proceso iterativo con la ayuda de las siguientes expresiones, siguiendo la secuencia del diagrama de flujo mostrado en la Figura 18.

$$\dot{q} = \frac{T_4 - 19,36}{\frac{1}{h_2 A_2}} = \frac{60 - T_4}{\frac{1}{h_1 A_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L k_1} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi L k_2} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi L k_3}}$$

$$\dot{q} = \frac{T_4 - 19,36}{\frac{1}{2,96 h_2}} = \frac{60 - T_4}{0,728}$$

$$h_2 = \frac{60 - T_4}{0,728 * 2,96 * (T_4 - 19,36)} = \frac{60 - T_4}{2,15 * (T_4 - 19,36)}$$

$$Ra = \frac{g\beta(T_4 - T_{\infty 2})L_c^3}{\nu^2} Pr$$

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$h'_2 = \frac{kNu}{L}$$

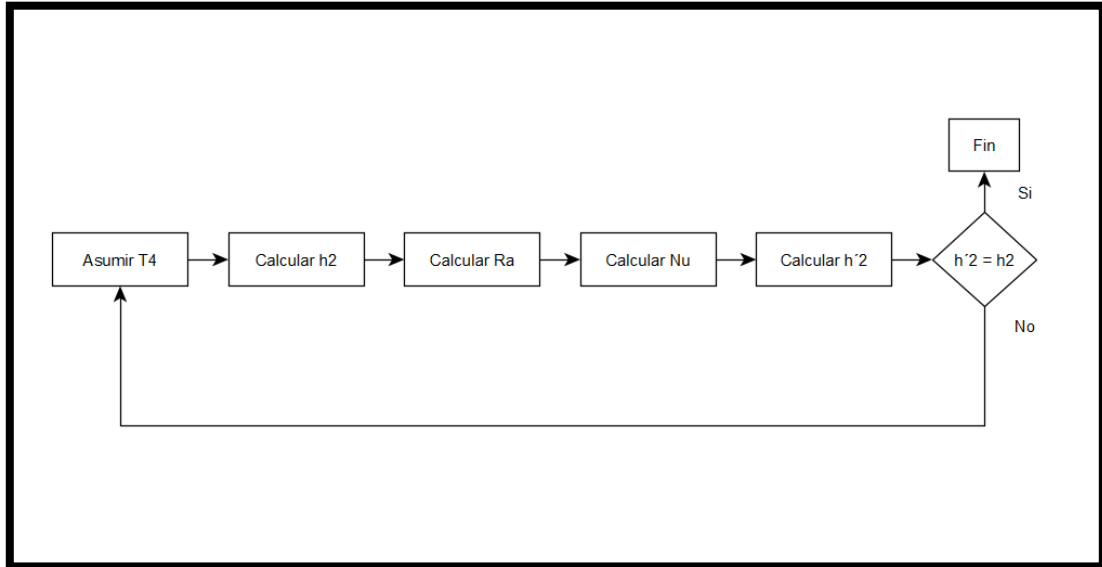


Figura 18. Diagrama de flujo para determinar el coeficiente de convección h_2 .

Fuente: Autor.

Una vez seguido el orden sistemático del diagrama presentado, se determinó una temperatura de $T_4 = 25,45 \text{ }^\circ\text{C}$, de esta forma T_m es igual a:

$$T_4 = 25,45 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\infty 2} = 19,36 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_m = 22,4 \text{ }^\circ\text{C} = 295,55 \text{ K}$$

Por lo tanto, se seleccionó las propiedades termofísicas del aire a la temperatura media T_m del Anexo 10, y se procedió a efectuar los cálculos respectivos.

$$k = 0,025 \text{ W/mK}$$

$$\beta = 3,38 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}$$

$$\nu = 1,53 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Pr} = 0,73$$

$$h_2 = \frac{60 - 25,45}{2,15 \cdot (25,45 - 19,36)} = 2,63 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\text{Ra} = \frac{9,81 \cdot (3,38 \cdot 10^{-3}) \cdot (25,45 - 19,36) \cdot (1,361)^3}{(1,53 \cdot 10^{-5})^2} \cdot 0,73 = 1,57 \cdot 10^9$$

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 * (1,57 * 10^9)^{1/6}}{[1 + (0,492/0,73)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 = 141,88$$

$$h'_2 = \frac{0,0253 \text{ W/mK} * 141,88}{1,361 \text{ m}} = 2,63 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R_{\text{tanque}} = \frac{1}{3,95 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} * 2,59 \text{ m}^2} + \frac{\ln(0,305 \text{ m} / 0,303 \text{ m})}{2\pi * 1,361 \text{ m} * 26,1 \text{ W/mK}}$$

$$+ \frac{\ln(0,345 \text{ m} / 0,305 \text{ m})}{2\pi * 1,361 \text{ m} * 0,023 \text{ W/mK}} + \frac{\ln(0,3465 \text{ m} / 0,345 \text{ m})}{2\pi * 1,361 \text{ m} * 26,1 \text{ W/mK}}$$

$$+ \frac{1}{2,63 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} * 2,96 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{tanque}} = 0,098 + 2,95 * 10^{-5} + 0,63 + 1,94 * 10^{-5} + 0,13 = 0,86 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

El valor de la resistencia es introducido en la ecuación (20) para así determinar las pérdidas causadas por el interacumulador.

$$Q_p = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\text{total}}}$$

$$Q_p = \frac{333,15 \text{ K} - 292,51 \text{ K}}{0,86 \frac{\text{K}}{\text{W}}} = 47,25 \text{ W}$$

6.13. Sistema auxiliar

Debido a que la energía útil obtenida por el sistema de captación no puede cubrir en su totalidad a la energía necesaria para calentar el agua a la temperatura de escaldado, se optó por el uso de un sistema auxiliar cuya función es abastecer dicha energía restante hasta alcanzar la temperatura deseada del ACS. La energía que debe aportar el sistema auxiliar se muestra en la (Tabla 18).

Tabla 18. Contribución energética del sistema auxiliar.

Mes	Dacs (kWh/mes)	Qu (kWh/mes)	Contribución eléctrica (kWh/mes)
Enero	843,6	558,9	284,7
Febrero	762,0	490,6	271,4
Marzo	843,6	612,9	230,7
Abril	816,4	617,3	199,2
Mayo	843,6	653,1	190,5
Junio	816,4	618,4	198,0
Julio	843,6	637,7	205,9
Agosto	843,6	619,0	224,6
Septiembre	816,4	593,8	222,6
Octubre	843,6	515,0	328,6
Noviembre	816,4	492,4	324,0
Diciembre	843,6	521,1	322,5
ANUAL	9933,2	6930,3	3002,9

Fuente: Autor.

La característica principal del sistema de apoyo es de proporcionar un ahorro energético efectivo con pérdidas térmicas mínimas y una alta durabilidad del equipo. El tipo de sistema a emplear es por medio de una resistencia eléctrica conectada en el mismo acumulador solar. La Norma Ecuatoriana de la Construcción sugiere como requisito para el sistema de apoyo que debe ser capaz de abastecer en su totalidad la demanda máxima de agua caliente independientemente de la temperatura del sistema solar térmico y su potencia se limita por la temperatura máxima que alcanza la instalación cuando se trata de equipos de acumulación con volúmenes superiores a 300 litros.

Esto resulta útil cuando existan días nublados y la radiación incidente en el colector sea mínima causando que tenga un funcionamiento crítico de calentamiento dando paso al uso exclusivo del sistema auxiliar para satisfacer la demanda de ACS.

Para determinar la potencia que debe tener la resistencia primero se calcula la demanda energética de ACS diaria mediante la ecuación (2).

$$D_{ACS} = \dot{m} * C_p * n * \rho * (T_f - T_i)$$

$$D_{ACS} = 600 \frac{l}{día} * 0.001163 \frac{kWh}{kg°C} * 1 día * 1 \frac{kg}{l} * (60 - 21) °C$$

$$D_{ACS} = 27,21 \text{ kWh}$$

Ahora se considera que el tiempo útil para llevar a cabo el calentamiento del agua es de 6 horas con 15 minutos, comprendidas desde las 06H00 hasta las 12H15, horario en el cual el sistema se encuentra en estado pasivo.

$$P = \frac{D_{ACS}}{t}$$

$$P = \frac{27,21 \text{ kWh}}{6,25 \text{ h}}$$

$$P = 4,35 \text{ kW}$$

Además, se incluye la potencia generada por pérdidas en el acumulador dando como un valor equivalente a:

$$P_{total} = P + 2Q_p$$

$$P_{total} = 4,35 \text{ kW} + 2(47,25 \text{ W})$$

$$P_{total} = 4,44 \text{ kW}$$

La potencia requerida para la resistencia eléctrica del sistema auxiliar es de **4,44 kW**. Por lo tanto, se escogió una **Brida completa con elemento eléctrico 2.300 W** para cada acumulador incluido termostato de control, mismos que vienen incluidos en el tanque acumulador ofertado por la empresa “HidroTherm” (Anexo 6). Este calentador de inmersión cumplirá con la contribución energética necesaria para complementar la demanda total de ACS como se indica en la (Tabla 18).

6.14. Sistema hidráulico

Ahora se procede a calcular el sistema hidráulico bajo las consideraciones técnicas establecidas por [19]. Para ello, se realizó el esquema de conexión del SST (Figura 19) en base al diseño y configuración que establece el fabricante de acumuladores y colectores “Chromagen”, considerando que se trata de un sistema de funcionamiento tipo termosifón, representando los diferentes subsistemas que lo conforman.

La ubicación de la instalación del sistema solar térmico junto a todos sus componentes y subsistemas dentro del territorio del propietario se indica en el (Anexo 7).

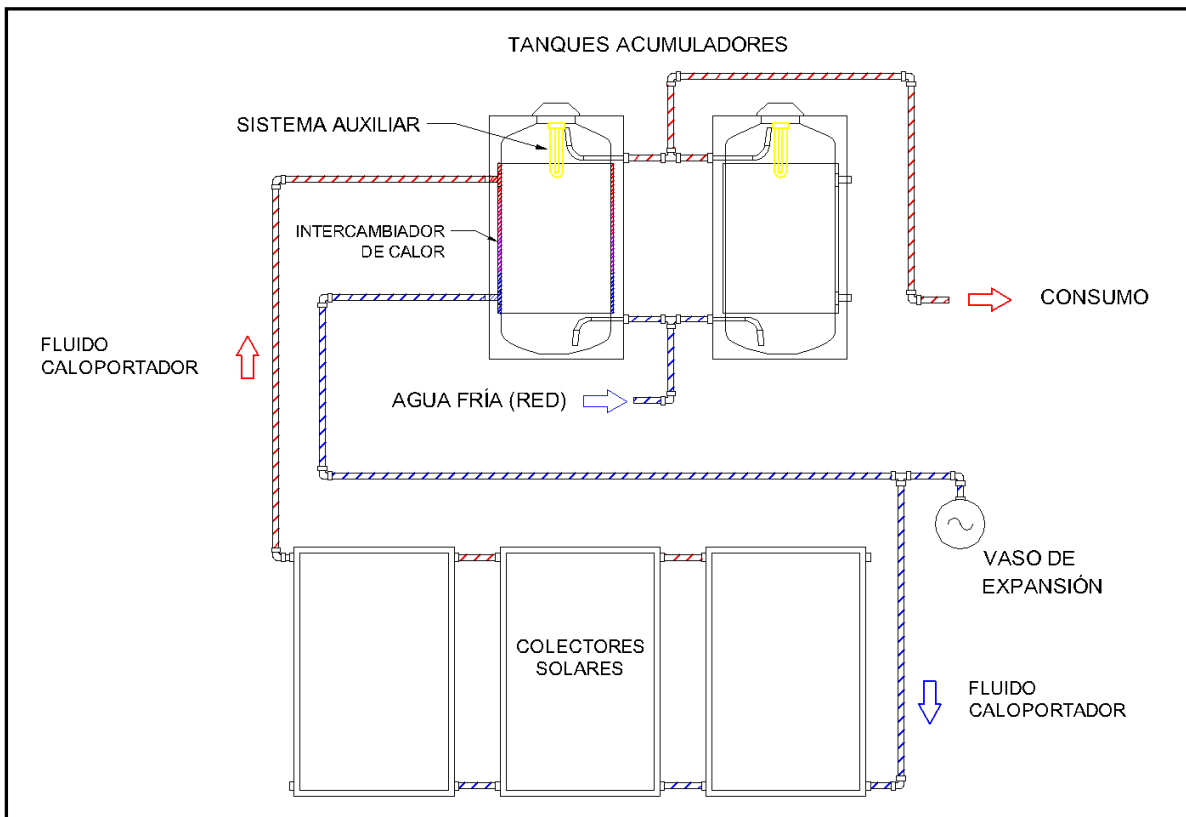


Figura 19. Esquema del sistema hidráulico para el SST.

Fuente: Autor.

6.14.1. Caudal total del circuito primario

Para el cálculo del caudal total del circuito primario, primero se establece el caudal unitario equivalente a $45 \text{ l/h} \cdot \text{m}^2$, como se evidencia en la ficha técnica establecida por el fabricante del colector **Chromagen PA-F** (Anexo 4), y se emplea la ecuación (22).

$$Q = Q_{\text{colector}} * S_c$$

$$Q = \left(45 \frac{\text{l}}{\text{h} * \text{m}^2} \right) * (7,62 \text{ m}^2)$$

$$Q = 342,9 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

$$Q = 9,525 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

6.14.2. Diámetro de tuberías

Bajo la consideración que la velocidad del fluido en las tuberías debe estar comprendida entre 2 m/s y 3 m/s, se calcula el diámetro mínimo permitido para las tuberías despejando de la ecuación (23).

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{v * \pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * \left(9,525 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)}{\left(2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) * \pi}}$$

$$D = 6,96 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$D = 6,96 \text{ mm}$$

El diámetro determinado tiene un valor no comercial, por tal razón se elige una tubería de Polipropileno (PP) roscable (monocapa) de 1 pulgada de diámetro con un espesor de pared de 4,9 mm, es muy utilizada para la conducción de agua fría y caliente, ACS, climatización y calefacción. La misma que se encuentra a disposición en el mercado local.

Ahora se calcula la velocidad que tendrá el fluido con el diámetro de tubería seleccionada.

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

$$v = \frac{4 * \left(9,525 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)}{\pi * \left(25,4 \times 10^{-3} \text{ m}\right)^2}$$

$$v = 0,18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Esta velocidad cumple con los límites de operación recomendados por la Norma Ecuatoriana de la Construcción, por lo tanto, la tubería seleccionada es adecuada para el diseño del SST.

6.14.3. Aislamiento de las tuberías

Las características del aislante vienen dadas por el fabricante, para ello se escoge el aislante de tuberías Vidoflex que sirve para trabajos en temperaturas desde -40 °C hasta los +105 °C, cuenta con una gran variedad de diámetros y tiene una conductividad térmica de 0.037 W/m °C. Aplicando la ecuación (24) se calcula el espesor mínimo del aislante.

$$e = \frac{D_i}{2} \left[\exp \left(\frac{\lambda}{\lambda_{ref}} * \ln \left(\frac{D_i + 2 * e_{ref}}{D_i} \right) \right) - 1 \right]$$
$$e = \frac{25,4 \text{ mm}}{2} \left[\exp \left(\frac{0,037 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}}{0,04 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}} * \ln \left(\frac{25,4 \text{ mm} + 2 * 20 \text{ mm}}{19,05 \text{ mm}} \right) \right) - 1 \right]$$
$$e = 17,76 \text{ mm}$$

Por lo tanto, se seleccionó un espesor de 3/4 de pulgada el mismo que se encuentra disponible en el mercado local.

6.14.4. Pérdidas de carga en las tuberías

Primero, se determina el número de Reynolds (N_R) para conocer si el flujo se encuentra en régimen laminar o turbulento estableciendo las propiedades del agua a 48,2 °C (Anexo 9), la cual es la temperatura máxima alcanzada por el sistema de captación.

Por interpolación se obtienen los siguientes datos:

$$\rho_{\text{fluido}} = 988,82 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{\text{fluido}} = 0,564 \times 10^{-3} \text{ kg/m*s}$$

Y aplicando la ecuación (26) tenemos:

$$N_R = \frac{\rho * v * D_i}{\mu}$$
$$N_R = \frac{\left(988,82 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * \left(0,18 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) * \left(25,4 \times 10^{-3} \text{ m} \right)}{0,564 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}}}$$

$$N_R = 8371,04$$

El flujo se encuentra en régimen turbulento debido a que $N_R > 4000$, por lo tanto, se determina el factor de fricción mediante la ecuación (28), sabiendo que:

$$\varepsilon_{\text{tubería plástica}} = 3 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3,7D_i} + \frac{5,74}{N_R^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{3 \times 10^{-7} \text{ m}}{3,7(25,4 \times 10^{-3} \text{ m})} + \frac{5,74}{(8371,04)^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,032$$

Con este valor del factor de fricción (f) se procede a calcular las pérdidas de carga en la tubería, accesorios y verificar que se encuentre dentro del valor recomendado por la Norma Ecuatoriana de la Construcción ($h_L < 40 \text{ mmca}$), empleando la ecuación (25).

En la tubería:

$$h_{L1} = f * \frac{L}{D_i} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{L1} = 0,032 * \frac{2 \text{ m}}{0,0254 \text{ m}} * \frac{\left(0,18 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}$$

$$h_{L1} = 0,00461 \text{ mca}$$

$$h_{L1} = 4,61 \text{ mmca}$$

En la Tabla 19 se muestran los accesorios que se instalarán en el circuito primario, y de igual forma se calculan los valores de pérdidas de carga de cada uno empleando la ecuación (25), ya que se encuentran en la misma línea de tubería.

Tabla 19. Accesorios hidráulicos que conforman el circuito primario.

Cant.	Accesorios	Longitud equivalente L_e/D
4	Codo de 90°	20
1	Te estándar - con flujo por la ramificación	20
2	Válvula de compuerta - totalmente abierta	8
1	Válvula de retención - tipo oscilante	100

Fuente: Autor.

En el Codo de 90°:

$$h_{L2} = n * f * \frac{L_e}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{L2} = 4 * 0,032 * 20 * \frac{\left(0,18 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)}$$

$$h_{L2} = 13 \text{ mmca}$$

En la Te estándar:

$$h_{L3} = n * f * \frac{L_e}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{L3} = 1 * 0,032 * 20 * \frac{\left(0,18 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)}$$

$$h_{L3} = 3 \text{ mmca}$$

En la Válvula de compuerta.

$$h_{L4} = n * f * \frac{L_e}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{L4} = 2 * 0,032 * 8 * \frac{\left(0,18 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)}$$

$$h_{L4} = 2 \text{ mmca}$$

En la Válvula de retención.

$$h_{L5} = n * f * \frac{L_e}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{L5} = 1 * 0,032 * 100 * \frac{\left(0,18 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}$$

$$h_{L5} = 16 \text{ mmca}$$

En total.

$$h_{LT} = h_{L1} + h_{L2} + h_{L3} + h_{L4} + h_{L5}$$

$$h_{LT} = 4,61 + 13 + 3 + 2 + 16$$

$$h_{LT} = 38,61 \text{ mmca}$$

Las pérdidas obtenidas en la tubería representan un valor de 38,61 mm de columna de agua, por lo tanto, cumple con la condición recomendada por la normativa.

6.14.5. Circuito secundario

Se determina aplicando la ecuación (29).

$$S_i \geq 0,15 * S_c$$

$$S_i \geq 0,15 * 7,62 \text{ m}^2$$

$$S_i \geq 1,14 \text{ m}^2$$

La superficie útil del intercambiador de calor del acumulador seleccionado es de 1,6 m² (Tabla 16). Por lo tanto, esta condición de diseño aprueba las características del circuito secundario.

6.14.6. Circuito de consumo

Teniendo en cuenta que la única precaución optada en este circuito es que no se generen pérdidas de carga excesivas cuando se produce la circulación del fluido. El fluido es impulsado por gravedad desde el sistema de acumulación por lo tanto se resuelve el uso de tubería de Polipropileno (PP) roscable (monocapa) de 1" de diámetro, útil para el abastecimiento de agua caliente.

6.15. Vaso de expansión

Para el cálculo del vaso de expansión en primer lugar se establece el volumen que es capaz de almacenar el captador solar más el volumen comprendido por las tuberías del circuito primario. La capacidad de almacenamiento del captador solar es de 1,5 litros (Anexo 4), mientras que, el volumen presente en las tuberías se determina en función de la sección transversal y su longitud como se muestra en la (Tabla 20).

Tabla 20. Volumen comprendido en las tuberías del circuito primario.

Volumen de tuberías				
Elemento	Diámetro (m)	Longitud (m)	Sección transversal (m ²)	Volumen (l)
Tubería de agua fría	0,0254	2	0,00203	4,05
Tubería de agua caliente	0,0254	2	0,00203	4,05
Total				8,11

Fuente: Autor.

El volumen del fluido comprendido en el circuito primario es la suma del volumen de las tuberías y del colector.

$$V_{\text{circuito primario}} = V_{\text{tuberías}} + V_{\text{colector}}$$

$$V_{\text{circuito primario}} = (8,11 + 1,5) \text{ l}$$

$$V_{\text{circuito primario}} = 9,61 \text{ l}$$

Por otro lado, el volumen susceptible a evaporarse (V_{vap}) está contenido en el colector solar y en las tuberías que transporta el agua caliente.

$$V_{\text{vap}} = V_{\text{tubería agua caliente}} + V_{\text{colector}}$$

$$V_{\text{vap}} = (4,05 + 1,5) \text{ l}$$

$$V_{\text{vap}} = 5,55 \text{ l}$$

El coeficiente de expansión (C_e) del fluido caloportador en este caso es de 0,05 al ser agua de la red como lo establece la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Para determinar el coeficiente de presión del fluido, inicialmente se calcula la presión estática del circuito mediante la ecuación (33), considerando una diferencia de altura (h) mínima y equivalente a 0 metros entre la instalación y el vaso de expansión.

$$P_{\text{estática}} = h * 100$$

$$P_{\text{estática}} = 0 \text{ m} * 100$$

$$P_{\text{estática}} = 0 \text{ hPa}$$

De esta forma, la presión mínima del vaso de expansión se puede calcular empleando la ecuación (32).

$$P_{\text{min}} = 500 + P_{\text{estática}}$$

$$P_{\text{min}} = (500 + 0) \text{ hPa}$$

$$P_{\text{min}} = 500 \text{ hPa}$$

$$P_{\text{min}} = 0,5 \text{ bar}$$

La presión máxima que debe tolerar el vaso de expansión se calcula mediante la ecuación (34), considerando que la presión de calibración de la válvula de seguridad (P_{vs}) será igual a la presión de timbre del intercambiador de calor del interacumulador seleccionado (Anexo 6), y tiene un valor de 8 bar equivalente a 8000 hPa.

$$P_{\text{máx}} = P_{\text{vs}} - 300$$

$$P_{\text{máx}} = (8000 - 300) \text{ hPa}$$

$$P_{\text{máx}} = 7700 \text{ hPa}$$

$$P_{\text{máx}} = 7,7 \text{ bar}$$

Con esta información, el coeficiente de presión (C_{pre}) puede ser calculado mediante la ecuación (31), cuyo valor es adimensional.

$$C_{pre} = \frac{P_{m\acute{a}x} + 1}{P_{m\acute{a}x} - P_{min}}$$
$$C_{pre} = \frac{7,7 \text{ bar} + 1}{7,7 \text{ bar} - 0,5 \text{ bar}}$$
$$C_{pre} = 1,208$$

Finalmente, el volumen total del vaso de expansión permitido para el SST se calcula empleando la ecuación (30).

$$V_t = (V * C_e + V_{vap} * 1,1) * C_{pre}$$
$$V_t = (9,61 \text{ l} * 0,05 + 5,55 \text{ l} * 1,1) * 1,208$$
$$V_t = 7,96 \text{ l}$$

El volumen determinado debe ser de 7,96 litros, por lo tanto, se escoge un vaso de expansión tipo membrana de 8 litros de capacidad, el mismo que se encuentra disponible en el mercado local.

6.16. Estudio económico

6.16.1. Presupuesto

En base a los requerimientos útiles para llevar a cabo la instalación del SST y disponibilidad de los elementos en el mercado nacional y local, se estableció un presupuesto de instalación mostrado en la (Tabla 21).

Tabla 21. Presupuesto estimado para la instalación del SST.

PRESUPUESTO DE INSTALACIÓN			
Cant.	Descripción	P. Unitario	P. Total
3	Colector placa plana Chromagen PA-F, superficie útil de 2,54 m ² de la empresa “HidroTherm”, incluye soporte.	\$840,00	\$2.520,00
2	Acumulador termosifón tipo Interacumulador multiposición DC de 300 litros, marca Chromagen de la empresa “HidroTherm”, incluye resistencia eléctrica de apoyo de 2,3 kW, termostato de control y soporte.	\$1.400,00	\$2.800,00
4	Aislante de tuberías Vidoflex 3/4" diámetro y 3/4" espesor (2 m de largo).	\$11,00	\$44,00
3	Tubería de Polipropileno (PP) roscable (monocapa) de 1 pulgada de diámetro con un espesor de pared de 4,9 mm, 3 m de longitud.	\$8,00	\$24,00
1	Piezas de conexión y accesorios de tubería como: válvulas de seguridad; codos; tes; teflón; otros.	\$20,00	\$20,00
1	Vaso de expansión (8 litros).	\$60,00	\$60,00
1	Cálculo y diseño del sistema.	\$546,80	\$546,80
1	Mano de obra.	\$1.367,00	\$1.367,00
TOTAL			\$7.381,80

Fuente: Autor.

6.16.2. Ahorro anual

Al implementar el Sistema Solar Térmico para el calentamiento de agua se podrá evidenciar un ahorro económico significativo en comparación con el uso de energías convencionales, para conocer este ahorro, primero se estable el precio energético de estas energías en nuestra región.

La tarifa de energía eléctrica general para el sector comercial establecida para las empresas eléctricas de distribución es de 0,092 USD/kWh [26].

Por otro lado, en el mercado nacional se comercializan cilindros de GLP para el sector industrial con una capacidad nominal de propano igual a $m_u = 45$ kg, considerando también un Poder Calorífico Inferior PCI = 46170,88 kJ/kg para el cilindro de gas comercializado por LojaGas, como lo establece [27].

Es así que la energía útil del GLP es:

$$E_u = m_u * PCI$$

$$E_u = 45 \text{ kg} * 46170,88 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$E_u = 2077,69 \text{ MJ}$$

$$E_u = 576,97 \text{ kWh}$$

El precio sugerido en recorrido de GLP industrial es de 68,10 USD sin subsidio para la presentación de 45 kg como lo indica [28], por lo tanto, el precio útil de GLP es de:

$$\text{Precio}_{\text{GLP}} = \frac{\text{Precio del cilindro}}{E_u}$$

$$\text{Precio}_{\text{GLP}} = \frac{68,10 \text{ USD}}{576,97 \text{ kWh}}$$

$$\text{Precio}_{\text{GLP}} = 0,118 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}}$$

Ahora se determina el costo anual cuando se utiliza el sistema auxiliar para cubrir con la contribución energética faltante en el calentamiento del agua a la temperatura ideal de uso. Para sistema de calentamiento eléctrico su rendimiento el ideal e igual al 100 %.

$$\text{Costo anual}_{\text{auxiliar}} = \left(\frac{\text{Consumo anual}}{\eta_{\text{sistema eléctrico}}} \right) * (\text{Tarifa eléctrica})$$

$$\text{Costo anual}_{\text{auxiliar}} = \left(\frac{3002,9 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}}{100 \%} \right) * \left(0,118 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \right)$$

$$\text{Costo anual}_{\text{auxiliar}} = 354,34 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

Según [29], el rendimiento de las cocinas de GLP con calentadores descubiertos debe tener valor mínimo de 48 % con PCI. Con esta información se determina el ahorro anual obtenido al implementar el SST, y se calcula mediante la ecuación (35).

Cuando se utiliza la energía eléctrica:

$$\text{Ahorro anual}_{\text{eléctrico}} = \left(\frac{\text{Demanda energética anual}}{\eta_{\text{sistema convencional eléctrico}}} \right) * (\text{Precio}) - \text{Costo anual}_{\text{auxiliar}}$$

$$\text{Ahorro anual}_{\text{eléctrico}} = \left(\frac{9933,2 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}}{100 \%} \right) * \left(0,092 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \right) - 354,34 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

$$\text{Ahorro anual}_{\text{eléctrico}} = 559,51 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

Cuando se utiliza GLP:

$$\text{Ahorro anual}_{\text{GLP}} = \left(\frac{\text{Demanda energética anual}}{\eta_{\text{sistema cocinas industriales}}} \right) * (\text{Precio}) - \text{Costo anual}_{\text{auxiliar}}$$

$$\text{Ahorro anual}_{\text{GLP}} = \left(\frac{9933,2 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}}{48 \%} \right) * \left(0,118 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \right) - 354,34 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

$$\text{Ahorro anual}_{\text{GLP}} = 2087,57 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

6.16.3. Periodo de amortización

El tiempo necesario para recuperar la inversión inicial al implementar el uso del SST en comparación con el valor ahorrado si se utilizara los sistemas convencionales se determina aplicando la ecuación (36).

Cuando se utiliza la energía eléctrica:

$$\text{Payback}_{\text{eléctrico}} = \frac{\text{Costo del sistema}}{\text{Ahorro anual}_{\text{eléctrico}}}$$

$$\text{Payback}_{\text{eléctrico}} = \frac{7381,8 \text{ USD}}{559,51 \frac{\text{USD}}{\text{año}}}$$

$$\text{Payback}_{\text{eléctrico}} = 13,2 \text{ años}$$

Cuando se utiliza GLP:

$$\text{Payback}_{\text{GLP}} = \frac{\text{Costo del sistema}}{\text{Ahorro anual}_{\text{GLP}}}$$

$$\text{Payback}_{\text{GLP}} = \frac{7381,8 \text{ USD}}{2087,57 \frac{\text{USD}}{\text{año}}}$$

$$\text{Payback}_{\text{GLP}} = 3,5 \text{ años}$$

6.17. Emisiones de CO₂ evitadas

En primer lugar, se debe establecer el factor de emisión de CO₂ por cada kWh de energía producida ya sea en el uso de fuente eléctrica o GLP.

Según [30], el factor de emisión de CO₂ correspondiente a la generación de energía eléctrica es de 0,3419 kgCO₂/kWh. Mientras que [31], establecen que el factor de emisión de CO₂ correspondiente a la generación de energía con GLP es de 0,284 kgCO₂/kWh.

Con esta información se determina las emisiones de CO₂ evitadas anualmente mediante el uso de la ecuación (37).

Cuando se utiliza la energía eléctrica:

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ evitadas}_{\text{eléctrico}} = (\text{fac. CO}_2) * (\text{Energía útil producida})$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ evitadas}_{\text{eléctrico}} = (0,3419 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}) * (6930,3 \text{ kWh/año})$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ evitadas}_{\text{eléctrico}} = 2369,46 \text{ kgCO}_2/\text{año}$$

Cuando se utiliza GLP:

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ evitadas}_{\text{GLP}} = (\text{fac. CO}_2) * (\text{Energía útil producida})$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ evitadas}_{\text{GLP}} = (0,284 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}) * (6930,3 \text{ kWh/año})$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ evitadas}_{\text{GLP}} = 1968,2 \text{ kgCO}_2/\text{año}$$

7. Discusión

En el Ecuador se comercializan diversos sistemas solares térmicos compactos comúnmente empleados para fines domésticos, sin embargo, cuando surge la necesidad de emplearlos en la industria avícola donde el requerimiento de ACS no es predecible, se considera el proceso de cálculo y diseño de estos sistemas para calentamiento de agua en base a la demanda energética requerida para el proceso de escaldado, permitiendo que el sistema alcance una adaptación diferente para nuevos fines energéticos como lo fue desarrollado en el presente trabajo.

Enfocado a la industria avícola de la ciudad de Catamayo, inicialmente se estableció la demanda energética de ACS por medio de recolección de datos en campo. La información meteorológica como la irradiación solar global incidente y temperatura media ambiental del lugar se obtiene usando el software PVsyst 7.2 con su base de datos de Meteonorm 8.0, datos con valores confiables de fuentes con alta precisión tomados de estaciones meteorológicas.

Los colectores solares de placa plana aseguran alcanzar mejores rendimientos para las condiciones ambientales del lugar planteado y temperatura para abastecimiento de ACS, razón por la cual, este tipo de colector es el más recomendable para el sistema diseñado y se lo seleccionó a partir de una variedad de modelos comercializados a nivel nacional y local.

Se empleó la metodología de cálculo de las curvas de f (f-chart) la cual utiliza información técnica de fabricante del colector solar seleccionado para así obtener el valor de la cobertura solar anual aprovechada por el sistema de captación diseñado equivalente a 69,77 % y rendimiento anual de 43,7 %, valores de diseño adecuados bajo las consideraciones planteadas por la Norma Ecuatoriana de la Construcción estableciendo que los SST deben superar el 60 % de la cobertura solar anual alcanzada y tener rendimientos mayores al 20 % en su funcionamiento.

El sistema de captación alcanza una temperatura promedio de 48,2 °C equivalente a un 80,33 % de la temperatura del agua necesaria, por lo tanto, el sistema auxiliar planteado procede con la contribución energética necesaria mediante una brida de inmersión con elemento eléctrico incluida en el diseño del termotanque y así lograr el alcance de la temperatura de escaldado igual a 60 °C. El diseño del sistema auxiliar se ejecutó considerando un eventual funcionamiento crítico del sistema de calentamiento solar, cumpliendo con la capacidad de

abastecer la demanda de agua caliente total independientemente de la temperatura alcanzada por el sistema de captación.

La evaluación económica indica que se puede obtener un importante ahorro económico si se reemplaza el sistema convencional GLP por el uso del sistema solar térmico diseñado y su inversión inicial en la adquisición puede ser amortizado en un periodo de tiempo de hasta 3,5 años. Además, apostar por este sistema sustentable que emplea una fuente energética renovable permitirá reducir la cantidad de emisiones de CO₂ dispersadas en la atmosfera, contribuyendo de forma responsable con la conservación del medio ambiente.

Si se establece un plan de mantenimiento apropiado para los componentes que conforman el sistema solar térmico se garantizará una vida útil del sistema diseñado de hasta 25 años, así como el fabricante lo suscribe.

8. Conclusiones

- El trabajo investigativo de campo en la industria de faenamiento avícola de Catamayo permitió establecer la demanda energética promedio requerida para obtener 600 litros de ACS, desde una temperatura inicial de 21 °C hasta una temperatura de escaldado recomendada de 60 °C. Además de obtener la irradiación solar global incidente en la ciudad igual a 5,7 kWh/m²/día y una temperatura media ambiental de 19,36 °C.
- La metodología de cálculo (f-chart) aplicado al sistema de captación, permitió determinar una cobertura solar anual de 69,77 % con un rendimiento anual de 43,7 %, valores adecuados bajo los estándares de la NEC. Se seleccionó 3 unidades del colector de tipo placa plana Chromagen PA-F y 2 acumuladores multiposición DC de 300 l que oferta la empresa “HidroTherm” con elemento eléctrico auxiliar incluido, logrando que en los cálculos respectivos el sistema alcance una temperatura del agua de 48,2 °C equivalente al 80,33 % de la demanda energética.
- El análisis económico indica que se tendrá un ahorro estimado de 559,51 USD/año si se reemplaza la energía eléctrica por el sistema solar planteado y 2087,57 USD/año si la fuente de GLP industrial fuese la reemplazada. Además, se puede cubrir la inversión inicial en un tiempo de 13,2 años cuando la fuente eléctrica es sustituida y 3,5 años cuando lo es el GLP. Todo esto resulta en beneficio gracias a que los SST alcanzan una vida útil de hasta 25 años.
- Llevar a cabo el uso de este tipo de sistema sustentable, permite evitar la emisión de 2369,46 kgCO₂/año si la energía eléctrica se usa como fuente y 1968,2 kgCO₂/año si la fuente fuese el GLP, resultando una excelente alternativa para evitar un mayor impacto de contaminación medioambiental ante un eventual agotamiento de los recursos energéticos de origen fósil.

9. Recomendaciones

- Se recomienda la implementación de un sistema de monitoreo que permita adquirir las variables reales del SST diseñado durante su funcionamiento, con el propósito de integrar este tipo de sistemas a los sectores industriales.
- Se recomienda el diseño de una base estructural para la instalación del sistema solar térmico a la orientación e inclinación apropiadas garantizando el correcto funcionamiento del sistema de captación y abastecimiento de ACS por gravedad del sistema de acumulación, puesto que la avícola carece de dicho espacio de instalación.
- Al ser un sistema grande compuesto por muchos componentes seleccionados y diseñados de forma independiente se recomienda establecer un plan de mantenimiento preventivo en un periodo semestral, para garantizar la continuidad en el funcionamiento del sistema.

10. Bibliografía

- [1] M. Poveda, «EFICIENCIA ENERGÉTICA: RECURSO NO APROVECHADO,» *Olade*, pp. 1-19, 2007.
- [2] D. Vaca y F. Ordóñez, «Mapa Solar del Ecuador 2019,» Scinergy, Quito, 2019.
- [3] G. L. Stephens, D. O'Brien, P. J. Webster, P. Pilewski, K. Seiji y J.-l. Li, «The albedo of Earth,» *AGU Publications*, vol. 53, pp. 141-163, 2015.
- [4] Conelec, «Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica,» Conelec, Quito, 2008.
- [5] J. Redondo, «ERENOVABLE.COM,» 21 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://erenovable.com/energia-solar-termica-2/>.
- [6] A. Sastre, Artist, *Análisis de colectores solares de media temperatura*. [Art]. Universidad Carlos III de Madrid, 2016.
- [7] J. Burbano, Á. Restrepo y O. Sabogal, «Diseño y construcción de un calentador solar de agua operando por termosifón,» *Scientia Et Technica*, vol. XII, nº 31, pp. 85-90, agosto 2006.
- [8] O. Vázquez, B. Valle, M. Lino y F. López, «Manual de instalaciones para el calentamiento de agua mediante el aprovechamiento de la energía solar,» Dirección de Programa de Cambio Climático y Proyectos MDL - SMA, Mexico DF, 2008.
- [9] C. Placco, L. Saravia y C. Cadena, «Colectores solares para agua caliente,» INENCO, UNSa-CONICET, Salta, 2006.

- [10] A. Chifla y C. Núñez, «Slideshare,» 23 Agosto 2014. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/anitabelhu/faenamamiento-de-pollos-ana-beln-chifla-y-carina-nez>.
- [11] S. Bilgili y J. Hess, «Problemas de piel en la canal de pollo: Causas y soluciones,» Departamento de Ciencias Avícolas, Universidad de Auburn, Auburn, 2010.
- [12] D. Muñoz, N. Diaz y G. Cabrera, «Efecto de la temperatura y velocidad de la línea de colgado, en el porcentaje de pluma y despigmentación de aves blanca y campesina, durante el proceso de escaldado,» *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 9, nº 1, pp. 69-76, 01 07 2011.
- [13] E. Cervantes, «DIAGRAMA DE ISHIKAWA, Aplicado al Procesamiento de los Pollos,» *aviNews*, nº 47, pp. 26-36, Febrero 2021.
- [14] C. Gaytán, «slideshare,» 11 Abril 2011. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/Usapeec/factores-que-afectan-la-calidad-de-la-carne-de-pollo>.
- [15] F. Obaco y J. Jaramillo, «Sistemas solar-térmicos: algoritmo operativo para aplicar el método F- Chart en la evaluación de colectores solares,» *Universidad Técnica Particular de Loja*, pp. 1-3, 2010.
- [16] A. Castejón y G. Santamaría, «Instalaciones solares fotovoltaicas,» EDITEX, Madrid, 2010.
- [17] IDAE, «Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura,» IDAE, Madrid, 2009.
- [18] I. Zabalza y . A. Aranda, «Energía solar térmica (Serie Energías renovables),» Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 2009.

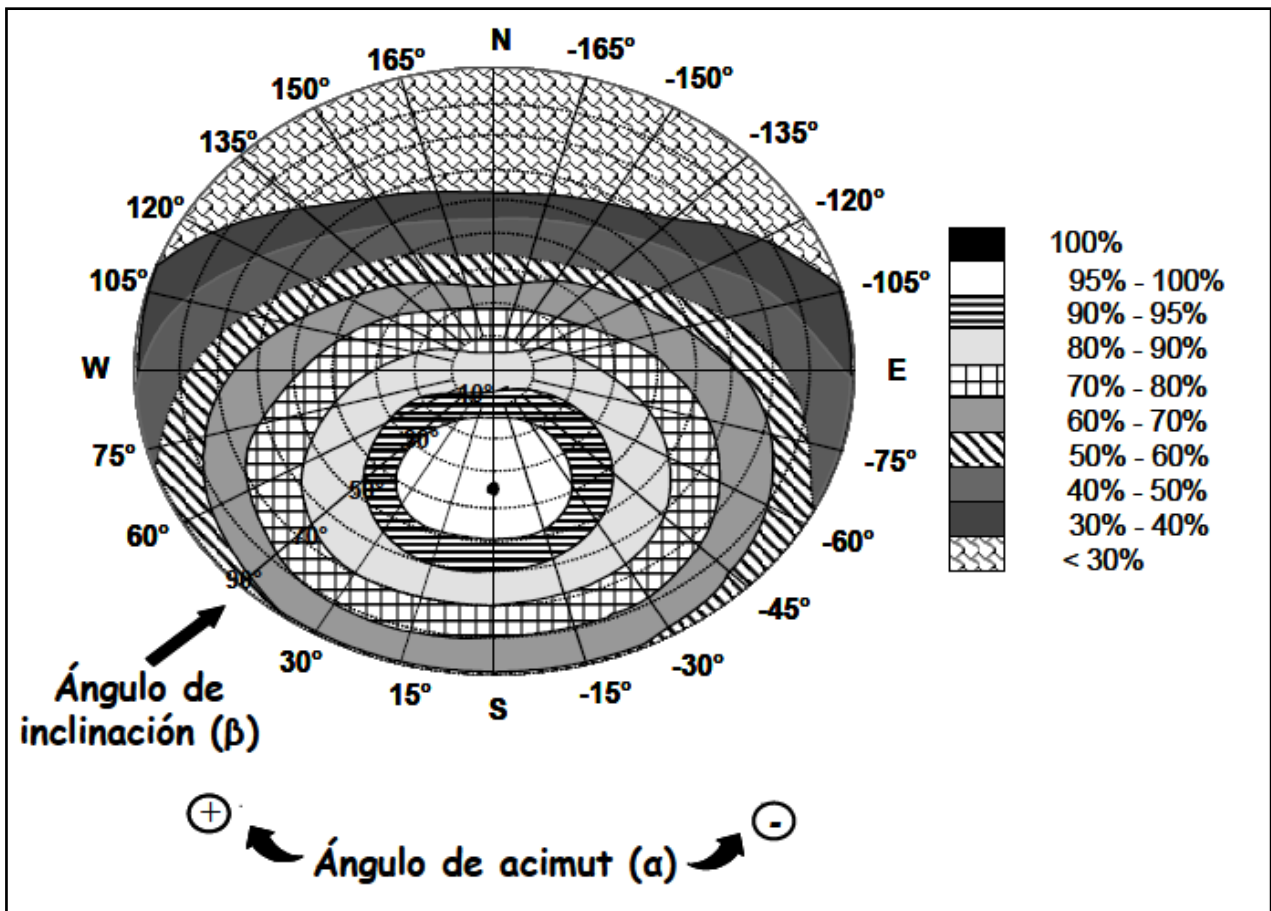
- [19] MIDUVI, «Sistemas solares térmicos para Agua caliente sanitaria (ACS) - Aplicaciones menores a 100°C,» Norma Ecuatoriana de la Construcción, Energías Renovables, Quito, 2020.
- [20] R. Mott y J. Untener, *Mecánica de Fluidos*, vol. VII, México: Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, 2015, p. 552.
- [21] J. Martínez, P. Franco y R. Alonso, *Manual técnico de energía solar térmica*, vol. II, Montevideo: LES, 2013.
- [22] M. Fernández, Artist, *Instalación para vivienda multifamiliar de ACS en Madrid*. [Art]. Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos, 2009.
- [23] P. S. Artist, *PVsys*. [Art]. 2011.
- [24] HidroTherm, «HIDROTHERM AGUA CALIENTE CENTRAL,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.hidrotherm.com/service/productos-uso-domestico/>.
- [25] Y. Cengel y A. Ghajar, *Transferencia de calor y masa, fundamentos y aplicaciones*, vol. IV, México: McGraw-Hill, 2011.
- [26] ARCONEL, «Pliego Tarifario Para Las Empresas Eléctricas de Distribución - Servicio Público de Energía Eléctrica. Periodo: Enero-Diciembre 2020,» Resolución Nro. ARCONEL – 035/19, Quito, 2019.
- [27] C. Aguilar, Artist, *Auditoría Energética en el Hospital Julius Doepfner de la ciudad de Zamora*. [Art]. Universidad Nacional de Loja, 2012.
- [28] LojaGas, «LojaGas - Calor de hogar,» 2017. [En línea]. Available: <http://lojagas.com/precio-glp/>.

- [29] INEN, «Artefactos de uso doméstico para cocinar, que utilizan combustibles gaseosos - Requisitos de inspección,» NTE INEN 2 259:2000, Quito, 2000.
- [30] R. Parra, «Factor de emisión de CO₂ debido a la generación de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001 - 2014,» *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías* , vol. VII, nº 2, pp. 80-85, 2015.
- [31] C. Samaniego, O. Álvarez y J. Maldonado, «Emisiones provocadas por combustión de GLP a partir de calefones en la ciudad de Loja y su posible relación con enfermedades respiratorias agudas (ERA's),» *Cedamaz*, vol. VI, nº 1, pp. 60-67, 2017.
- [32] ASTEP, «ASTEP CALEFONES ECUADOR Y CALENTADORES DE AGUA,» 2017.
[En línea]. Available: <https://www.astepec.com.ec/calentadores-de-agua.html>.
- [33] Naturalheat, «Naturalheat calor que ahorra,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.naturalheat.com.ec/sistema-compacto/>.
- [34] SOLGAS, «Paneles solares SOLGAS Ecuador,» 2018. [En línea]. Available: https://solgas.com.ec/?page_id=1384.
- [35] M. Pareja, Radiación solar y su aprovechamiento energético, Barcelona: Marcombo, 2010.
- [36] H. Rodríguez, «ingemecanica.com,» [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn188.html#seccion12>.
- [37] H. Peña, Artist, *Diseño y construcción de un colector solar de placa plana destinado a la obtención de agua caliente sanitaria para el laboratorio de Energías Renovables del AEIRNNR de la UNL*. [Art]. Universidad Nacional de Loja, 2018.

- [38] J. Francisco, «WordPress.com,» 31 Enero 2015. [En línea]. Available: <https://juanfrancisco207.wordpress.com/2015/01/31/conceptos-de-energia-solar-termica/>.
- [39] À. Carrera, L. Sisó, A. Herena, M. Valle, M. Casanova y D. González, «Evaluación del potencial de climatización con energía solar térmica en edificios,» Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid, 2011.
- [40] A. Sanchez, Artist, *Análisis técnico económico de un sistema solar térmico para la generación de agua caliente sanitaria (ACS) y calefacción del hotel Grand House en Bogotá*. [Art]. Universidad Autónoma de Bucaramanga, 2013.

11.Anexos

Anexo 1. Diagrama de porcentaje de pérdidas de acuerdo la orientación e inclinación para 41° .



Fuente: [17]

Anexo 2. Datos meteorológicos importados de la base de datos de Meteonorm 8.0.

	Irradiación horizontal global	Irradiación difusa horizontal	Temperatura	Velocidad del viento	Turbidez Linke	Humedad relativa
	kWh/m ² /día	kWh/m ² /día	°C	m/s	[]	%
Enero	6.31	2.04	21.3	3.40	3.419	68.9
Febrero	5.73	2.78	21.8	3.01	3.484	69.9
Marzo	6.17	2.30	22.0	2.80	3.395	69.7
Abril	6.30	2.01	21.3	3.20	3.285	70.4
Mayo	5.98	1.60	20.3	3.59	3.169	71.2
Junio	5.74	1.55	18.5	3.70	3.200	74.3
Julio	5.81	1.64	17.6	3.70	3.350	74.7
Agosto	5.90	2.04	17.1	3.80	3.712	74.3
Septiembre	6.21	2.04	17.1	3.80	4.163	74.5
Octubre	5.45	2.51	17.5	3.91	3.861	73.6
Noviembre	5.70	2.17	18.0	3.81	3.795	72.5
Diciembre	5.93	2.31	19.8	3.90	3.839	69.4
Año	5.92	2.08	19.4	3.6	3.556	72.0

Fuente: [23].

Anexo 3. Datos de demanda de ACS durante el calentamiento en la avícola y temperatura de agua inicial de la red, obtenidos del trabajo de campo.

Demanda de ACS en la Avícola en una jornada de trabajo.	598,7 (l/día)
Temperatura del agua de la red de agua potable.	21 (°C)

Fuente: Autor.

Anexo 4. Sistema de calentamiento de agua sanitaria tipo termosifón disponibles en el mercado nacional.



	150 Litros	200 Litros	300 Litros
No. De Personas max.	4	5	7
Medidas (cm)	ancho 175 / prof 280	ancho 200 / prof 280	ancho 220 / prof 280
Área m ²	4,90	5,60	6,16
Peso con agua (kg)	290	320	469
Área de colectores	1 pza x 2.5m ²	1 pza x 2.5m ²	2 pzas x 2m ²
Tanque interno	Acero inox sub 304		
Aislamiento térmico	Poliuretano de alta densidad 5,5 cm		







Calentador Solar de Agua Tipo Termosifón

- Colector solar placas planas
- Tanque Externo e interno de Acero Inox
- Aislante térmico de poliuretano 5,5 cm
- Funcionamiento de bajo mantenimiento
- Estructura de aluminio
- Vida útil de hasta 25 años
- No requiere bomba de presión
- Alto poder de calentamiento
- Tecnología de punta
- 2 años de garantía



SOLUCIONES PARA AGUA CALIENTE

 0995292128
www.astep.com.ec

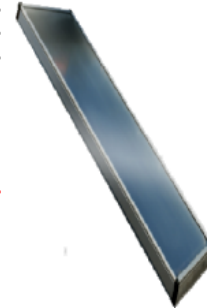
Fuente: [32].

PA - F

Dimensiones y Pesos

Largo Total	2.190 mm
Ancho Total	1.275 mm
Fondo	90 mm
Área Total	2,80 m ²
Área de Apertura	2,58 m ²
Área del Absorbedor	2,54 m ²

Peso vacío	41 Kg
Capacidad del fluido	1,5 l
Fluido caloportador	agua ó agua glicolada
T° de estancamiento	220 °C
Flexión máxima del captador	1.000 Pa

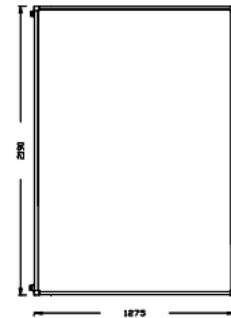


Presiones de prueba y caudal recomendado

Presión de timbre	14 bar
Presión máxima de trabajo	10 bar
Caudal recomendado	45 l/h·m ²
Caída de presión (mm.c.a.)	2,24·qi ² +3,72·qi (l/min)

Calidades de fabricación

- Absorbedor:** Aleta de aluminio soldada por láser a parrilla de conductos de cobre. Recubrimiento selectivo de titanio de alta eficiencia. Absortividad 0,95 y Emisividad 0,05
- Aislamiento:** Capa de poliuretano rígido inyectado más capa adicional de lana mineral, ambas de 25mm de espesor.
- Vidrio Solar:** Panel único de vidrio solar de 3,2mm de espesor rodeado por una junta de goma de EPDM.
- Parrilla de tubos:** Cobre de 8mm de diametro conectada a tuberías colectoras de 22mm
- Dorso:** Polipropileno negro moldeado.
- Lámina de aluminio:** Adherida al aislamiento actúa como barrera contra pérdidas de calor por el dorso del captador.
- Carcasa:** Aluminio anodizado AL6063-T5.
- Conexiones roscadas:** Conexiones hembra roscadas de 3/4" de bronce

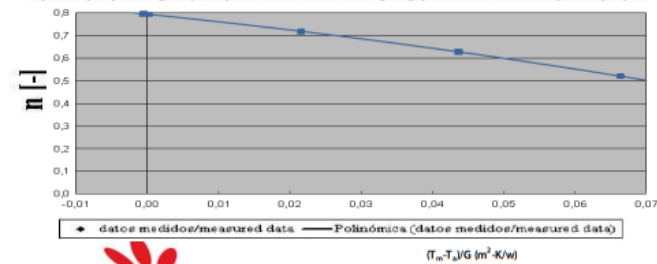


Curva de rendimiento térmico y certificaciones

$\eta_0 = 80,1\%$
 $k1 = 3,195 \text{ W/m}^2\text{-K}$
 $k2 = 0,016 \text{ W/m}^2\text{-K}^2$



Ajuste de la curva de eficiencia cuadrática para los datos medidos en el ensayo respecto al área de apertura y la temperatura media del fluido
Adjustment of the quadratic efficiency curve for the measured data in the test regarding aperture area and the mean temperature of the fluid



Fuente: [24].

QR - D

Dimensiones y Pesos

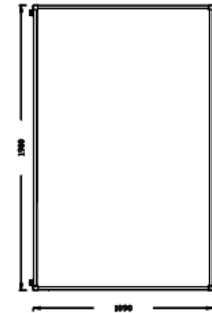
Largo Total	1.900 mm	Peso en vacío	31 Kg
Ancho Total	1.090 mm	Capacidad del fluido	1,2 l
Fondo	90 mm	Fluido caloportador	agua ó agua glicolada
Área Total	2,10 m ²	Tª de estancamiento	165 °C
Área de Apertura	1,87 m ²	Flexión máxima del captador	1.000 Pa
Área del Absorbedor	1,77 m ²		

Presiones de prueba y caudal recomendado

Presión de timbre	14 bar
Presión máxima de trabajo	10 bar
Caudal recomendado	45 l/h·m ²
Caída de presión (mm.c.a.)	3,0·qi ² +3,95·qi (l/min)

Calidades de fabricación

- Absorbedor:** Aleta de aluminio soldada por láser a parrilla de conductos de cobre. Recubrimiento de pintura solar selectiva. Absortividad 0,95 y Emisividad 0,45
- Aislamiento:** Capa de poliuretano rígido inyectado de 25mm de espesor.
- Vidrio Solar:** Panel único de vidrio solar de 3,2mm de espesor rodeado por una junta de goma de EPDM.
- Parrilla de tubos:** Cobre de 8mm de diámetro conectada a tuberías colectoras de 22mm
- Dorso:** Polipropileno negro moldeado.
- Lámina de aluminio:** Adherida al aislamiento actúa como barrera contra pérdidas de calor por el dorso del captador.
- Carcasa:** Acero Galvanizado lacado epoxidicamente en gris.
- Conexiones rosca da:** Conexiones hembra roscadas de 3/4" de bronce

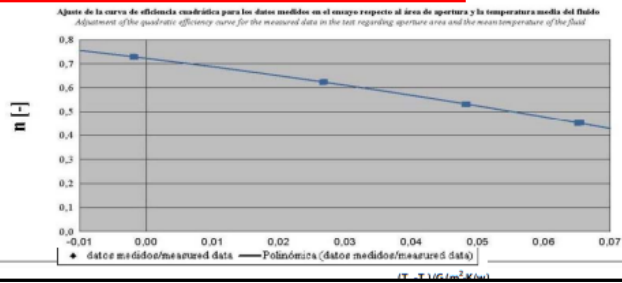


Curva de rendimiento térmico y certificaciones

$$\eta_0 = 69,6 \%$$

$$k1 = 4,821 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

$$k2 = 0,015 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}^2$$



Fuente: [24].

QR - E

Dimensiones y Pesos

Largo Total	2.190 mm	Peso en vacío	35 Kg
Ancho Total	1.090 mm	Capacidad del fluido	1,3 l
Fondo	90 mm	Fluido caloportador	agua ó agua glicolada
Área Total	2,37 m ²	T* de estancamiento	165 °C
Área de Apertura	2,17 m ²	Flexión máxima del captador	1.000 Pa
Área del Absorbedor	2,14 m ²		

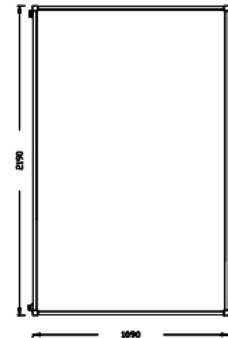


Presiones de prueba y caudal recomendado

Presión de timbre	14 bar
Presión máxima de trabajo	10 bar
Caudal recomendado	45 l/h-m2
Caida de presión (mm.c.a.)	1,9-qi ² +7,3-qi (l/min)

Calidades de fabricación

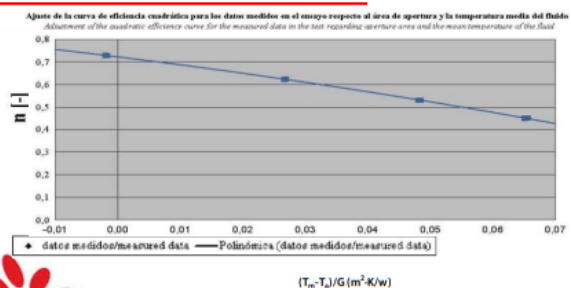
- Absorbedor:** Aleta de aluminio soldada por láser a parrilla de conductos de cobre. Recubrimiento de pintura solar selectiva. Absortividad 0,95 y Emisividad 0,45
- Aislamiento:** Capa de poliuretano rígido inyectado de 25mm de espesor.
- Vidrio Solar:** Panel único de vidrio solar de 3,2mm de espesor rodeado por una junta de goma de EPDM.
- Parrilla de tubos:** Cobre de 8mm de diámetro conectada a tuberías colectoras de 22mm
- Dorso:** Polipropileno negro moldeado.
- Lámina de aluminio:** Adherida al aislamiento actúa como barrera contra pérdidas de calor por el dorso del captador.
- Carcasa:** Acero Galvanizado lacado epoxídicamente en gris.
- Conexiones roscadas:** Conexiones hembra roscadas de 3/4" de bronce



Curva de rendimiento térmico y certificaciones

$\eta_0 = 69,6 \%$
 $k_1 = 4,821 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $k_2 = 0,015 \text{ W/m}^2\text{K}^2$

cener
centro nacional de energías renovables



Fuente: [24].

Sistema solar de termosifón **VITOSOL 111-F**

Vitosol 111-F	Modelo	TS1	TS1	TS1
Capacidad del interacumulador	Litros	150	200	300
Número de colectores plano	Ud	1	1	2
Superficie de absorción	m ²	2,02	2,33	4,03
Dimensiones				
Anchura	mm	1460	1785	2200
Altura (con conexiones)	mm	2575	2875	2575
Profundidad (con aislamiento térmico)	mm	550	550	685
Peso (sin marco de montaje)	kg	110	135	190
Potencia eléctrica de la resistencia eléctrica de inmersión (accesorio)				
230 V/50 Hz	kW	3	3	3



CARACTERÍSTICAS

- + Sistema de termosifón con colectores(s) plano(s) y interacumulador de ACS para agua caliente
- + 150 l de capacidad del interacumulador y 2,0 m² de superficie de absorción
- + 200 l de capacidad del interacumulador y 2,3 m² de superficie de absorción
- + 300 l de capacidad del interacumulador y 4,0 m² de superficie de absorción
- + Para techo plano e instalación independiente (elevación) y montaje en el techo
- + Para la calefacción solar de agua caliente sin energía externa
- + Presión de operación permisible:
 - Agua para consumo 10 bar (1 MPa)
 - Circuito solar 3 bar (0,3 MPa)

Su técnico especialista:

06/2021 ES

Contenido protegido por derechos de propiedad intelectual
 Copias y otros usos bajo previo acuerdo
 Sujeto a modificaciones.

Fuente: [33].

Anexo 5. Sistema de calentamiento de agua sanitaria tipo termosifón disponibles en la ciudad de Loja.

SISTEMAS RESIDENCIALES



SISTEMA RESIDENCIAL DE 150/300 LTS

Modelo SOLGAS 150

IDEAL PARA VIVIENDAS DE HASTA 4 PERSONAS

Sistema de calentamiento de agua con energía solar de circulación natural o termosifón

El sistema incluye:

- 1 Colector solar térmico de 2m2 de área de absorción, homologado bajo normas internacionales.
- 1 Tanque acumulador de 150 lts/día, con intercambiador de calor interno de doble camisa, protegido con un recubrimiento de esmalte vitrificado y ánodo de sacrificio para evitar corrosión y aislado térmicamente.
- 1 Kit de tuberías, válvulas y accesorios de conexión.
- 1 Estructura soporte de acero galvanizado, para techo plano o terrazas.
- **1 Resistencia eléctrica 1500 Watts a 110 Voltios, con termostato diferencial de temperatura para encendido automático, o kit de acople a calefón.**



SISTEMA DE FABRICACIÓN EUROPEA

Modelo SOLGAS 300

IDEAL PARA VIVIENDAS DE HASTA 8 PERSONAS

Sistema de calentamiento de agua con energía solar de circulación natural o termosifón.

El sistema incluye:

- 2 Colectores solares térmicos cada uno de 2m2 de área de absorción homologado bajo normas internacionales.
- 1 Tanque acumulador de 300 lts/día, con intercambiador de calor interno de doble camisa, protegido con un recubrimiento de esmalte vitrificado y ánodo de sacrificio para evitar corrosión y aislado térmica mente.
- 1 Kit de tuberías, válvulas y accesorios de conexión.
- 1 Estructura soporte de acero galvanizado, para techo plano o terrazas.
- **1 Resistencia eléctrica de 2500 Watt a 110 Voltios, con termostato diferencial de temperatura para el encendido automático, o kit de acople a calefón.**



SISTEMA DE FABRICACIÓN EUROPEA

- Suministro de equipos en Quito, Cuenca y Loja.
- Tiempo de instalación: 1 día
- Garantía de 5 años contra defectos de fabricación y materiales
- Vida útil 25 años






www.solgas.com.ec
solgasecuador@solgas.com.ec
 Celular: 0996801958


QUITO
Calle El Porvenir N 39-59 y El Telégrafo;
Edificio BARI Planta Baja – Local 2
Telefax: 02604 4898 / 02604 4899

CUENCA
Parque industrial, Juan El Juní Chica y
Comelio Veintimilla, Tras Parmalat
Tel: 072603033

LOJA
Barrio Turunuma Alto; Calle Valencia,
entre Burgos y Av. Turunuma
Tel: 072614614 ext 121

Fuente: [34].

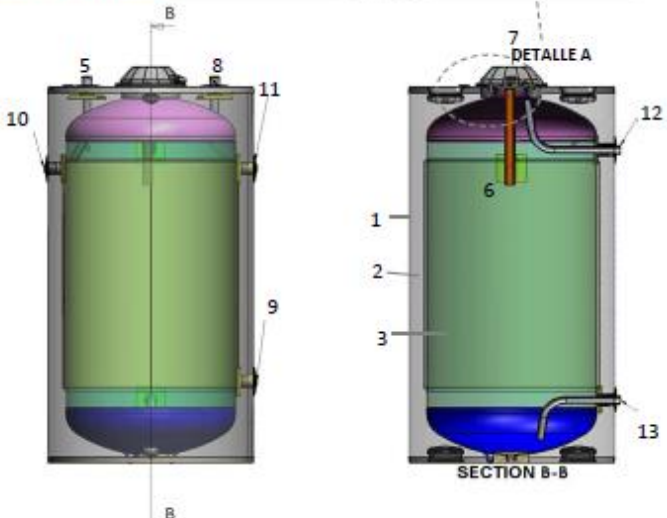
Anexo 6. Datos técnicos del acumulador de 300 l disponible en el mercado.



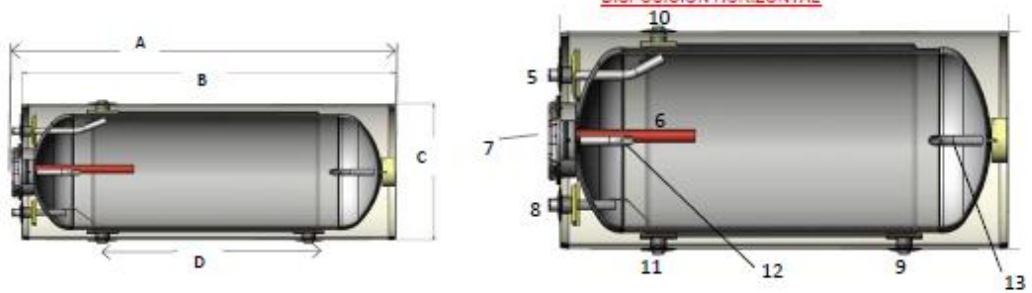
Interacumulador multiposición DC

Descripción: Acumulador indirecto de doble camisa para utilizar tanto en disposición horizontal como en disposición vertical. Para su uso en disposición horizontal colocar tapones de 3/4" en las bocas 12 y 13. Para su uso en disposición vertical colocar tapones de 3/4" en las bocas 5 y 8.

DISPOSICIÓN VERTICAL




DISPOSICIÓN HORIZONTAL



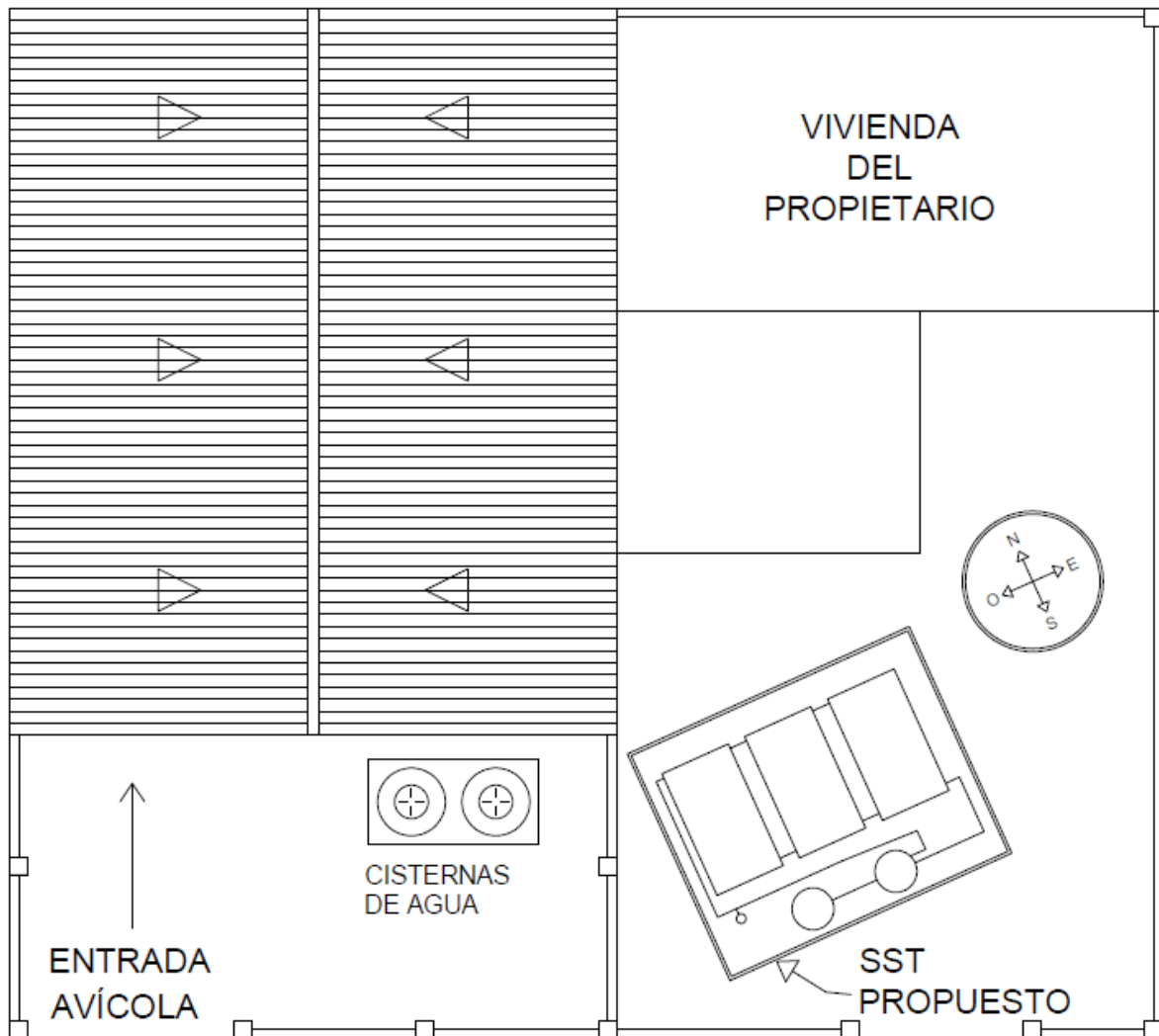
Código	Capacidad (l)	Cotas (mm)				Peso (Kg)	Intercambiador		T máx uso	T límite	Primario		Secundario	
		A	B	C	D		S _{water} (m ²)	V _{water} (l)			P timbre	P máx.	P timbre	P máx.
AHD1001	150	981	951	585	420	75	0,78	6	60°C	120°C	8 bar	3 bar	14 bar	8 bar
AHD1002	200	1284	1211	585	670	93	1,2	10	60°C	120°C	8 bar	3 bar	14 bar	8 bar
AHD1003	300	1432	1361	693	760	130	1,6	13	60°C	120°C	8 bar	3 bar	14 bar	8 bar

* BRIDA APOYO OPCIONAL compuesto por : Brida completa con elemento eléctrico 2.300 w + termostato de control.



Fuente: [24].

Anexo 7. Localización de la instalación del sistema solar en la propiedad de la avícola.



Fuente: Autor.

Anexo 8. Espesor de referencia para aislamiento de tuberías.

Fluido interior caliente				
Diámetro exterior (mm)	Temperatura del fluido (°C)			
	40 a 65	66 a 100	101 a 150	151 a 200
$D \leq 35$	20	20	30	40
$35 \leq D \leq 60$	20	30	40	40
$60 \leq D \leq 90$	30	30	40	50
$90 \leq D \leq 140$	30	40	50	50
$140 \leq D$	30	40	50	60

Fuente: [19].

Anexo 9. Propiedades del agua saturada.

TABLA A-9

Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpía de vaporización, h _g , kJ/kg	Calor específico, c _p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵	—	—	—

Fuente: [25].

Anexo 10. Propiedades del aire a la presión de 1 atm.

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

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

Fuente: [25].

Anexo 11. Certificación de traducción de resumen.

CERTIFICACIÓN

Loja, (12) de febrero de 2023

Licenciada

Sara Janeth Espinosa Guzmán

Docente del Ministerio de Educación

En mi calidad de Licenciada en Pedagogía de Idioma Inglés con capacidades que pueden ser probadas a través de la certificación de conocimiento del Inglés, nivel B2, he realizado la traducción del resumen del trabajo de tesis denominado: **“Diseño de un sistema solar de calentamiento de agua sanitaria para faenamiento avícola en la ciudad de Catamayo”** perteneciente al señor estudiante **Dennis Andrés Yaguana Cañar** con C.I. **1724396716**.

Es en cuento puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado, señor estudiante: **Dennis Andrés Yaguana Cañar**, hacer uso legal del presente según estime conveniente.

Atentamente,



Sara Espinosa Guzmán
Docente del Ministerio de Educación
Nro registro Senecyt 1031-2022-2416269