



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR TÉRMICO PARA LA  
SUSTITUCIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES  
PARA LA PRODUCCIÓN DE DERIVADOS LÁCTEOS DE LA  
QUESERA SANTA MARTA – SAN JUAN - CHIMBORAZO”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**TIPO: PROYECTO TÉCNICO**

**Presentado para optar por el título de:**  
**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTORA: GISELLE ALEXANDRA PAREDES CHACÓN**  
**TUTOR: DR. CELSO RECALDE M.**

**Riobamba – Ecuador**

**2018**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: el presente trabajo técnico de **“DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR TÉRMICO PARA LA SUSTITUCIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES PARA LA PRODUCCIÓN DE DERIVADOS LÁCTEOS DE LA QUESERA SANTA MARTA – SAN JUAN - CHIMBORAZO”** de responsabilidad de la señorita Giselle Alexandra Paredes Chacón ha sido revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de titulación, quedando autorizada así su presentación.

| NOMBRE  | FIRMA | FECHA |
|---|-------|-------|
| Dr. Celso Recalde M.<br><b>DIRECTOR DEL TRABAJO<br/>DE TITULACIÓN</b> | ..... | ..... |
| Ing. Paúl Palmay P.<br><b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>                    | ..... | ..... |

“Yo, Giselle Alexandra Paredes Chacón, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

---

GISELLE ALEXANDRA PAREDES CHACÓN

## **DEDICATORIA**

A DIOS por darme la existencia y fortaleza para poder seguir siempre adelante en cada uno de los pasos de mi vida.

A mi madre por ser siempre mi guía espiritual que siempre forjó mi camino en especial en los más duros momentos siempre depositó toda su confianza en mi persona.

A mi padre por ser mi guía técnica e incondicional que luchó por mi bienestar, brindarme comprensión y paciencia

## **AGRADECIMIENTO**

Mi sincero agradecimiento a DIOS por permitirme la vida y poder terminar mis estudios de forma exitosa, a mis padres por su apoyo y guía, y a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de manera especial a la planta Docente de la Escuela de Ingeniería Química, quienes han forjado en mí, valores que acrecientan al ser humano; de manera especial al Dr. Celso Recalde M. y a la Ing. Paul Palmay P. quienes han sabido orientar la ejecución de este proyecto técnico.

Al Grupo de Energías Alternativas y Ambiente de la Facultad de Ciencias por abrirme las puertas y brindarme su valiosa colaboración y asesoramiento en la parte de simulación de la presente Tesis.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|              |     |
|--------------|-----|
| RESUMEN..... | xiv |
| SUMMARY..... | xv  |

### CAPITULO I

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....</b>                                       | <b>1</b>  |
| <b>1.1. Identificación del problema.....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>1.2. Justificación del proyecto .....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>1.3. Línea de base del proyecto .....</b>  | <b>3</b>  |
| <i>1.3.1. Reconocimiento del lugar de investigación .....</i>                               | <i>3</i>  |
| <i>1.3.2. Marco conceptual.....</i>   | <i>3</i>  |
| <i>1.3.2.1. Energía solar térmica .....</i>   | <i>3</i>  |
| <i>1.3.2.2. Generación de energía solar térmica.....</i>                                    | <i>5</i>  |
| <i>1.3.2.3. Aprovechamiento de energía solar .....</i>                                      | <i>6</i>  |
| <i>1.3.2.4. Colectores solares.....</i>   | <i>7</i>  |
| <i>1.3.2.5. Colectores de aprovechamiento a baja y media temperatura.....</i>               | <i>7</i>  |
| <i>1.3.2.6. Colectores de aprovechamiento a alta temperatura .....</i>                      | <i>8</i>  |
| <i>1.3.2.7. Sistema solar térmico para producción de vapor para pasteurizar leche .....</i> | <i>9</i>  |
| <b>1.3.3. Beneficiarios directos e indirectos .....</b>                                     | <b>11</b> |
| <i>1.3.3.1. Directos .....</i>  | <i>11</i> |
| <i>1.3.3.2. Indirectos .....</i>  | <i>11</i> |

### CAPITULO II

|  |           |
|--|-----------|
| <b>2. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....</b> | <b>12</b> |
| <b>2.1. General.....</b>               | <b>12</b> |
| <b>2.2. Específicos.....</b>           | <b>12</b> |

## CAPITULO III

|                 |  |           |
|-----------------|--|-----------|
| <b>3.</b>       | <b>ESTUDIO TÉCNICO .....</b>   | <b>13</b> |
| <b>3.1.</b>     | <b>Localización del proyecto .....</b>   | <b>13</b> |
| <b>3.1.1.</b>   | <b><i>Localización geográfica .....</i></b>  | <b>14</b> |
| <b>3.2.</b>     | <b>Ingeniería del proyecto .....</b>   | <b>14</b> |
| <b>3.2.1.</b>   | <b><i>Colector de placa plana .....</i></b>  | <b>15</b> |
| <b>3.2.1.1.</b> | <b><i>Recurso energético disponible .....</i></b>                                      | <b>17</b> |
| <b>3.2.1.2.</b> | <b><i>Cálculo de energía incidente .....</i></b>                                       | <b>18</b> |
| <b>3.2.4.</b>   | <b><i>Cálculo de intensidad útil .....</i></b>   | <b>20</b> |
| <b>3.2.5.</b>   | <b><i>Cálculo de rendimiento .....</i></b>   | <b>21</b> |
| <b>3.2.5.</b>   | <b><i>Cálculo de aportación .....</i></b>  | <b>22</b> |
| <b>3.2.6.</b>   | <b><i>Consumo energético .....</i></b>   | <b>24</b> |
| <b>3.2.6.1.</b> | <b><i>Determinación del volumen de agua de alimentación al pasteurizador .....</i></b> | <b>24</b> |
| <b>3.2.6.2.</b> | <b><i>Metros cuadrados de panel necesarios .....</i></b>                               | <b>26</b> |
| <b>3.2.6.3.</b> | <b><i>Paneles solares necesarios .....</i></b>   | <b>26</b> |
| <b>3.2.6.4.</b> | <b><i>Disposición de los colectores solares placa plana .....</i></b>                  | <b>27</b> |
| <b>3.2.6.5.</b> | <b><i>Fluido calor portador .....</i></b>  | <b>28</b> |
| <b>3.2.7.</b>   | <b><i>Dimensionamiento del intercambiador de calor en contracorriente .....</i></b>    | <b>28</b> |
| <b>3.2.7.1.</b> | <b><i>Balace de masa y energía en el intercambiador .....</i></b>                      | <b>28</b> |
| <b>3.2.7.2.</b> | <b><i>Diseño del Intercambiador de calor en contracorriente.....</i></b>               | <b>30</b> |
| <b>3.2.7.3.</b> | <b><i>Cálculo de área para flujo transversal .....</i></b>                             | <b>32</b> |
| <b>3.2.7.4.</b> | <b><i>Calculo del área .....</i></b>   | <b>32</b> |
| <b>3.2.7.5.</b> | <b><i>Cálculo del área del tubo .....</i></b>  | <b>33</b> |
| <b>3.2.7.6.</b> | <b><i>Cálculo número de tubos .....</i></b>  | <b>33</b> |
| <b>3.2.7.7.</b> | <b><i>Dinámica de fluidos computacional.....</i></b>                                   | <b>33</b> |
| <b>3.3.2.</b>   | <b><i>Intercambiador de calor contracorriente .....</i></b>                            | <b>35</b> |

|   |    |
|---|----|
| 3.3.3. <i>Fluido calor portador</i> .....   | 35 |
| 3.4. <b>Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria</b> .....  | 38 |
| 3.4.1. <i>Requerimiento de materiales y equipos para el muestreo y medición en estación meteorológica San Juan.</i> .....                           | 38 |
| 3.4.2. <i>Requerimiento de equipos para la simulación de la planta termosolar pasteurizadora</i> .....  | 38 |
| 3.4.3. <i>Análisis de costo/beneficio del proyecto</i> .....  | 39 |
| 3.4.4. <i>Comparación del costo vapor de la quesera Santa Marta con el sistema solar térmico para la sustitución de combustibles fósiles.</i> ..... | 39 |
| 3.4.5. <i>Propuesta de implementación de un sistema solar térmico</i> .....   | 40 |
| 3.4.6. <i>Discusión de resultados</i> .....   | 41 |
| 3.5. <b>Conclusiones</b> .....  | 43 |
| 3.6. <b>Recomendaciones</b> .....   | 44 |

## BIBLIOGRAFÍA

## ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

|  | Pág. |
|--|------|
| <b>Tabla 1-3:</b> Macro localización Tunshi  | 13   |
| <b>Tabla 2-3:</b> Datos de temperatura media ambiente en horas de trabajo diaria en los años 2015 – 2017 | 16   |
| <b>Tabla 3-3:</b> Datos de temperatura media ambiente mensual en los años 2015 – 2017.                   | 17   |
| <b>Tabla 4-3:</b> Datos de Radiación Anual media de los años 2015-2017                                   | 17   |
| <b>Tabla 5- 3:</b> Intensidad Solar Media Diaria en los años 2015-2017                                   | 18   |
| <b>Tabla 6-3:</b> Energía Incidente Media sobre Superficie Horizontal por Metro Cuadrado                 | 19   |
| <b>Tabla 7-3:</b> Cálculo Energía Incidente  | 20   |
| <b>Tabla 8-3:</b> Cálculo de Intensidad Útil   | 21   |
| <b>Tabla 9-3:</b> Cálculo de Rendimiento mensual de los Colectores                                       | 22   |
| <b>Tabla 10-3:</b> Cálculo Corrección de Aportación  | 23   |
| <b>Tabla 11-3:</b> Corrección de Aportación Mensual  | 23   |
| <b>Tabla 12-3:</b> Consumo de agua diaria mensual para pasteurizar m                                     | 24   |
| <b>Tabla 13-3:</b> Consumo mensual de Energía para Pasteurizar   | 25   |
| <b>Tabla 14-3:</b> Calor absorbido por el agua en Pasteurización trabajando al 100%                      | 25   |
| <b>Tabla 15-3:</b> Calor absorbido por el agua en la Pasteurización trabajando al 85%                    | 26   |
| <b>Tabla 16-3:</b> Datos de Temperatura arrojados a tiempo real  | 31   |
| <b>Tabla 17-3:</b> Colector Placa Plana  | 35   |
| <b>Tabla 18-3:</b> Dimensionamiento intercambiador calor contracorriente                                 | 35   |
| <b>Tabla 19-3:</b> Aceite térmico  | 35   |
| <b>Tabla 20-3:</b> Dispositivos auxiliares   | 35   |
| <b>Tabla 21-3:</b> Materiales de muestreo y recolección de información                                   | 38   |
| <b>Tabla 22-3:</b> Equipos para simulación   | 38   |
| <b>Tabla 23-3:</b> Determinación de los costos del Sistema Solar Térmico                                 | 39   |
| <b>Tabla 24-3:</b> Determinación de vapor  | 41   |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  | Pág. |
|--|------|
| <b>Figura 1-1:</b> Placas de Calentamiento                               | 7    |
| <b>Figura 2-1:</b> Colectores planos                                     | 8    |
| <b>Figura 3-1:</b> Colectores planos tuvo al vacío                       | 8    |
| <b>Figura 4-1:</b> Colectores de placa plana                             | 9    |
| <b>Figura 5-1:</b> Circuito típico de un sistema solar térmico           | 11   |
| <b>Figura 1-3:</b> Ubicación geográfica de la Parroquia de San Juan      | 14   |
| <b>Figura 2-3:</b> Colectores Placa Plana arrojados por simulación       | 27   |
| <b>Figura 3-3:</b> Sección de tubería con aceite térmico                 | 28   |
| <b>Figura 4-3:</b> Intercambiador de calor contracorriente               | 29   |
| <b>Figura 5-3:</b> Sección de tubería entrada al intercambiador de calor | 31   |
| <b>Figura 6-3:</b> Mallado CFD   | 35   |
| <b>Figura 7-3:</b> Sistema Solar Térmico                                 | 36   |
| <b>Figura 8-3:</b> Sistema Solar Térmico.                                | 37   |

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

|                     |  |
|---------------------|--|
| $A_s$               | Área para el flujo transversal   |
| $A_t$               | Área del tubo  |
| $C_e$               | Calor específico del agua  |
| $\dot{m}$ :         | Caudal de agua   |
| $Cp_{AcC}$          | Capacidad calorífica aceite caliente                                   |
| $Cp_{Af}$           | Capacidad calorífica agua fría   |
| $Cp_{Va}$           | Capacidad calorífica vapor de agua                                     |
| $U$                 | Coefficiente global de transferencia de calor, 350 W/m <sup>2</sup> °C |
| $\rho$              | Densidad del agua  |
| $MLDT$              | Diferencia de temperatura media logarítmica.                           |
| $d_o$               | Diámetro exterior del tubo   |
| $E$                 | Energía Incidente  |
| $\dot{m}_{Af}$ =    | flujo másico del agua fría   |
| $\dot{m}_{leche}$ : | Flujo másico de leche  |
| $Q$                 | Flujo de calor   |
| $\dot{m}_{AcF}$ :   | Flujo másico aceite frío   |
| $\dot{m}_{AcC}$     | Flujo másico aceite caliente   |
| $Q_{AcE}$           | Flujo de calor de aceite a la entrada del intercambiador               |
| $Q_{AE}$ :          | Flujo de calor de agua a la entrada del intercambiador                 |
| $Q_{AcS}$ :         | Flujo de calor de aceite a la salida del intercambiador                |
| $Q_{AS}$            | Flujo de calor de agua a la salida del intercambiador                  |
| $t$                 | Horas útiles   |
| $L$                 | Longitud del tubo  |
| $n$                 | Número de día mes que se considera                                     |
| $H$                 | Radiación  |
| $\eta$              | Rendimiento mensual medio del colector                                 |
| $t_m$               | Temperatura máxima   |
| $t_a$               | Temperatura ambiente   |
| $t_{ac}$            | Temperatura del acumulador   |
| $t_r$ :             | Temperatura de la red de agua  |
| $T_{Va}$            | Temperatura vapor de agua  |
| $T_{AcF}$ :         | Temperatura Aceite frío  |
| $\Delta T$          | Variación de temperatura   |

## **LISTADO DE ANEXOS**

**Anexo A** Presupuesto y datos técnicos

**Anexo B** Valores de los coeficientes de transferencia de calor total

**Anexo C** Hoja técnica Acero Inoxidable AISI 304

**Anexo D** Diámetro de coraza y longitud efectiva de los tubos, en función de área efectiva de transferencia de calor.

**Anexo E** Hoja técnica del aceite térmico

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de titulación fue el diseñar un sistema solar térmico para la sustitución de combustibles fósiles para la producción de derivados lácteos de la Quesera Santa Marta en la parroquia San Juan de la provincia de Chimborazo, se realizó la selección de colectores solares de placa plana, función al cálculo de área de captación necesaria para pasteurizar 500L/d siendo 103,62 m<sup>2</sup>, los mismos paneles solares se eligieron por poseer una mayor área de captación de radiación solar, utilizar aceite térmico como fluido calor portador sin necesidad de tener un dispositivo auxiliar de generación de energía como ayuda extra al sistema. Mediante balance de masa y energía se dimensionó un intercambiador de calor en contracorriente de área de transferencia de 0,15m<sup>2</sup>, para cambiar de fase el agua a vapor, para entrega al pasteurizador tipo chaqueta. La validación técnica se lo realizó mediante simulación en el software SolidWorks y dibujados en tercera dimensión observando el correcto funcionamiento del sistema solar térmico en tiempo real arrojando datos de operación como temperatura de aceite térmico de 180°C a la salida de los colectores y temperatura de vapor de ingreso al pasteurizador 120°C para realizar la pasteurización con 6 horas diarias de aprovechamiento de radiación solar. Concluyendo que este sistema solar térmico ayuda al medioambiente ya que sustituye al cien por ciento el uso de combustibles de tipo fósil evitando la contaminación al planeta. Se recomienda tener el caldero existente como seguridad si existiera algún fallo en el sistema solar térmico.

**Palabras clave:** <CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES>, <INGENIERÍA QUÍMICA>, <SISTEMA SOLAR TÉRMICO>, <SIMULACIÓN DE PROCESOS>, <PASTEURIZACIÓN>, <DISEÑO DE PROCESOS>, <SOLIDWORKS (SOFTWARE)>, <SAN JUAN (PARROQUIA)>.

## SUMMARY

The present research work had the aim to design a thermal solar system for the substitution of fossil fuels for the production of dairy products of Santa Marta Cheese dish in San Juan Parish, of Chimborazo Province , it was realized the selection of flat plane solar collectors, function to calculate the training area needed to pasteurize 500 L/d being  $103.62\text{m}^2$  , the same solar panels were chosen for having a greater solar radiation collection area, use thermic oil as a heat transfer fluid without need to have an auxiliary power generation device, as extra help to the system. By mass and energy balance that dimensions a heat exchanger in counter flow of transfer area of  $0.15\text{m}^2$  , to change phase to steam water for delivery to jacket type pasteurizer. The technical validation was done through simulation in the software SolidWorks and drawings in third dimension, observing the correct functioning of the solar thermal system in real time, throwing operation data as thermal oil temperature of  $180^\circ\text{C}$  , at the exit of the collectors and the steam temperature of the entrance to the pasteurizer  $120^\circ\text{C}$  , to perform pasteurization with 6 hours a day of solar radiation use. Concluding that this thermal solar system helps the environment, since it substitutes a hundred years for the use of fuel of fossil type avoiding the pollution of the planet. It was recommended to have the existing cauldron as security if there is any fault in the solar thermal system.

**Clue Words:** <EXACT AND NATURAL SCIENCES>, <CHEMICAL ENGINEER>, <THERMAL SOLAR SYSTEM>, <PROCESS SIMULATION>, <PASTEURIZATION>, <PROCESS DESIGN>, <SOLIDWORKS (SOFTWARE)>, <SAN JUAN (PARISH)>.

## **CAPITULO I**

### **1.DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Identificación del problema**

El incremento de la demanda energética mundial junto a la falta de acciones para mitigar los problemas ambientales, con poco aprovechamiento de recursos energéticos renovables no convencionales para satisfacer dicha demanda y tener una mayor diversidad de fuentes de energía ha incrementado la problemática ambiental global.

El incremento anormalmente acelerado de la temperatura del planeta, se debe a la concentración de gases de efecto invernadero en la atmosfera, particularmente por el dióxido de carbono. Su causa fundamental son las fuentes de combustibles fósiles como gas, carbón y petróleo, de la demanda energética mundial junto a la falta de acciones para atenuar los problemas medioambientales, con un escaso aprovechamiento de recursos energéticos renovables no convencionales para satisfacer dicha demanda y tener una mayor diversidad de fuentes de energía ha incrementado la problemática ambiental global.

La quema y el uso de combustibles fósiles generan contaminación del aire, del agua y suelo, y el fenómeno del calentamiento global. La combustión de estos combustibles principalmente en las calderas de energía de la red de plantas, proporciona la mayor parte de las necesidades energéticas de la tierra, a pesar de la generación de calor útil para la generación de energía, los subproductos no deseados resultantes de este proceso causan graves daños medioambientales para el planeta.

La energía que consume el país proviene de los hidrocarburos, siendo más del 90% la dependencia de este tipo de combustibles. A pesar de que el Ecuador es un país rico en recursos renovables el país ha sufrido incidentes de escases energética para suplir la demanda nacional. En la provincia de Chimborazo existen pequeños y medianos centros de transformación de leche cruda que emplean combustibles fósiles como gas y diésel que conlleva a la contaminación medioambiental, así como el desperdicio energético en el proceso de pasteurización, que eleva los costos del producto terminado. El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) no dice que en el país se produce 5,4 millones de litros de leche diarios en el país, Chimborazo ocupa el primer lugar de la región con 471 mil hectáreas utilizado para uso agropecuario del cual el 11% destinada al pastoreo lo que convierte a Chimborazo en una provincia de ganadería

principalmente. La Quesera Santa Marta ubicada en San Juan – Chimborazo, tiene una producción de 500L/d de leche a pasteurizar y el costo de operación es muy elevado siendo el rubro principal la generación de energía quemando 35 galones de diésel comercial numero 2 además de causar contaminación al medioambiente.

## **1.2. Justificación del proyecto**

Los problemas ambientales como el calentamiento global, manejo de agua han impulsado la exploración de nuevas tecnologías de producción limpia donde los combustibles fósiles son la segunda y la tercera opción por su grave efecto ambiental en los procesos productivos.

Los combustibles fósiles existen, y hoy en día, nos hacen un inestimable servicio. El problema radica en su uso ya que aparecen una serie de problemas ambientales durante su combustión emitiendo dióxido de carbono que es el gas que contribuye principalmente al calentamiento global. En el siglo XX se considera que la temperatura ascendió un 0,6 °C, hecho relacionado con el desarrollo y crecimiento industrial que se basó en el uso de energía a partir de combustibles fósiles (Burgos, 2015, p.1)

Las ciudades ocupan apenas el 3% del planeta, pero consumen hasta el 80% de energía y representan el 75% de las emisiones de carbono y de otros gases de efecto invernadero a la atmosfera, según la Organización de Naciones Unidas. (El Universo, 2017 p. 4). En el país se ha delineado una hoja de ruta para depender menos de combustibles fósiles.

En el proyecto se sugirió el diseño de un sistema térmico solar para la sustitución de combustibles fósiles para la producción de derivados lácteos de la quesera Santa Marta – San Juan – Chimborazo. Aprovechando las doce horas de radiación solar que posee el Ecuador, se aplicó los conocimientos adquiridos como balance de energía, termodinámica, transferencia de calor, etc.

El país se encuentra en una ubicación privilegiada en cuanto se refiere a radiación solar, siendo casi perpendicular la radiación que recibe, y, además, esta radiación no presenta variación durante el año y tiene un ángulo de incidencia constante.

Este proyecto mediante el diseño de un sistema solar térmico para la sustitución de combustibles fósiles para la producción de derivados lácteos, se delineó un sistema de producción de vapor de agua a partir de energía solar para la pasteurización de 500 L/d de leche entera, mediante colectores solares en la quesera Santa Marta – San Juan - Chimborazo.

Además del importante impacto que en términos de energía limpia puede suponer la termosolar en Ecuador, esta tecnología de usar una planta termosolar en el proceso de pasteurización representa oportunidades muy interesantes para la agroindustria ecuatoriana y, además aporta a la economía con el 50% del Producto Interno Bruto agropecuario (PBI) y 11% destinado al pastoreo lo que convierte a Chimborazo en una provincia ganadera principalmente. El presente proyecto resolverá un problema muy importante como es el consumo de leche cruda en zonas rurales mediante el diseño un sistema solar para la pasteurización de 500 litros de leche recolectados de la parroquia de San Juan – Chimborazo capaz de eliminar riesgos sanitarios y además dará que se utilizaran la misma para producir derivados lácteos.

### **1.3. Línea de base del proyecto**

#### ***1.3.1. Reconocimiento del lugar de investigación***

La Quesera Santa Marta entra en funcionamiento desde 1999 con únicamente pasteurización de tipo artesanal de leche con una producción de la misma de 100L/d. Desde el año 2005 adquiere equipos y maquinaria moderna para aumentar su producción de 500L/d para producción de derivados como diferentes tipos de quesos, yogurt etc.

#### ***1.3.2. Marco conceptual***

##### ***1.3.2.1. Energía solar térmica***

Durante millones de años, el sol ha estado emitiendo sobre la tierra más energía de la que solemos consumir. Hoy debido al calentamiento global y el cambio climático tenemos que ver otras formas de optimizar el uso de la energía solar. Puesto a que no sería racional el no intentar aprovechar, por todos los medios técnicamente posibles, esta fuente energética gratuita e inagotable, que puede liberarnos definitivamente de la dependencia del petróleo o de otras alternativas poco seguras, contaminantes o, simplemente agotables. Es por eso que se debe conocer la importancia de los colectores solares. (Energía Solar, 2015, pp. 20)

La radiación solar puede convertirse en energía de dos formas: bien a través de placas fotovoltaicas que las mismas generan energía eléctrica directamente, o a su vez transformando la radiación solar en energía térmica. El objetivo principal de cualquier tipo de sistema solar es captar la energía que proviene del sol para transformarla de la manera más económica y eficaz posible utilizando las diferentes tecnologías existentes (Energía Solar, 2015, pp. 20).

El país tiene altos niveles de radiación solar, pero la participación de esta fuente para cubrir la demanda energética es mínima, por lo consiguiente el estado está perdiendo la oportunidad de convertir esta energía solar en la tercera fuente de energía, luego del petróleo y la hidroelectricidad (INER, 2014, pp. 21).

El Ecuador al estar ubicado en la mitad del mundo, el potencial de aprovechamiento es muy grande, y el uso extensivo ayudaría a alcanzar una independencia energética de largo plazo, por tal razón el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) está dando pasos grandes para evaluar el recurso solar y utilizar esta información para los diferentes proyectos (INER, 2014, pp. 21).

Desde agosto del 2008 el Ecuador cuenta con un Atlas de Irradiación Solar desarrollado por la Corporación para la Investigación Energética (CIE) para uso y difusión del Concejo Nacional de Electricidad (CONELEC, 2017, pp. 31).

En el Atlas Solar se puede encontrar datos geo referenciados sobre radiación global, difusa y directa en el Ecuador continental, siendo este documento una importante herramienta para desarrollar proyectos de energía solar.

El Atlas de Radiación Solar del Ecuador tiene 39 mapas en formato impreso y digital con una resolución de 1 Km<sup>2</sup> además del respectivo software de consulta y la base de datos correspondiente. Tener esta información es un aporte en el momento de implementar procesos productivos tecnológicamente eficientes en sectores como el agrícola e industrial que impliquen el aprovechamiento de energía solar por ejemplo en sistemas de bombeo, iluminación, generación de calor, etc (Cañar, 2014, pp. 19).

Todo esto mediante energías limpias y condiciones de ventaja estratégica para el país por su ubicación geográfica (Cañar, 2014, pp. 19). A nivel mundial se está sustituyendo el consumo de combustibles de tipo fósil, por tal razón en países primermundistas se está implementando el aprovechamiento de la radiación solar para producción de vapor en muchas plantas pasteurizadoras, en nuestro país nuestro proyecto técnico es uno de los pioneros en proponer esta nueva tecnología limpia para el medioambiente.

“El Ecuador el INER elaboro un proyecto que consistió en la instalación de 17 estaciones meteorológicas en el cantón Cuenca y 17 en la provincia de Chimborazo, además de la colocación de sensores para repotenciar estaciones meteorológicas existentes en la provincia de Chimborazo,

este proyecto busca validar el recurso solar existente en el país, así como la elaboración de proyectos a escala nacional tomando en cuenta los niveles de radiación” (SOPELIA, 2016, pp. 25).

En el país a industria de Refinación de Hidrocarburos no responde a la demanda nacional lo cual deja un balance negativo que evidencia la demanda de importación de productos pese a que se trató de solucionar este inconveniente mediante la construcción de la Refinería del Pacífico para así disminuir los gastos de importación de naftas, Diesel y otros derivados (SOPELIA, 2016, pp. 25).

A pesar de este impulso dado por el estado para incrementar la producción de petróleo y su refinación, estos hidrocarburos son energías primarias no renovables que se agotarán, por ello es necesario estrategias que lleven al Ecuador hacia la nueva matriz energética y productiva (Cañar, 2014, pp. 19).

Es de suma importancia dar a conocer a la sociedad ecuatoriana todos los beneficios, características técnicas, etc. Relacionados a la sostenibilidad energética y ambiental, de la energía termosolar para la posible explotación del mismo, a fin de impulsar la implementación como campo alternativo de generación de energía en el Ecuador. (CONELEC, 2017, pp. 31).

Como responsabilidad de la academia la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo viene desarrollando varias iniciativas en el área de energías renovables y ambiente, analizando la situación de comunidades, se describe la importancia del recurso solar. La ESPOCH y su Grupo de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA) desarrollan proyectos técnicos y de investigación mediante el estudio de la eficiencia de energía térmica para la Zona Ecuatorial.

#### *1.3.2.2. Generación de energía solar térmica*

“El consumo de energía es uno de los más grandes medidores de progreso y bienestar de una sociedad, un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende del crecimiento continuo exige una demanda creciente de energía. Debido a que las fuentes de energía de tipo fósil y nuclear son finitas, por tal razón se desarrollan nuevos métodos para obtener energía que son las llamadas energías alternativas” (Solar, 2018, pp. 30).

Existen diferentes tipos de energías llamadas renovables, solo hay que transformarla según el caso. En la naturaleza podemos encontrar variedad de fuentes inagotables de las cuales podemos extraer energía, como del sol, viento agua suelo, entre otras. Debido al cambio climático ésta es una buena

forma de detener su avance mediante la energía verde, reduciendo las emisiones de dióxido de carbono (Solar, 2018, pp. 30).

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento de la energía del sol, para transferirla a un medio portador de calor, generalmente agua o aire. La tecnología actual permite calentar agua con radiación solar hasta producir vapor para diferentes aplicaciones. Aunque el principio de funcionamiento es muy similar existen dos tipos de aplicaciones:

Energía solar térmica para uso en viviendas e instalaciones pequeñas, y, grandes centrales de energía solar térmica que concentra el calor en un punto para generar energía. Una vez generado el calor, el principio de funcionamiento es similar al de una central térmica o una central nuclear. La diferencia radica en la combustión de combustibles fósiles, normalmente carbón, para la generación de vapor. (Solar, 2018, pp. 30).

#### *1.3.2.3. Aprovechamiento de energía solar*

El aprovechamiento de energía solar térmica se puede llevar mediante dos formas: aprovechamiento activo y pasivo. (Solar, 2018, pp. 30)

“La energía solar activa se clasifica con las tecnologías relacionadas con el aprovechamiento de la energía solar que utilizan equipamientos mecánicos o eléctricos para mejorar el rendimiento o para procesar la energía obtenida ya sea convirtiéndola en energía eléctrica o mecánica. Estos equipamientos pueden ser ventiladores, bombas de agua, etc. Como por ejemplo energía solar térmica, fotovoltaica” (Solar, 2018, pp. 30).

El aprovechamiento pasivo de energía solar no requiere ningún dispositivo para captarla, ni ningún dispositivo para su transformación, como invernaderos, ventanas de cristal solárium, etc. Ventanas que absorben y retienen el calor. El aprovechamiento térmico de la energía solar se divide en tres áreas muy importantes a la que se eleva el fluido calor portador (Solar, 2018, pp. 30).

Sistemas de baja temperatura que abarcan procesos en los cuales el agua no llega a estado de ebullición aplicado para calentamiento de agua, uso doméstico, calefacción y preparación de alimentos. Sistemas de media temperatura (menos de 300°C), se destinan para procesos industriales, generación de fluidos térmicos, refrigeración solar, etc. Sistemas de alta temperatura, se usan espejos que concentran la radiación solar que contiene un fluido alcanzando presiones elevadas generalmente aprovechadas para mover turbinas para generación de electricidad.

|                       | Baja T°   | Media T°  | Alta T°             |
|-----------------------|---|---|---------------------|
| Industrial            | Calentamiento de fluidos  | Producción de vapor<br>Calentamiento de fluidos<br>Refrigeración<br>Desalinización de aguas | Producción de vapor |
| Doméstico y servicios | Agua caliente sanitaria<br>Calefacción<br>Climatización de piscinas | Acondicionamiento de aire   |                     |
| Agrícola              | Invernaderos<br>Calentamiento de agua<br>Secaderos                  |   |                     |

**Figura 1-1:** Placas de calentamiento  
Fuente: (Velasco, 2012).

#### 1.3.2.4. Colectores solares

Un colector o convertidor tiene como finalidad la transformación de la energía solar en calor y esta hacia un fluido térmico que actúa como fluido calor portador, que circula por el colector, de la manera más económica y eficaz posible. De forma genérica, un colector solar está constituido en esencia por un absorbedor que recoge la energía solar, una cubierta transparente y un tubo o tubos por los que circula el fluido termo portador. (Solar, 2018, pp. 32)

#### 1.3.2.5. Colectores de aprovechamiento a baja y media temperatura

“Los colectores planos son los más utilizados y estos están compuestos de una placa plana metálica de cobre generalmente recubierta de pintura negra, que absorbe eficientemente la radiación solar y la convierte en calor, y de tubos con buen contacto térmico con la placa, por lo que circula un fluido generalmente agua, aceite, agua con anticongelante que transmite su calor a un sistema de producción de calor. La parte posterior de la lámina tiene aislamiento térmico, y la parte superior está recubierta de plástico que inhibe las pérdidas de calor por radiación y convierte al colector en una especie de invernadero” (Solar, 2018, pp. 30).



**Figura 2-1:** Colectores planos

**Fuente:** (Velasco, 2012).

“Los colectores tipo Tubos de vacío, aprovecha el vacío creado en su interior para eliminar las perdidas por convección y aumentar así la temperatura del fluido portador de calor con menos necesidad de superficie de captación efectiva” (Velasco, 2012, pp. 102).



**Figura 3-1:** Colectores planos tubo al vacío

**Fuente:** (Velasco, 2012).

Los colectores de tipo concentración, su superficie receptora tiene una forma especial y generalmente parabólica, de esta manera se consigue concentrar la radiación solar en un elemento receptor de superficie muy reducida, este sistema entrega temperaturas de hasta 300°C (Velasco, 2012, pp. 102).

#### *1.3.2.6. Colectores de aprovechamiento a alta temperatura*

Los colectores de aprovechamiento de la energía solar a alta temperatura utilizada para generar electricidad mediante vía termodinámica están basados en principios similares a los que pueden

contemplarse en un central eléctrico convencional que quema carbón o petróleo (Velasco, 2012, pp. 102).

#### 1.3.2.7. Sistema solar térmico para producción de vapor para pasteurizar leche

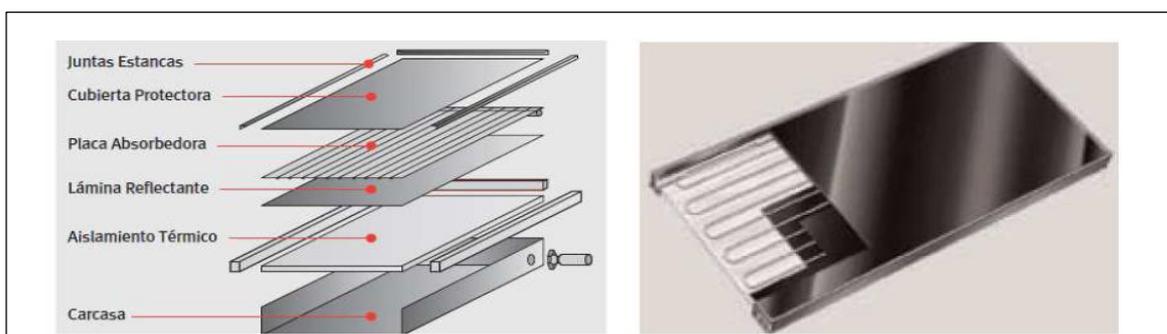
“El diseño de un sistema solar térmico de producción de vapor de tipo industrial es un trabajo que implica la aplicación de conocimientos de ingeniería, como balance de masa y energía, utilizando criterios de diseño, basados en experiencia y cálculos, para cada uno de los componentes que integran el mismo, así como la mejor alternativa de localización, recursos, disponibilidad de mano de obra, etc” (Velasco, 2012, pp. 102).

El principio elemental de cualquier instalación solar es el aprovechamiento de la energía del Sol, mediante captadores y transferirla a un sistema de almacenamiento, que abastece el consumo cuando sea necesario. Una instalación de energía solar térmica para producción de vapor a nivel industrial se compone de tres principales subsistemas (Velasco, 2012, pp. 102):

##### a) Sistema captación solar

Para poder alcanzar mayores temperaturas en un colector, es necesario modificar el sistema de captación, de forma que se aumente la concentración. Esto se consigue en los colectores concentradores, que se pueden clasificar según dos características básicas: la geometría del absorbedor (concentración lineal o puntual) y la forma de la concentración (reflexión o refracción). (Velasco, 2012, pp. 102).

Los colectores solares planos destinados al calentamiento y producción de vapor, pueden ser fabricados de distintos materiales (acero, cobre, aluminio, plástico, vidrio) pero están basados siempre en el mismo principio, denominado efecto invernadero, consistente en captar en su interior la energía solar, transformándola en energía térmica. (Larrea, 2011, pp. 28).



**Figura 4-1:** Colectores de placa plana

**Fuente:** Chimborazo, Santa Isabel-San Juan-Chimborazo, (2011, pp. 28).

### *b) Intercambio de Calor*

Mediante un fluido que absorberá la energía radiante llamado calor portador se pondrá en marcha el funcionamiento del sistema, mediante el efecto termosifón para lo cual se necesita un dispositivo auxiliar llamado intercambiador de calor. El uso apropiado de conocimientos de transferencia de calor en el diseño de equipos prácticos de transferencia de calor es un arte. El diseñador debe estar consciente constantemente de las diferencias entre las condiciones idealizadas por y sobre las cuales se obtiene el conocimiento básico y las condiciones reales de la expresión mecánica de su diseño y su ambiente. (Robert, et al, 1994, pp. 220)

“El resultado debe satisfacer requisitos operacionales y de proceso (como la disponibilidad, la flexibilidad y la posibilidad de darle mantenimiento), en forma económica. Una de las partes importantes de cualquier proceso de diseño es tomar en consideración y compensar las consecuencias de los errores en los conocimientos básicos o su inclusión subsiguiente en un método de diseño, o bien en la conversión del diseño en equipo o el manejo del equipo y el proceso. El diseño de intercambiadores de calor, en las mejores condiciones, no es un arte muy preciso” (Robert, et al, 1994, pp. 220).

En función a la entrega de energía del colector de placa plana el mismo que realizará el intercambio HTF (Fluido Calor Portador) con agua para elevar su temperatura al punto de ebullición. En un intercambiador de tubo en contracorriente, para entrega de vapor para aplicaciones de tipo industrial. (Robert, et al, 1994, pp. 220).

### *c) Pasteurización*

Una de muchas aplicaciones de aprovechamiento de la energía gratuita e inagotable proveniente del sol en sustitución de quema de combustibles fósiles, es la entrega de vapor saturado para ingreso a un sistema de intercambio de calor leche – vapor. El mismo que realiza un proceso de pasteurización que consiste en destruir los microorganismos mediante un tratamiento térmico. (Robert, et al, 1994, pp. 221).

El mismo puede ser mediante una pasteurización lenta que consiste en calentar la leche a temperatura entre 62 y 64 °C y mantenerla a esta temperatura durante 30 minutos, luego es enfriada a temperaturas entre 4 y 10 °C haciendo pasar por un tanque de camisa doble fondo agua fría hasta que la leche tenga la temperatura deseada. (Portalechero, 2013, pp. 501).

#### *d) Simulación del sistema solar térmico*

“Las técnicas de simulación sirven para analizar los procesos para anticipar soluciones con el fin de obtener el diseño as, eficiente para conseguir como objetivos: Optimización de recursos, Validación de la inversión a realizar, análisis de puntos críticos, evaluación del diseño de las instalaciones, etc. Otro de los beneficios es proporcionar una visualización a tiempo real del funcionamiento del proceso” (Portalechero, 2013, pp. 501).

La elección del software se da en función de la necesidad y ajuste de lo que queremos interpretar antes de la construcción de un dispositivo o conjunto de dispositivos para evitar, corregir problemas y plantear propuestas de futuras construcciones de los mismos. (logística). (Portalechero, 2013, pp. 501).

### ***1.3.3. Beneficiarios directos e indirectos***

#### *1.3.3.1. Directos*

Del proyecto será la quesera Santa Marta y el Centro de Investigación de Energías Alternativas y Ambiente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

#### *1.3.3.2. Indirectos*

Profesionales en energía, investigadores, ganaderos, inversores en proyectos de energía alternativa y renovable.

## **CAPITULO II**

### **2.OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **2.1. General**

- Diseñar un sistema solar térmico para la sustitución de consumo de combustibles fósiles para la producción de derivados lácteos de la quesera Santa Marta – San Juan – Chimborazo.

#### **2.2. Específicos**

- Dimensionar un sistema solar térmico que permita determinar variables de operación para la entrega de vapor saturado al proceso de pasteurización, en sustitución de combustibles fósiles, para elaboración de derivados lácteos con producción de 500L/d de la quesera Santa Marta de la parroquia San Juan en la provincia de Chimborazo.
- Efectuar cálculos y diseño de colectores solares de acuerdo al recurso solar energético de la provincia de Chimborazo.
- Estimar la viabilidad técnica mediante simulación del sistema solar y costos de operación de montaje de colectores solares en la industria láctea.

## CAPÍTULO III

### 3. ESTUDIO TÉCNICO

#### 3.1. Localización del proyecto

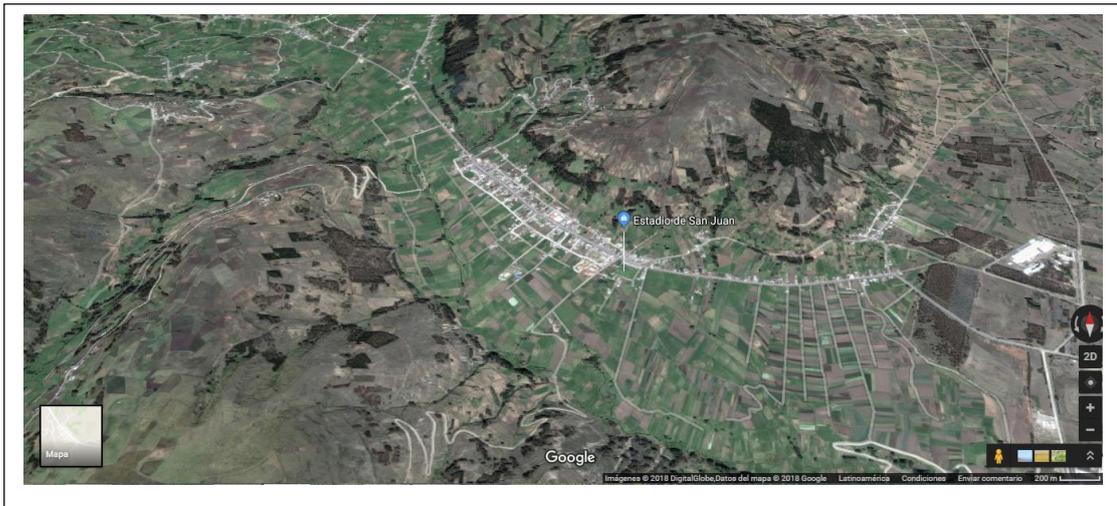
- **Clima.-** San Juan tiene una temperatura promedio anual de 12 y 16°C y precipitaciones promedios 500 – 1000mm.
- **Altitud.-** San Juan se encuentra localizada y a una altura de 3160 – 6210 m.s.n.m.
- **Superficie** aproximadamente 22120Ha. 221,20 Km<sup>2</sup>
- **Localizada** con coordenadas geográficas coordenadas -1.63333' de la latitud sur y -78 7833' longitud oeste.
- **Población:** 7370 habitantes.
- **Localización:**

**Tabla 1-3:** Macro localización Tunshi

|                   |                |
|-------------------|----------------|
| <b>CONTINENTE</b> | <b>América</b> |
| PAIS              | Ecuador        |
| PROVINCIA         | Chimborazo     |
| CANTON            | Riobamba       |
| PARROQUIA         | San Juan       |

**Fuente:** Plan de Desarrollo Territorial de la Parroquia San Juan  
**Elaborado por:** Giselle Paredes, 2018

### 3.1.1. Localización geográfica



**Figura 1-3:** Ubicación geográfica de la Parroquia de San Juan

Fuente: Plan de Desarrollo Territorial de la Parroquia San Juan

## 3.2. Ingeniería del proyecto

Termosolar se refiere al aprovechamiento de la energía que proviene del sol abundante e inagotable para la producción de vapor que puede ser usado en procesos industriales. Para su aprovechamiento, la mayoría de ocasiones se emplea sistemas colectores o paneles solares.

Los sistemas de captaciones con paneles solares para calentamiento de agua o producción de vapor son utilizados comúnmente para usos domésticos o industriales, en los colectores de placa plana suelen trabajar con temperatura de placa absorbente comprendidas entre 40 y 130°C, los mismo que se utilizan en industria láctea, procesado de residuos, etc. así como en procesos químicos, producción de acetona. Este tipo de colectores no requieren de sistema de seguimiento solar y prácticamente no precisan de mantenimiento.

En inicio se llevó a cabo análisis de bibliografía para conocer el estado de producción de energía con radiación solar tanto a nivel nacional como internacional y, así como los futuros proyectos auspiciados por el gobierno nacional para impulsar energías de tipo renovables. Esta primera instancia concluyó con el conocimiento de diversos componentes de sistemas de captación solar y sus aplicaciones. Para lo cual se hizo uso de documentación especializada como artículos, revistas, notas de prensa, publicaciones y datos técnicos emitidos por fabricantes especializados en energía solar.

Una vez adquirido los conocimientos generales se aplicó conocimientos específicos para desarrollar un método de cálculo matemático para realizar el sistema solar térmico, y su futura comprobación de los cálculos mediante simulación de los mismos, discerniendo entre los ofertantes en el mercado como Ansys, Trnsys, utilizando el software SolidWorks Flow Simulation, dándonos la mejor opción ya que el mismo que elimina la complejidad de la dinámica computacional de fluidos y nos ayudó a simular de una manera rápida el flujo de fluidos, transferencia de calor para tener éxito en nuestro diseño.

Para los cálculos de colectores solares se tomaron datos de radiación mediante estaciones meteorológicas más cercanas, que nos permitió dimensionar un sistema de acuerdo al recurso energético solar gratuito disponible, saber el número de paneles solares y además la superficie necesaria para poder obtener energía para ceder calor a un aceite térmico como fluido calor portador, el mismo que entregó su energía al agua en un intercambiador de calor en contra corriente, para su posterior transformación a vapor, y, realizar el proceso de intercambio de calor en un pasteurizador de tipo chaqueta, en sustitución de un caldero para producción de vapor tradicional, que para su operación se necesita la quema de combustibles fósiles.

Una vez seleccionado el software más adecuado basado en Dinámica de Fluidos Computacional, se comprobó su óptimo funcionamiento, manipulando variables de proceso para que pueda operar sin ningún tipo de inconveniente a tiempo real para su futura instalación. Cada una de esta metodología aplicada se comprobó y se comparó con dos proyectos técnicos de igual similitud como es el primero Nicaragua de Tomaselli, y de Larrera – Bayas, ambos para producción de vapor para pasteurizar leche entera.

Finalmente se realizó el costo de vapor de la planta actual de la quesera Santa Marta, con la propuesta de este proyecto técnico de titulación, tomando en cuenta la potencia del caldero y el consumo diario de combustible fósil a ser quemado. Así como todo el análisis técnico económico de la propuesta, como posibles proveedores de cada uno de los dispositivos de producción de vapor, accesorios, etc.

### ***3.2.1. Colector de placa plana***

Para determinar el número de colectores de placa plana tomamos datos de la estación meteorología Datta Logger QML 201C modelo Vaisala de la ESPOCH – Facultad de Ciencias, ubicados en Estación Meteorológica San Juan, se ha recogido datos digitalmente para luego ser

procesados estadísticamente, así tenemos datos de temperatura ambiente de las diferentes horas del día.

Se comparó con dos proyectos guías para el diseño de ingeniería del mismo. El primer proyecto ubicado en Nicaragua, de Daniela (Vicario Tomaselli, 2013),, “Pasteurización de leche en Managua con energía solar térmica” y, el segundo en nuestro país de los autores Larrea-Bayas en el año 2011. “Modelo térmico para la producción de quesos” Siguiendo el mismo lineamiento se tiene,

**Tabla 2-3:** Datos de temperatura media ambiente en horas de trabajo diaria en los años 2015 - 2017

| <b>HORA</b>  | <b>Temperatura Media</b> |
|--------------|--------------------------|
| OCHO         | 8                        |
| NUEVE        | 10                       |
| DIEZ         | 12                       |
| ONCE         | 13                       |
| DOCE         | 14                       |
| TRECE        | 15                       |
| CATORCE      | 15                       |
| QUINCE       | 15                       |
| DIECISÉIS    | 15                       |
| <b>MEDIA</b> | 13                       |

**Fuente:** ESPOCH- Geaa

**Elaborado por:** Giselle Paredes, 2018

Se ha considerado el tiempo de operación de la quesera Santa Marta de ocho horas diarias de trabajo, iniciando a las ocho horas y concluyendo a las dieciséis horas. Se realizó el caculo promedio de los tres últimos años con datos de estación meteorológica.

**Tabla 3-3:** Datos de temperatura media ambiente mensual en los años 2015 – 2017.

| Mes        | Temperatura media |
|------------|-------------------|
| ENERO      | 13,49             |
| FEBREO     | 13,54             |
| MARZO      | 12,83             |
| ABRIL      | 13,11             |
| MAYO       | 13,11             |
| JUNIO      | 12,18             |
| JULIO      | 11,95             |
| AGOSTO     | 12,52             |
| SEPTIEMBRE | 13,13             |
| OCTUBRE    | 13,88             |
| NOVIEMBRE  | 14,51             |
| DICIEMBRE  | 13,76             |
| MEDIA      | 13,17             |
| DES. STD   | 0,67              |

Fuente: ESPOCH- Geaa

Elaborado por: Giselle Paredes, 2018

Se ha calculado el promedio mensual de la temperatura ambiente en la tabla 3-3

### 3.2.1.1. Recurso energético disponible

La cuantía de radiación solar que se tiene disponible un área determinada se puede obtener mediante diferentes ecuaciones matemáticas o a su vez por medio de medidas en estaciones meteorológicas. Para estos cálculos fueron entregados por la Estación meteorológica de la ESPOCH - Facultad de Ciencias, ubicada en la estación San Juan, la misma que nos servirá como

**Tabla 4-3:** Datos de Radiación Anual media de los años 2015-2017

| AÑO  | INTENSIDAD (W/m <sup>2</sup> ) |
|------|--------------------------------|
| 2014 | 382,14                         |
| 2015 | 383,16                         |
| 2106 | 381,75                         |

Fuente: ESPOCH- Geaa

Elaborado por: Giselle Paredes, 2018

Se observa en la tabla 4-3 la intensidad de radicación en el sector de San Juan, con una mínima variación, es decir casi permanece constante. En los proyectos comparados sobrepasa el lumbral de 200W/m<sup>2</sup> para que entre en operación el sistema solar térmico.

### 3.2.1.2. Cálculo de energía incidente

El colector se debe tener la mejor disposición en su ubicación de manera que al momento entre en operación se beneficie al máximo la radiación solar incidente.

Se calculó la hora útil de radiación solar diaria media, haciendo el sumatorio de intensidades medias de las horas de operación de la quesera y dividiendo para su intensidad máxima que resultó a las catorce horas. Dándonos como resultado 6 horas útiles de beneficio de radiación solar durante el día. Este valor nos sirvió para obtener Energía Incidente Media sobre superficie horizontal.

**Tabla 5- 3:** Intensidad Solar Media Diaria en los años 2015-2017

| HORA       | INTENSIDAD MEDIA (W/m <sup>2</sup> ) | MÁXIMA        | MÍNIMA        |
|------------|--------------------------------------|---------------|---------------|
| NUEVE      | 224,95                               | 344,4         | 105,5         |
| DIEZ       | 390,14                               | 509,59        | 270,69        |
| ONCE       | 510,31                               | 629,79        | 390,86        |
| DOCE       | 583,26                               | 702,72        | 463,81        |
| TRECE      | <b>587,43</b>                        | <b>706,95</b> | <b>468,04</b> |
| CATORCE    | 542,43                               | 661,89        | 422,98        |
| QUINCE     | 469,63                               | 589,08        | 350,18        |
| SUMA       | 3.308,22                             |               |               |
| D,ESTANDAR | 119,45                               |               |               |
| TOTAL      | 5,63                                 |               |               |
| HORA/DIA   | <b>6</b>                             |               |               |

Fuente: ESPOCH- Geaa

Elaborado por: Giselle Paredes, 2018

Seguidamente se procedió calculó la Energía Incidente Media sobre superficie horizontal en un metro cuadrado para un día medio de cada mes con datos de Intensidad Solar Media. Calculamos Energía Incidente sobre superficie horizontal/m<sup>2</sup> (H), multiplicando I (intensidad W/m<sup>2</sup>), por h (horas útiles de sol en segundos).

**Tabla 6-3:** Energía Incidente Media sobre Superficie Horizontal por Metro Cuadrado

| MES        | INTENSIDAD MEDIA(W/m <sup>2</sup> ) | RADIACIÓN H (MJ/día*m <sup>2</sup> ) | MAXIMA | MINIMA |
|------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------|--------|
| ENERO      | 408,50                              | 8,82                                 | 9,49   | 8,15   |
| FEBRERO    | 404,26                              | 8,73                                 | 9,40   | 8,06   |
| MARZO      | 358,46                              | 7,74                                 | 8,41   | 7,07   |
| ABRIL      | 414,19                              | 8,95                                 | 9,62   | 8,28   |
| MAYO       | 389,33                              | 8,41                                 | 9,08   | 7,74   |
| JUNIO      | 389,28                              | 8,41                                 | 9,08   | 7,74   |
| JULIO      | 404,38                              | 8,73                                 | 9,40   | 8,07   |
| AGOSTO     | 425,74                              | 9,20                                 | 9,86   | 8,53   |
| SEPTIEMBRE | 464,34                              | 10,03                                | 10,70  | 9,36   |
| OCTUBRE    | 457,96                              | 9,89                                 | 10,56  | 9,22   |
| NOVIEMBRE  | 460,17                              | 9,94                                 | 10,61  | 9,27   |
| DICIEMBRE  | 398,32                              | 8,60                                 | 9,27   | 7,94   |

Fuente: ESPOCH- Geaa

Elaborado por: Giselle Paredes, 2018

En nuestro proyecto técnico tenemos mayor radiación (MJ/dm<sup>2</sup>) en comparación a Nicaragua con un promedio de 8,95 versus 5,41 MJ/dm<sup>2</sup> (Vicario Tomaselli, 2013), pero no mayor al analizado a nivel global de la provincia de Chimborazo con 10,11 MJ/dm<sup>2</sup> (Larrea, y otros, 2011). Todo esto se debe a que en el Ecuador hay mayor radiación aprovechable como podemos observar en los siguientes cálculos.

La radiación umbral, cuyo valor base es de 200 W/m<sup>2</sup>, por debajo de la misma no es recomendable poner en marcha la instalación, por lo tanto, se introduce un factor de corrección para sistemas solar térmico que tenga en cuenta las pérdidas de energía en momentos del día se tenga por debajo de este valor por tal razón se estima en 6% es decir que se introduce en la ecuación siguiente el factor 0,94. El factor k según la latitud del lugar se consideró de 1 en base a la inclinación de 16°. (Diseño de un Sistema Solar Térmico para la Producción de Quesos en las Comunidades: Chimborazo, Santa Isabel-San Juan-Chimborazo, 2011)

$$E = 0,94 \cdot k \cdot H \quad \text{Ec. 1 - 3.}$$

Donde:

E: Energía Incidente

k: 16° inclinación 1

H: Radiación (MJ/día\*m<sup>2</sup>)

**Tabla 7-3:** Cálculo Energía Incidente

| MES        | H(MJ/día*m <sup>2</sup> ) | K | E(MJ/día*m <sup>2</sup> ) |
|------------|---------------------------|---|---------------------------|
| ENERO      | 8,82                      | 1 | 8,29                      |
| FEBRERO    | 8,73                      | 1 | 8,21                      |
| MARZO      | 7,74                      | 1 | 7,28                      |
| ABRIL      | 8,95                      | 1 | 8,41                      |
| MAYO       | 8,41                      | 1 | 7,90                      |
| JUNIO      | 8,41                      | 1 | 7,90                      |
| JULIO      | 8,73                      | 1 | 8,21                      |
| AGOSTO     | 9,20                      | 1 | 8,64                      |
| SEPTIEMBRE | 10,03                     | 1 | 9,43                      |
| OCTUBRE    | 9,89                      | 1 | 9,30                      |
| NOVIEMBRE  | 9,94                      | 1 | 9,34                      |
| DICIEMBRE  | 8,60                      | 1 | 8,09                      |

Fuente: ESPOCH- Geaa

Elaborado por: Giselle Paredes, 2018

### 3.2.4. Cálculo de intensidad útil

Se halló la intensidad útil en W/m<sup>2</sup> utilizando la siguiente expresión.

$$I = \frac{E}{t} \quad \text{Ec. 2 - 3}$$

Donde:

I: Intensidad (W/m<sup>2</sup>)

E: Energía incidente (MJ/día\*m<sup>2</sup>)

t: Horas útiles (segundos)

**Tabla 8-3:** Cálculo de Intensidad Útil

| <b>MES</b> | <b>HORAS ÚTILES<br/>(s)</b> | <b>INTENSIDAD<br/>(W/m<sup>2</sup>)</b> |
|------------|-----------------------------|---|
| ENERO      | 21600                       | 408,50                                  |
| FEBRERO    | 21600                       | 404,26                                  |
| MARZO      | 21600                       | 358,46                                  |
| ABRIL      | 21600                       | 414,19                                  |
| MAYO       | 21600                       | 389,33                                  |
| JUNIO      | 21600                       | 389,29                                  |
| JULIO      | 21600                       | 404,38                                  |
| AGOSTO     | 21600                       | 425,74                                  |
| SEPTIEMBRE | 21600                       | 464,34                                  |
| OCTUBRE    | 21600                       | 457,96                                  |
| NOVIEMBRE  | 21600                       | 460,17                                  |
| DICIEMBRE  | 21600                       | 398,32                                  |

Fuente: ESPOCH-Geaa

Elaborado por: Giselle Paredes, 2018

**3.2.5. Cálculo de rendimiento**

Se calculó el rendimiento medio mensual del colector con datos del fabricante. (Velasco, 2012)

$$\eta = F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)_N - F_R \cdot U_L \left[ \frac{t_m - t_a}{I} \right] \quad Ec. 3 - 3$$

Donde:

$\eta$ : Rendimiento mensual medio del colector

$t_m$ : Temperatura máxima (150°C)

$t_a$ : Temperatura ambiente en °C

I: Intensidad [W/m<sup>2</sup>]

Datos del fabricante:

$F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)_N$ : 0,824

$F_R \cdot U_L$ : 2,13

**Tabla 9-3:** Cálculo de Rendimiento mensual de los Colectores

| MES        | Ta    | Tm | A     | B    | I      | RENDIMIENTO |
|------------|-------|----|-------|------|--------|-------------|
| ENERO      | 13,49 | 72 | 0,814 | 3,05 | 408,50 | 0,38        |
| FEBRERO    | 13,54 | 72 | 0,814 | 3,05 | 404,26 | 0,37        |
| MARZO      | 12,83 | 72 | 0,814 | 3,05 | 358,46 | 0,31        |
| ABRIL      | 13,11 | 72 | 0,814 | 3,05 | 414,19 | 0,38        |
| MAYO       | 13,11 | 72 | 0,814 | 3,05 | 389,33 | 0,35        |
| JUNIO      | 12,18 | 72 | 0,814 | 3,05 | 389,28 | 0,35        |
| JULIO      | 11,95 | 72 | 0,814 | 3,05 | 404,38 | 0,36        |
| AGOSTO     | 12,52 | 72 | 0,814 | 3,05 | 425,74 | 0,39        |
| SEPTIEMBRE | 13,13 | 72 | 0,814 | 3,05 | 464,34 | 0,43        |
| OCTUBRE    | 13,88 | 72 | 0,814 | 3,05 | 457,96 | 0,43        |
| NOVIEMBRE  | 14,51 | 72 | 0,814 | 3,05 | 460,17 | 0,43        |
| DICIEMBRE  | 13,76 | 72 | 0,814 | 3,05 | 398,32 | 0,37        |

Fuente: ESPOCH-Geaa

Elaborado por: Giselle Paredes, 2018

En las dos investigaciones se puede observar un rendimiento bajo, tipo de estos dispositivos de absorción de radiación solar pero no obstante esto quiere decir que no cumplirá con el propósito de su instalación

### 3.2.5. Cálculo de aportación

Se obtuvo la aportación corregida tomando en consideración 15% de pérdidas por falta de datos tomados por la estación meteorológica. (Velasco, 2012, pp. 15).

$$\eta * E * 0,85 \quad Ec. 4 - 3$$

Donde:

$\eta$ : Rendimiento mensual medio del colector

E: Energía incidente [MJ/día\*m<sup>2</sup>]

0,85: Factor de corrección

**Tabla 10-3:** Cálculo Corrección de Aportación

| MES        | RENDIMIENTO | ENERGIA INCIDENTE (MJ/día*m <sup>2</sup> ) | PERDIDAS | n*E*0,85 |
|------------|-------------|--|----------|----------|
| ENERO      | 0,38        | 8,29                                       | 0,85     | 2,66     |
| FEBRERO    | 0,37        | 8,21                                       | 0,85     | 2,60     |
| MARZO      | 0,31        | 7,28                                       | 0,85     | 1,92     |
| ABRIL      | 0,38        | 8,41                                       | 0,85     | 2,72     |
| MAYO       | 0,35        | 7,90                                       | 0,85     | 2,37     |
| JUNIO      | 0,35        | 7,90                                       | 0,85     | 2,32     |
| JULIO      | 0,36        | 8,21                                       | 0,85     | 2,52     |
| AGOSTO     | 0,39        | 8,64                                       | 0,85     | 2,85     |
| SEPTIEMBRE | 0,43        | 9,43                                       | 0,85     | 3,42     |
| OCTUBRE    | 0,43        | 9,30                                       | 0,85     | 3,37     |
| NOVIEMBRE  | 0,43        | 9,34                                       | 0,85     | 3,44     |
| DICIEMBRE  | 0,37        | 8,09                                       | 0,85     | 2,53     |

Fuente: ESPOCH-Geaa

Elaborado por: Giselle Paredes, 2018

Para los valores de energía incidente sobre metro cuadrado de colector por día, se considera del 10 al 15% de pérdidas, por criterio de ingeniería he considerado el mayor valor de pérdida por falta de datos arrojados por la estación meteorológica. Aportación mensual considerando el número de día que tiene cada mes del año:

**Tabla 11-3:** Corrección de Aportación Mensual

| MES        | n*E*0,85 | n*E*0,85*N |
|------------|----------|------------|
| ENERO      | 2,66     | 82,42      |
| FEBRERO    | 2,60     | 72,85      |
| MARZO      | 1,92     | 59,55      |
| ABRIL      | 2,72     | 81,57      |
| MAYO       | 2,37     | 73,46      |
| JUNIO      | 2,32     | 69,60      |
| JULIO      | 2,52     | 78,12      |
| AGOSTO     | 2,85     | 88,35      |
| SEPTIEMBRE | 3,42     | 102,73     |
| OCTUBRE    | 3,37     | 104,59     |
| NOVIEMBRE  | 3,44     | 103,15     |
| DICIEMBRE  | 2,53     | 78,44      |

Fuente: ESPOCH-Geaa

Elaborado por: Giselle Paredes, 2018

### 3.2.6. Consumo energético

Carga mensual de energía para proveer al agua líquida para cambiar de fase de entrega a pasteurizar 500L/día de leche entera.

#### 3.2.6.1. Determinación del volumen de agua de alimentación al pasteurizador

Para determinar el volumen de alimentación necesaria para pasteurizar 500L/h de leche entera se tomó referencia la capacidad promedio de una caldera que se encuentra en operación en la quesera Santa Marta de abastecimiento máximo de agua en galones. La capacidad promedio de una caldera se expresa en Caballos Vapor Caldera (BHP). Por cada BHP de requiere alimentarse 4,25 galones de agua por hora.

$$\text{Agua alimentación} = \text{BHP} * 4,25 \text{ gal/h}$$

Se considera 15 BHP de referencia del caldero de quesera Santa Marta

$$\text{Agua de alimentación} = 1447,76 \text{ L de Agua/día}$$

**Tabla 22-3:** Consumo de agua diaria mensual para pasteurizar  $\dot{m}$

| MES        | Días/mes | $\dot{m}$ (L/día) | $\dot{m}$ (L/mes) |
|------------|----------|-------------------|-------------------|
| ENERO      | 31       | 1447,76           | 44880,56          |
| FEBRERO    | 28       | 1447,76           | 40537,28          |
| MARZO      | 31       | 1447,76           | 44880,56          |
| ABRIL      | 30       | 1447,76           | 43432,8           |
| MAYO       | 30       | 1447,76           | 43432,8           |
| JUNIO      | 30       | 1447,76           | 43432,8           |
| JULIO      | 31       | 1447,76           | 44880,56          |
| AGOSTO     | 31       | 1447,76           | 44880,56          |
| SEPTIEMBRE | 30       | 1447,76           | 43432,8           |
| OCTUBRE    | 31       | 1447,76           | 44880,56          |
| NOVIEMBRE  | 30       | 1447,76           | 43432,8           |
| DICIEMBRE  | 31       | 1447,76           | 44880,56          |

Fuente: ESPOCH-Geaa

Elaborado por: Paredes Giselle, 2018

La carga mensual de energía se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_a = C_e \cdot \dot{m} \cdot (t_{ac} - t_r) \cdot n \cdot \rho \quad \text{Ec. 5 - 1}$$

Donde:

$C_e$ : Calor específico del agua (4187 J/Kg°C)

$m$ : Caudal de agua (L/día)

$t_{ac}$ : Temperatura del acumulador (°C)

$t_r$ : Temperatura de la red de agua

$n$ : Número de día mes que se considera

$\rho$ : Densidad del agua (1Kg/L)

**Tabla 13-3:** Consumo mensual de Energía para Pasteurizar

| MES        | TEMPERATURA DEMANDA | TEMPERATURA FRIA RED | SALTO TERMICO | NUMERO DE DIAS n | m CAUDAL (L/día) | CONSUMO (J) | CONSUMO (MJ)    |
|------------|---------------------|----------------------|---------------|------------------|------------------|-------------|-----------------|
| ENERO      | 72                  | 17                   | 55            | 31               | 1447,76          | 10327914467 | <b>10327,91</b> |
| FEBRERO    | 72                  | 17                   | 55            | 28               | 1447,76          | 9328438874  | <b>9328,44</b>  |
| MARZO      | 72                  | 17                   | 55            | 31               | 1447,76          | 10327914467 | <b>10327,91</b> |
| ABRIL      | 72                  | 17                   | 55            | 30               | 1447,76          | 9994755836  | <b>9994,76</b>  |
| MAYO       | 72                  | 17                   | 56            | 30               | 1447,76          | 9994755836  | <b>9994,76</b>  |
| JUNIO      | 72                  | 17                   | 55            | 30               | 1447,76          | 9994755836  | <b>9994,76</b>  |
| JULIO      | 72                  | 17                   | 55            | 31               | 1447,76          | 10327914467 | <b>10327,91</b> |
| AGOSTO     | 72                  | 17                   | 55            | 31               | 1447,76          | 10327914467 | <b>10327,91</b> |
| SEPTIEMBRE | 72                  | 17                   | 55            | 30               | 1447,76          | 9994755836  | <b>9994,76</b>  |
| OCTUBRE    | 72                  | 17                   | 55            | 31               | 1447,76          | 10327914467 | <b>10327,91</b> |
| NOVIEMBRE  | 72                  | 17                   | 55            | 30               | 1447,76          | 9994755836  | <b>9994,76</b>  |
| DICIEMBRE  | 72                  | 17                   | 55            | 31               | 1447,76          | 10327914467 | <b>10327,91</b> |

Fuente: ESPOCH-Geaa

Elaborado por: Giselle Paredes, 2018

**Tabla 14-3:** Calor absorbido por el agua en Pasteurización trabajando al 100%

| MES | DIAS               | MENSUAL             | ANUAL              |
|-----|--------------------|---------------------|--------------------|
| MJ  | 336,86             | $10,10 \times 10^4$ | $1,21 \times 10^5$ |
| BTU | $3,19 \times 10^5$ | $9,57 \times 10^6$  | $1,14 \times 10^8$ |

Fuente: ESPOCH-Geaa

Elaborado por: Giselle Paredes, 2018

Considerando un 15% de pérdidas motivo que la radiación solar no es constante a lo largo de todo el año (tabla 15-3).

**Tabla 15-3:** Calor absorbido por el agua en la Pasteurización trabajando al 85%

| MES | DIA                | MENSUAL            | ANUAL              |
|-----|--------------------|--------------------|--------------------|
| MJ  | 286,33             | $8,58 \times 10^3$ | $1,03 \times 10^5$ |
| BTU | $2,71 \times 10^5$ | $8,14 \times 10^6$ | $9,77 \times 10^7$ |

Fuente: ESPOCH-Geaa

Elaborado por: Giselle Paredes, 2018

### 3.2.6.2. Metros cuadrados de panel necesarios

$$m^2 = \frac{\text{Necesidad anual de consumo}}{\text{Energía anual neta disponible}}$$

La necesidad anual de consumo es el sumatorio de la demanda mensual de energía de cada mes siendo 103079,25 MJ. La energía anual neta disponible es la aportación anual 994,82 MJ

$$m^2 \text{ necesarios} = 103,62$$

### 3.2.6.3. Paneles solares necesarios

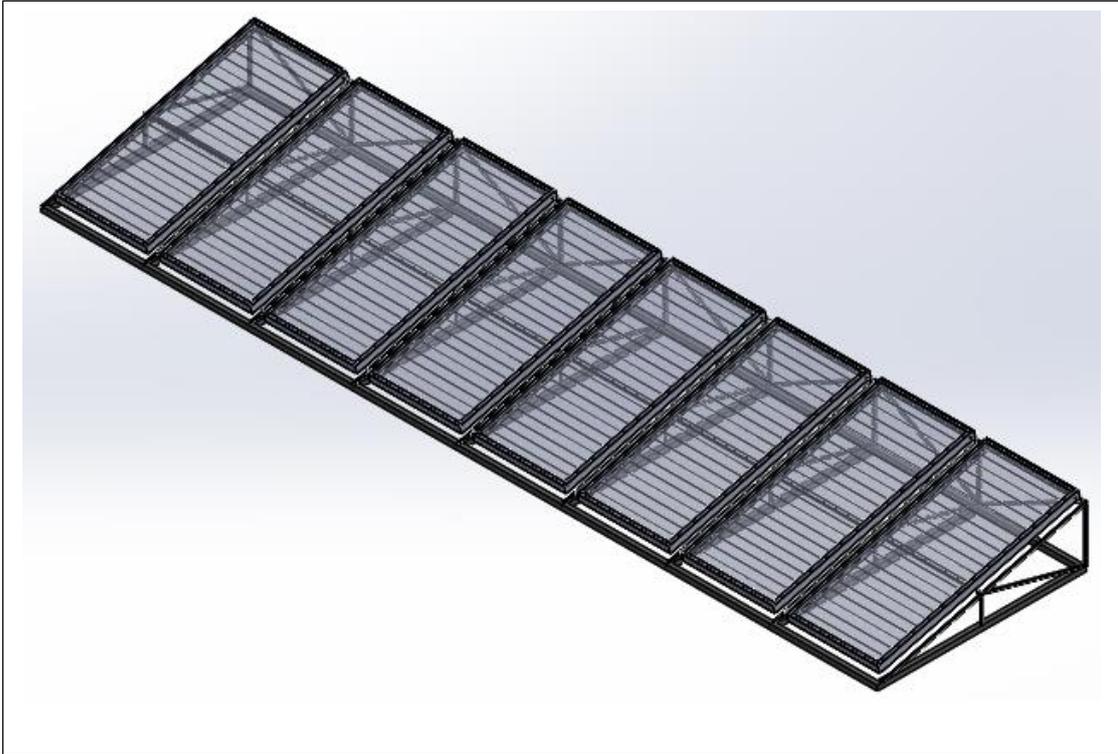
Los metros cuadrados del colector está en función al colector solar de placa plana elegido que oferta el mercado. En los proyectos tomados como base, tienen utilizan un sistema auxiliar o hibrido el mismo que se activa cuando no se alcance el umbral de radiación de 200W/m<sup>2</sup>,

$$\text{Collectores solares necesarios} = \frac{m^2 \text{ Necesarios}}{m^2 \text{ de colector}}$$

$$\text{Collectores solares necesarios} = \frac{103,92 \text{ m}^2}{12,51 \text{ m}^2}$$

$$\text{Collectores solares necesarios} = 8,282621 \cong 8$$

El presente proyecto utiliza paneles de mayor área de captación, lo cual no se necesitará utilizar un sistema de tipo hibrido, ni acumuladores de calor, en relación con los dos tipos de proyectos de generación de vapor, que utilizan un promedio de 5m<sup>2</sup> de área por cada colector, por lo cual conlleva la utilización de hasta 64 paneles solares como es el caso del proyecto de Vicario Tomaselli.



**Figura 2-3.** Colectores Placa Plana arrojados por simulación  
**Elaborado por.** Giselle Paredes, 2018

En la ilustración se observa a los colectores de placa plana arrojado del software de simulación, dibujado con las especificaciones técnicas elegidas en el mercado, ya que se seleccionó en los existentes de acuerdo al requerimiento para poder entregar energía al fluido calor portador que es el aceite térmico, para posterior entregar su energía al agua para su ebullición.

Hemos aprovechado al máximo la radiación solar del país en este proyecto técnico, ya que contamos todo el año con horas de sol, en comparación con países oceánicos por ejemplo en los cuales se han querido instalar estos tipos de sistemas de aprovechamiento de radiación solar, pero es muy complicada debido a que solamente alcanza 1000 horas al año debido a nieblas, etc.

#### *3.2.6.4. Disposición de los colectores solares placa plana*

La disposición de los colectores placa plana, se configura de modo que se haga una distribución uniforme. Se puede configurar combinando dos agrupaciones, de tipo serie y paralelo lo que llamamos agrupaciones o circuitos mixtos. Debido al número grande de colectores elevado se realiza una configuración equilibrada igualando la longitud de los circuitos, es decir, igualar la longitud de tuberías para que el fluido tenga la misma pérdida de carga. (Energía solar, 2015). La elegida en este proyecto técnico es la disposición en serie, y el sistema entrara en operación mediante el efecto termosifón.

### 3.2.6.5. *Fluido calor portador*

El fluido calorportador elegido en este proyecto es aceite térmico descrito en el anexo B el mismo que se encarga de absorber el calor generado por la radiación solar en el colector de placa plana y lo transfiere para calentar el circuito cerrado, el mismo que entregará su energía al agua para este cambiar de fase y convertirse en vapor todo esto ocurre en un intercambiador de calor en contracorriente. El mismo que hemos elegido no va a ayudar como protección en las partes de la instalación solar que están expuestas a la intemperie, como es la zona climática de San Juan que corre riesgo a heladas y además que cumple doble función, como anticongelante y anticorrosivo, como se muestra en la figura 3-3.

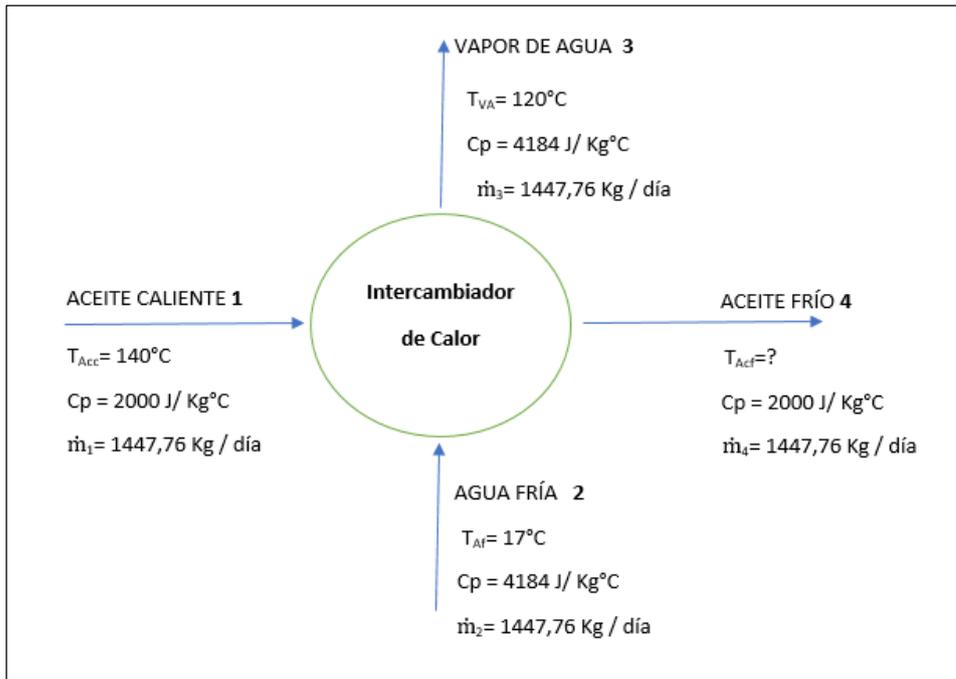


**Figura 3-3:** Sección de tubería con aceite térmico  
Elaborado por. Giselle Paredes, 2018

### 3.2.7. *Dimensionamiento del intercambiador de calor en contracorriente*

#### 3.2.7.1. *Balance de masa y energía en el intercambiador*

Para el dimensionamiento del intercambiador de calor en contracorriente se toma como referencia el estado inicial de operación y datos arrojados de simulación. En comparación con la referencia tomada tanto de Tomaselli, como Larrea – Bayas, no introducen al sistema un diseño ni selección del intercambiador de calor, por tal motivo en mencionados proyectos lo hacen muy poco aprovecharle, en diferencia al presente el cual además del dimensionamiento del mismo entra en operación aceite térmico al sistema como fluido calorportador para elevar la temperatura del agua.



**Figura 4-3:** Intercambiador de calor contracorriente

Elaborado por. Giselle Paredes, 2018

Con flujo de caudal necesario de agua a pasteurizar 1447,76 L/día, con datos de densidad 1000 Kg/m<sup>3</sup> tenemos un flujo másico de 1447,76 Kg/día.

$$\dot{m}_{Af} = \dot{m}_{Va} \quad Ec 6 - 3.$$

Donde:

$\dot{m}_1$  = flujo másico del aceite caliente

$\dot{m}_2$  = flujo másico del agua fría

$\dot{m}_3$  = flujo másico del vapor de agua

$\dot{m}_4$  = flujo másico del aceite frío

$H_1$  = entalpía aceite caliente

$H_2$  = entalpía agua fría

$H_3$  = entalpía vapor de agua

$H_4$  = entalpía aceite frío

Convirtiendo flujo volumétrico a flujo másico.

$$1447,76 \frac{L}{día} * \frac{1m^3}{1000L} * \frac{1000Kg}{m^3} = 1447,76 \frac{Kg}{día}$$

Realizando el balance en el intercambiador, donde:

$T_{Acf}$  = temperatura aceite frío

$$\dot{m}_1 H_1 + \dot{m}_2 H_2 = \dot{m}_3 H_3 + \dot{m}_4 H_4$$

$$1447,76 \frac{Kg}{dia} \cdot 246000 \frac{J}{Kg} = 1447,76 \frac{Kg}{dia} \cdot 430952 \frac{J}{Kg} + 1447,76 \frac{Kg}{dia} \cdot [2000 \frac{J}{KgC} (T_{Acf} - 170)]$$

$$T_{Acf} = 75^\circ C$$

Calculando la eficiencia del caldero Santa Marta para tener referencia de operación se tiene:

$$\varepsilon = \frac{Q_{real}}{Q_{teórico}} = \frac{\dot{m}(H_{va} - H_{H2O})}{\dot{m}(PC)}$$

Donde:

PC= Poder calorífico Diesel

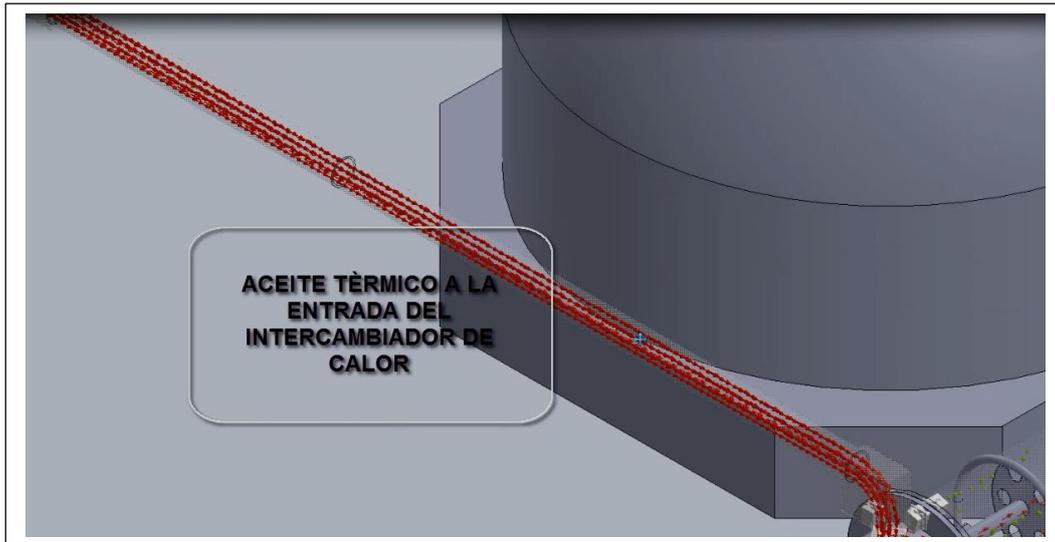
$H_{va}$ = Entalpía de vapor de agua

$H_{H2O}$ = Entalpía de agua

$$\varepsilon = 65\%$$

### 3.2.7.2. *Diseño del Intercambiador de calor en contracorriente*

Se realizó la aplicación de los principios de transferencia de calor al diseño de un dispositivo capaz de producir el intercambio de calor entre dos fluidos, para cumplir el diseño ingenieril para obtener en producto con beneficio económico. Todos los cálculos del dimensionamiento del intercambiador de calor en contracorriente, se los realizo siguiendo al autor Holman del libro Transferencia de calor. Para el dimensionamiento de masa y energía se toma los datos arrojados de simulación operando a tiempo real. Como se puede observar en la ilustración siguiente el color del fluido calor portador cambia de un color marrón a un color rojo indicando así que alcanza su máxima temperatura al ingreso del intercambiador de calor en contracorriente siendo el mismo de 180°C.



**Figura 5-3:** Sección de tubería entrada al intercambiador de calor  
Elaborado por. Giselle Paredes, 2018

**Tabla 16-3:** Datos de Temperatura arrojados a tiempo real

| Estado  | Aceite (°C) | Agua (°C) |
|---------|-------------|-----------|
| Entrada | 180         | 65        |
| Salida  | 75          | 120       |

Fuente: ESPOCH-Geaa

Elaborado por. Giselle Paredes, 2018

$$MLDT = \frac{\Delta T_A - \Delta T_B}{\ln\left(\frac{\Delta T_A}{\Delta T_B}\right)}$$

MLDT: Diferencia de temperatura media logarítmica.

$\Delta T_A$ = Diferencia temperatura de entrada de aceite y temperatura de salida de aceite en el intercambiador de calor.

$\Delta T_B$ = Diferencia temperatura de salida de aceite y temperatura de salida de agua en el intercambiador de calor.

Aceite entrado Interno = 180° C

Aceite salida Interna = 75° C

Agua Entrada Interno = 65° C

Agua Salida Interno = 120° C

$$MLDT = \frac{(180 - 75)^\circ\text{C} - (75 - 65)^\circ\text{C}}{\ln\left(\frac{(180 - 75)^\circ\text{C}}{(75 - 65)^\circ\text{C}}\right)}$$

$$MLDT = 40,41^{\circ}\text{C}$$

### 3.2.7.3. Cálculo de área para flujo transversal

Se toman datos de temperatura tanto de entrada como de salida del aceite térmico

$$Q_i = \dot{m}_{Ac} C_{pAcC} (T_{hi} - T_{ho})$$

Donde:

$Q_i$ : Calor de entrada al intercambiador en operación

$T_{hi}$ : Temperatura de entrada del aceite

$T_{ho}$ : Temperatura de salida del aceite

$$Q_i = 2178\text{W}$$

### 3.2.7.4. Cálculo del área

Para obtener el área del intercambiador de calor se toma como referencia el coeficiente global de transferencia de calor tomado del anexo I y el factor de corrección de temperatura para un paso por la coraza y dos o más pasos por el tubo, siendo este el valor de 1.

$$A_s = \frac{Q_i}{U \cdot F \cdot MLDT}$$

Donde:

$A_s$ : Área para el flujo transversal

$U$ : Coeficiente global de transferencia de calor,  $350 \text{ W/m}^2\text{C}$

$F$ : Factor de corrección de temperatura para un paso por la coraza y dos o más pasos por el tubo, 1.

$$A_s = 0,15 \text{ m}^2$$

### 3.2.7.5. Cálculo del área del tubo

Tomamos como referencia el diámetro exterior del tubo según el material que es fabricado y proporcionado por la hoja técnica del fabricante siendo este AISI 304, el mismo que es un acero inoxidable apto para instalaciones industriales de tipo alimenticias.

$$A_t = \pi \cdot d_o \cdot L$$

Donde:

$A_t$ : Área del tubo

$d_o$ : Diámetro exterior del tubo, 0,334m

$L$ : Longitud del tubo, 0,9m

$$A_t = 0,099m^2$$

### 3.2.7.6. Cálculo número de tubos

$$N_t = \frac{A_s}{A_t}$$

Donde:

$N_t$ : Número de tubos

$$N_t = 1,51 \cong 2$$

Obtenemos 2 tubos en el cual se va a realizar el intercambio de calor aceite – agua, para entregar vapor al pasteurizador.

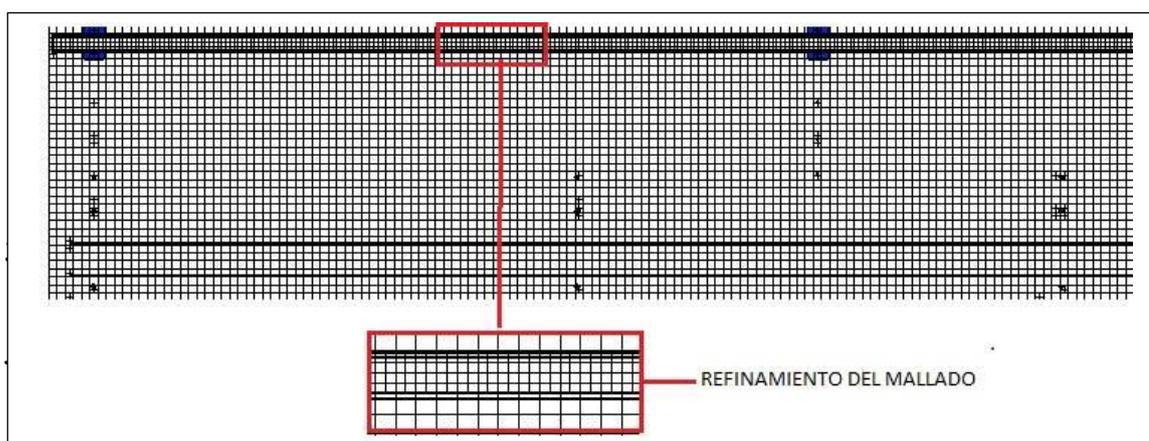
### 3.2.7.7. Dinámica de fluidos computacional

La Dinámica de fluidos computacional CDF, trata sobre la simulación numérica de flujos, fluidos y transferencia de calor resolviendo ecuaciones que rigen estos fenómenos por medio de un mallado, que, en el cual se resolverán cada una de estas ecuaciones. Para los cuales hay que seguir los siguientes pasos: El pre proceso, proceso y el post proceso.

El pre proceso consiste en la programación de los campos en el programa q es la selección del fluido a condición ambiental y condiciones de frontera, colocación de magnitudes físicas presión, velocidad a la entrada y salida del fluido. Utilizando una malla cubica, y mientras más pequeña sea la malla, más preciso es el cálculo. El proceso es la solución del programa y el post proceso se refiere al muestreo de los resultados del sistema, en nuestro caso, los colectores solares y el intercambiador de calor para entrega de vapor saturado. (López, 2017, pp. 30)

Además, se tomó como referencia tres escenarios posibles en los cuales podría funcionar este sistema térmico, aparte del más óptimo. El primer escenario es cuando no tenemos ninguna pérdida de radiación ni por sombra, falta de energía bajo del umbral, etc. es decir, en las mejores condiciones climatológicas y de entrega al 100% la radiación solar, dando como resultado la disminución de colectores de placa plana, siendo de 6. El segundo escenario es incluyendo el factor de 0,6 de pérdidas de aprovechamiento de radiación, el más ideal y real a las condiciones de operación. Y el último escenario es en las peores condiciones climatológicas, arrojando 10 paneles solares.

En las tres condiciones diferentes se introdujo en el software de simulación, las mallas que nos arrojaron como resultado la condición óptima intermedia, es decir no tomamos ninguna de las condiciones máximas ni mínimas, ya que estas no representan la realidad en las que va a operar nuestro sistema solar térmico para producción de vapor es sustitución de combustibles fósiles.



**Figura 6-3:** Mallado CFD

Fuente: Simulación SolidWorks, (2018).

**Tabla 17-3:** Colector Placa Plana

| Parámetro | Símbolo | Unidad         | Valor   |
|-----------|---------|----------------|---------|
| Área      | A       | m <sup>2</sup> | 103,62  |
| Potencia  | P       | W              | 7953,61 |

Elaborado por. Giselle Paredes, 2018

**3.3.2. Intercambiador de calor contracorriente****Tabla 18-3:** Dimensionamiento intercambiador calor contracorriente

| Parámetro             | Símbolo        | Unidad         | Valor |
|-----------------------|----------------|----------------|-------|
| Calor de entrada      | Q <sub>i</sub> | W              | 2178  |
| Área de transferencia | A <sub>s</sub> | m <sup>2</sup> | 0,15  |
| Área de los tubos     | A <sub>t</sub> | m <sup>2</sup> | 0,099 |
| Número de tubos       | N <sub>t</sub> | U              | 2     |

Elaborado por. Giselle Paredes, 2018

**3.3.3. Fluido calor portador****Tabla 19-3:** Aceite térmico

| Parámetro        | Símbolo        | Unidad | Valor   |
|------------------|----------------|--------|---------|
| Caudal de aceite | $\dot{m}_{Ac}$ | Kg/día | 1447,76 |

Elaborado por. Paredes Giselle, 2018

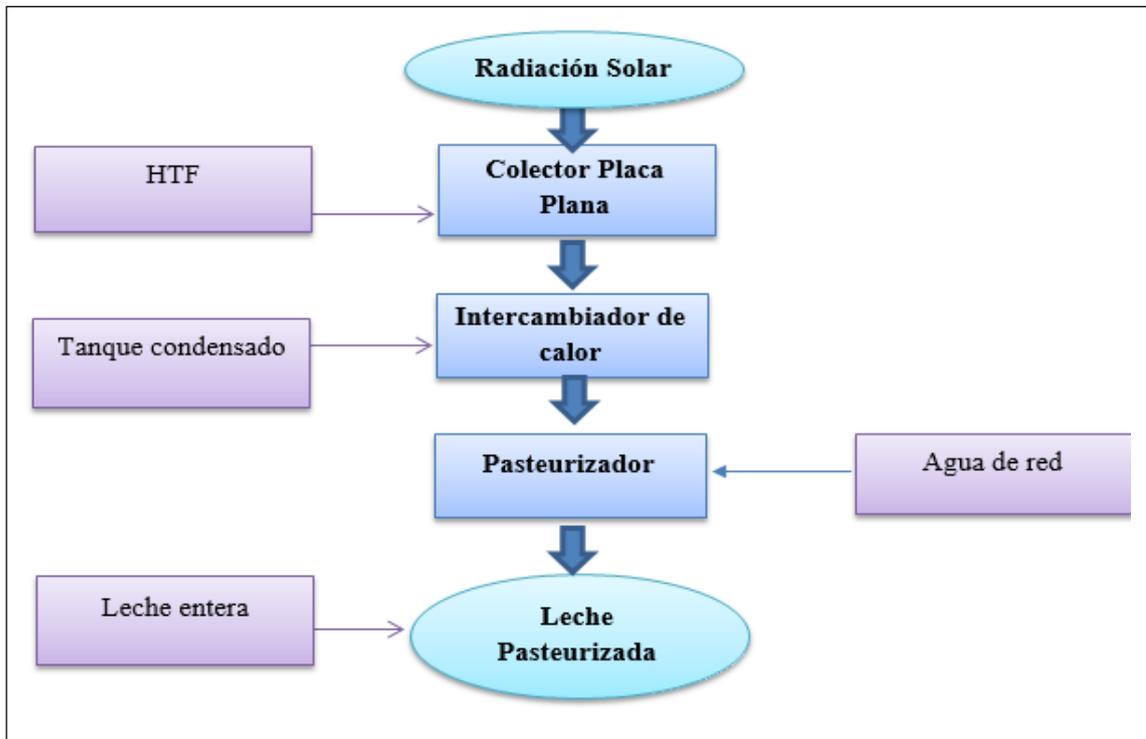
Además, se considera los siguientes dispositivos auxiliares para el correcto funcionamiento de la planta.

**3.3.4. Dispositivos auxiliares****Tabla 20-3:** Dispositivos auxiliares

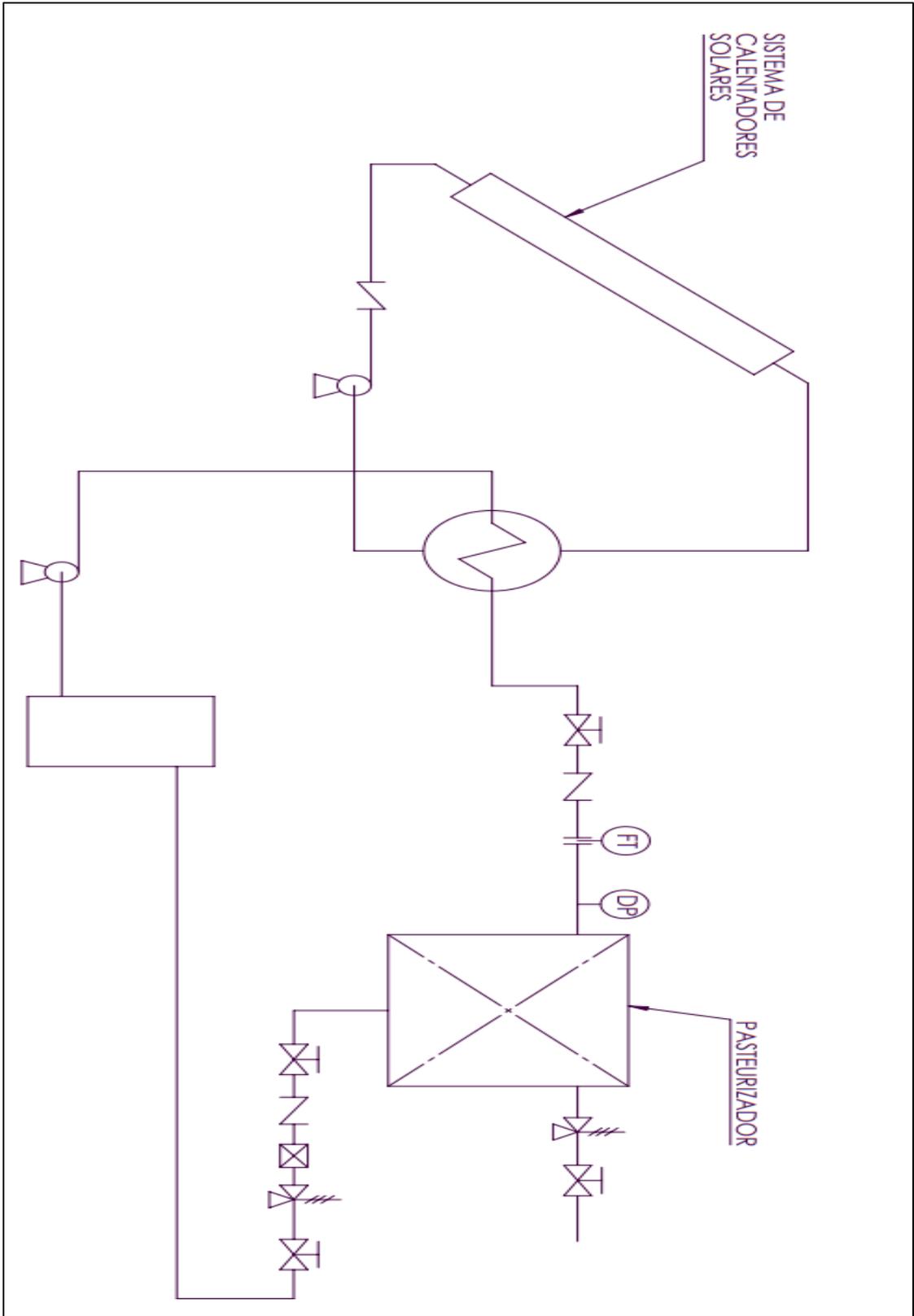
| Parámetros                                   | Símbolo | Unidad         | Valor |
|--|---------|----------------|-------|
| Tanque para condensado ANSI 304, espesor 3mm | V       | m <sup>3</sup> | 3,02  |

Elaborado por. Giselle Paredes, 2018

Proceso de producción



**Figura 7-3:** Sistema Solar Térmico  
Elaborado por. Giselle Paredes, 2018



**Figura 8-3:** Sistema Solar Térmico.  
 Elaborado por. Paredes Giselle, 2018

## 1.4. Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

### 1.4.1. *Requerimiento de materiales y equipos para el muestreo y medición en estación meteorológica San Juan.*

**Tabla 21-3:** Materiales de muestreo y recolección de información

| <b>Fundamento</b>  | <b>Equipo</b>  | <b>Modelo</b>  |
|--|--|--|
| Se basa según la documentación expuesta por la Organización Mundial Meteorológica. | <ul style="list-style-type: none"><li>• Data Logger</li><li>• Modem GPRS</li><li>• Piranometro + Anillo de Sombra.</li><li>• Piranometro</li><li>• Sensor de Temperatura y humedad</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• QML 201C</li><li>• FXT009</li><br/><li>• SR11-10</li><br/><li>• HMP155</li></ul> |

Fuente: ESPOCH-Geaa

Realizado por: Giselle Paredes, 2018

### 1.4.2. *Requerimiento de equipos para la simulación de la planta termosolar pasteurizadora*

Los equipos necesarios para la simulación en base a cálculos de ingeniería como es balance de masa y energía para la obtención técnica del dispositivo de intercambio de calor, el dimensionamiento de la instalación de energía solar térmica, es decir los metros cuadrados de superficie colectora y elección de dispositivos auxiliares con hojas técnicas entregadas por el proveedor.

**Tabla 22-3:** Equipos para simulación

| <b>Fundamento</b>   | <b>Equipos</b>   |
|---|--|
| Cálculos de ingeniería, como balance de energía, para dimensionamiento y crear criterio de elección de equipos y máquinas, para la simulación de la planta termosolar pasteurizadora. | <ul style="list-style-type: none"><li>• Computador</li><li>• Software SolidWorks 2018.</li></ul> |

Realizado por: Giselle Paredes, 2018

### 1.4.3. Análisis de costo/beneficio del proyecto

**Tabla 23-3:** Determinación de los costos del Sistema Solar Térmico

| Rubro/Descripción   | Unidad | Cantidad | Precio Unitario(\$) | Precio Global(\$) |
|---|--------|----------|---------------------|-------------------|
| <b>COLECTOR PLACA PLANA</b>   |        |          |                     |                   |
| Colector Solar Placa Plana, 12,51 m <sup>2</sup>                              | U      | 8        | 990,10              | 7.920,80          |
| <b>ACEITE TÉRMICO</b>   |        |          |                     |                   |
| Aceite Térmico, envase 25 L   | U      | 58       | 10,11               | 586,38            |
| <b>INTERCAMBIADOR DE CALOR CONTRACORRIENTE</b>                                |        |          |                     |                   |
| Tubo C40, 1/4 plg, sensor de flujo, válvula de seguridad, manómetro.          | U      | 1        | 225,00              | 225,00            |
| Espejos y cuerpo  | U      | 1        | 820,00              | 820,00            |
| Coraza 1 y coraza 2   | U      | 1        | 500,00              | 500,00            |
| Arandelas 5/8-3/4 plg, base 6 plg, pernos 5/8, bridas, tuercas 5/8 y seguros. | U      | 1        | 2.218,71            | 2.218,71          |
| <b>TANQUES</b>  |        |          |                     |                   |
| Tanque para condensado, 1200L   | U      | 1        | 2700,00             | 2700,00           |
|   |        |          | <b>Total</b>        | <b>12.270,89</b>  |
|   |        |          | <b>12% IVA</b>      | <b>1.472,50</b>   |
| <b>PRECIO TOTAL DEL SISTEMA SOLAR TÉRMICO</b>                                 |        |          |                     | <b>13.743,39</b>  |

Realizado por: Giselle Paredes, 2018

### 1.4.4. Comparación del costo vapor de la quesera Santa Marta con el sistema solar térmico para la sustitución de combustibles fósiles.

Se toma como referencia la potencia del caldero de quesera Santa Marta 15 Hp, sabiendo que 1 Hp=34,4 lb/h y 1 lb=0,45 Kg se halla que el caldero produce 234,54 Kg vapor/hora, en las 7 horas que trabaja el caldero la producción de vapor al día es 1.641,78 Kg de vapor/día. Para producir 234,54 Kg vapor/h la cadera consume 5 galones de diésel por hora, el consumo diario es 35 galones, cada galón de diésel tiene un costo de 1,03 USD, por consiguiente, el costo diario es de 30,90 USD (Optimización de la Planta de Lácteos en la Producción de Leche Pasteurizada de la Estación Experimental Tunshi, 2014). Entonces el costo de vapor en la planta de lácteos de Tunshi es:

$$\text{Costo de vapor} = \frac{\text{Costo de combustible/día}}{\dot{m}_{\text{vapor/día}}} \quad \text{Ec. 6 - 3}$$

Donde:

$\dot{m}_{Ac}$ : Masa de vapor al día; 1641,78 Kg de vapor/día.

$$\text{Costos de vapor} = \frac{30,90 \text{ USD/día}}{1641,78 \text{ Kg de vapor/día.}}$$

$$\text{Costo de vapor} = 0,018 \text{ USD/Kgdevapor}$$

#### 1.4.5. Propuesta de implementación de un sistema solar térmico

Según la revista Energiza en el Procedimiento de Operación de Sistema HTF, indica que la vida útil de los aceites térmicos en colectores solares, con su correcta utilización es de 5 a 6 años (Energiza, 2013, pp. 25).

Considerando que se necesita 290 galones para 5 años se tiene que por un año precisamos 58 galones. En comparación con el caldero de Quesera Santa Marta trabaja 3 días por semana, al año son 144 días, para los galones por año se tiene 0,80 galones por día en 6 horas de generación de vapor. El coste por 5,6 galones que ofrece el mercado es de 10,11 USD, para 0,80 galones que se necesita equivale a 0,45 USD.

Con referencia a la potencia de los 8 colectores solares de placa plana, se tiene 13,35 HP, realizando los mismos cálculos anteriores se tiene una producción de 206,71 Kg vapor/hora, en 6 horas de trabajo para la producción de vapor al día es 1240,26 Kg de vapor/día. Para producir 206,71 Kg vapor/hora el costo diario de aceite térmico es de 0,45 USD. Así es costo de vapor es:

$$\text{Costos de vapor} = \frac{0,45 \text{ USD/día}}{1446,97 \text{ Kg de vapor/día.}}$$

$$\text{Costo de vapor} = 0,36 \times 10^{-3} \text{ USD/Kgdevapo}$$

**Tabla 24-3:** Determinación de vapor

| <b>Detalle</b>                   | <b>USD/Kgdevapor</b>  |
|----------------------------------|-----------------------|
| Caldero Quesera Santa Marta      | 0,018                 |
| Planta Termosolar Pasteurizadora | $0,36 \times 10^{-3}$ |

Realizado por: Giselle Paredes, 2018

#### ***1.4.6. Discusión de resultados***

La elaboración de resultados se tomo en cuenta el lugar para el análisis técnico para el diseño sistema solar térmico que es el lugar de San Juan – Chimborazo, determino como resultado que el clima es muy variado, este lugar es controlado por la estación meteorológica de la Facultad de Ciencias - ESPOCH, los resultados recogidos de la estación están especificado en las Tabla 1-3 - Tabla 10-3, los mismos mediante cálculos matemáticos de estableció el área en metros cuadrados necesarios de  $103,92\text{m}^2$  para pasteurizar 500 L/d que se recolecta de la plantas de ordeño aledañas del lugar de estudio Quesera Santa Martha, aprovechando el recurso energético solar gratuito que sobrepasa los  $200\text{ W/m}^2$  que se recomienda para poder instalar este tipo de colectores de placa siendo factible la posible instalación y explotación de los mismos en la provincia de Chimborazo.

Mediante transferencia de calor y parámetros en estado inicial y en operación, arrojados mediante simulación en software SolidWorks se realizó el dimensionamiento tanto en estado inicial como en operación del mismo entregando vapor saturado al pasteurizador, con un flujo másico de aceite térmico y agua red de  $1447,76\text{Kg/día}$ , dimensionamos un intercambiador en contracorriente con temperatura de entrada de  $180^\circ\text{C}$  de aceite térmico para cambiar de fase el mencionado flujo másico de agua. El sistema entra en operación automáticamente una vez sobre pase el umbral mediante efectos de termosifón.

Se seleccionó 8 paneles solares de placa plana en circuito cerrado para operar sin ningún inconveniente para pasteurizar 500L/d de leche en la Quesera Santa Marta, podemos observar en simulación la planta operando a tiempo real, teniendo una temperatura de ingreso de  $65^\circ\text{C}$  de vapor al intercambiador de chaqueta el mismo que entrega a la leche y su enfriamiento aplicando agua de red ingresando por el doble fondo del pasteurizador. Todo este proceso se realiza en 30 minutos como resultado arrojado de simulación. Además, cabe recalcar que se realizó la simulación con una carga inicial de 500L, pero durante las horas útiles de aprovechamiento de radiación solar, se puede realizar más cargas de leche.

Se selecciono como fluido calorportador el aceite térmico por sus características que contiene como anticorrosivo y anti congelante que es necesario por el clima que se tiene en San Juan-Chimborazo

En comparación con trabajos técnicos realizados en diferentes lugares se pudo constatar que en los dos mencionados utilizan un sistema hibrido, es decir con un sistema auxiliar quemando combustibles fósiles, el mismo se tendrá únicamente como media de alternativa si por alguna falla del sistema llegara a parar la operación de producción de vapor por radiación solar, pero esto

queda a criterio del dueño de la planta Quesera Santa Marta, por razón se recomienda un correcto mantenimiento preventivo y correctivo periódicamente. La utilización de colectores solares de poca área de captación solar es otra desventaja nuestro proyecto utiliza un colector de marca Vitosol de área  $12,51\text{m}^2$  con mayor aprovechamiento incluyendo en los cálculos pérdidas de radiación solar. Larrea – Bayas en su proyecto pone en operación colectores de tubos al vacío de área de transferencia muy reducida lo que conlleva a utilizar un sistema híbrido pese a que el mismo proyecto se lo realiza en la provincia de Chimborazo, además, no se utiliza un intercambiador de calor tanto en el proyecto de Nicaragua de Tomaselli, ni de Larrea – Bayas, ya que no utilizan un fluido calor portador, por tal motivo pierde aprovechamiento, y no producen vapor netamente con radiación solar.

## CONCLUSIONES

Se diseñó un sistema solar térmico para producción de vapor para entrega a un pasteurizador tipo chaqueta, en función de la producción de leche entera de 500L/d de la Quesera Santa Marta de la parroquia San Juan Chimborazo, utilizando aceite térmico como fluido calorportador con una temperatura de entrada de 180°C para producción de vapor saturado, consumiendo netamente radiación solar como fuente de energía sin la necesidad de consumo de combustibles fósiles.

De acuerdo al recurso solar energético solar gratuito se dimensionó un sistema térmico para producción de vapor y pasteurizar 500L/d de leche entera recolectados de la parroquia San Juan Chimborazo, se seleccionó colectores solares placa plana debido a su mayor área de apertura y captación de radiación solar, además utilizando variables de transferencia de calor como temperatura necesaria de 65°C. Utilizando la estación mete reológica ubicada en el sitio de estudio se determinó que se tiene 6 horas útiles de trabajo los mismos que es entregada una radiación promedio de 414,58 W/m<sup>2</sup> indicando la viabilidad del mismo con un consumo diario de energía de 286,33MJ para la transformación a vapor saturado el agua como fluido utilizado para pasteurizar. Para la entrega de energía se utilizó aceite térmico como fluido calor portador para intercambio de calor.

Se dimensionó un intercambiador de calor en contracorriente con un área de transferencia de 0,15m<sup>2</sup> y dos tubos, los mismos que fueron diseñados y simulados en el software Solid Works dándonos valores de temperaturas a tiempo real en cada uno de los puntos del sistema y además poder observar el sistema en operación a tiempo real. Lo cual se pudo comprobar los costos de operaciones mediante la comparación en trabajo de un caldero con el sistema solar térmico propuesto se halló que es un 98,60% más económico ya que el sistema de consumo de combustible fósil como es el Diésel tiene un costo de 0,18USD versus  $0,36 \times 10^{-3}$  USD por Kg de vapor/hora, siendo este proyecto viable económicamente.

## **RECOMENDACIONES**

- Se puede dar continuidad con el proyecto analizando toda la obra civil para el acoplamiento del sistema, accesorios y dispositivos que no se considera dentro de los rubros de presupuesto dentro de este proyecto. Así como el análisis económico del mismo.
- Se puede considerar mantener el caldero como dispositivo de emergencia, si alguna vez fallara el sistema solar térmico.
- Se recomienda la automatización del mismo mediante sistemas PLC para la puesta en marcha y paro del sistema, para poder realizar más de una carga de leche en el pasteurizador.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **Burgos, I.** *Energías renovables vs combustibles fósiles* [en línea]. Madrid, 2015. [Consulta 05 de mayo del 2017]. Disponible en: <http://www.energiasrenovablesinfo.com/general/combustibles-fosiles-vs-energias-renovables/>
2. **Cañar, D.** [en línea]. *Energía solar térmica para generación de electricidad en el Ecuador* (Tesis). Cuenca-Ecuador. 2014. [citado el 5 de Mayo de 2018]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/20895>
3. **Jimenes, A. Portalanza, M.** *Estandarización de sistemas de calentamiento de agua con energía solar en la ciudad de Riobamba*. Tesis Ing. Mecánica. Riobamba. Escuela de Ingeniería Mecánica. Facultad de Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2009. Pp. 28, 29
4. **López Cózar J.** *Energía Solar Térmica. Manuales de Energías Renovables*; Madrid, España. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2006. Pp. 13, 31-45, 65-73.
5. **López, C.** [en línea]. *Diseño y simulación de una planta termosolar pasteurizadora para la planta de ordeño de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo* (Tesis). Riobamba-Ecuador. 2017. [citado el 5 de Mayo de 2018]. Disponible en: <http://dspace.ESPOCH.edu.ec/handle/123456789/6544>.
6. **Ortega Drodriiguez M.** *Energías Renovables*: 2da. Ed. Madrid, THOMSON, 2002. PP. 33,34,35,59-63, 69,73
7. **Fernandez Diez P.** *Termodinámica Técnica Universidad de Cantabria*, 2004. Pp. 410, 411.
8. **Puig P, Jofra M.** *Energías Renovables para Todos*; Madrid, España, 2003. Pp. 2, 3, 4, 5.
9. **San Jose, C.R.** *Manuales Sobre Energía Renovable*. Solar Térmica; 1ra. Ed. Network. Bunca. Pp. 6.
10. **Cengel, YanuS A.** *Termodinámica*. México : McGraw-Hill, 2012.
11. **Larrea, G.** *Diseño de un Sistema Solar Térmico para la Producción de Quesos en las Comunidades: Chimborazo, Santa Isabel-San Juan-Chimborazo*. Riobamba : ESPOCH, 2011.

12. **Energía Solar.** *Captadores solares térmicos.* [En línea] 28 de Septiembre de 2015. [Citado el: 09 de Febrero de 2017.] <https://solar-energia.net/energia-solar-termica/captadores-solares-termicos>.
13. **Energiza.** Energiza. *Procedimiento de operación sistema HTF.* [En línea] Renovetec, 01 de Septiembre de 2013. [Citado el: 14 de Febrero de 2017.] <http://www.energiza.org/termosolar/115-especial-sistema-htf/217-procedimiento-de-operaci%C3%B3n-sistema-de-htf>.
14. **Holman, J.P.** Transferencia de Calor. [aut. libro] J.P. Holman. *Transferencia de Calor.* México : Continental, S.A, 1999.
15. **Liñan, Francisco Rodríguez.** La energía del cambio. *ABENGOA.* [En línea] 3 de Noviembre de 2014. [Citado el: 25 de Enero de 2017.] <http://www.laenergiadelcambio.com/como-funciona-una-planta-termosolar-cilindroparabolica>.
16. **Ministerio De Coordinación De La Producción, Empleo Y Competitividad.** Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad. *agenda-territorial-chimborazo.* [En línea] Mayo de 2011. [Citado el: 23 de Enero de 2017.] <http://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/02/AGENDA-TERRITORIAL-CHIMBORAZO.pdf>.
17. *Optimización de la Planta de Lácteos en la Producción de Leche Pasteurizada de la Estación Experimental Tunshi..* Riobamba, 2014: ESPOCH.
18. **Perry, Robert , Don Green Y James Maloney..** *Perry Manual del Ingeniero Químico.* México : McGRAW-HILL, 1994.
19. **Romero, José A. Paguay Y Carbonell, Morales Tania.** Scielo. *Ingeniería Energética.* [En línea] Septiembre de 2014. [Citado el: 10 de Febrero de 2017.] [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59012014000300013](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012014000300013).
20. **García, Santiago.** *Sistema HTF.* Madrid : energiza, 2013.
21. **Terán, Juan Fernando.** El Telégrafo. *Economía.* [En línea] 2 de Abril de 2016. [Citado el: 23 de Enero de 2017.] <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/5-4-millones-de-litros-de-leche-se-producen-al-dia>.

22. **Velasco, Carmen Paredes.** Universidad Politécnica de Madrid. *ad upm es*. [En línea] Septiembre de 2012. [Citado el: 25 de Enero de 2016.] [http://oa.upm.es/14011/1/PFC\\_CARMEN\\_PAREDES\\_VELASCO.pdf](http://oa.upm.es/14011/1/PFC_CARMEN_PAREDES_VELASCO.pdf).
  
23. **Villafuerte, Luis Manzano.** Escuela de organización industrial. *EIO*. [En línea] Creative Commons, 21 de FEBRERO de 2012. [Citado el: 17 de 01 de 2016.] <http://www.eoi.es/blogs/luisenriquemanzano/2012/02/21/las-centrales-termosolares-en-el-ecuador/>.

## ANEXOS

### Anexo A: Presupuesto y datos técnicos



PROFORMA  
Equipos para producción de vapor\_Energía solar

Quito, a 22 de mayo de 2018

**Señorita**  
Giselle Paredes Ch.  
Presente. –

Con un atento saludo adjunto a usted la siguiente proforma

#### **Equipos para producción de vapor, energía solar**

En atención a su invitación a cotizar nuestros productos y servicios para el proyecto en referencia, nos complace presentar la siguiente propuesta para la provisión de EQUIPOS PARA PRODUCCIÓN DE VAPOR, ENERGÍA SOLAR de acuerdo a nuestro inventario para la instalación en la ciudad de Manta-Ecuador.

#### **1. PROMESA DE SERVICIO**

SÁNCHEZ CABRERA CIA LTDA. Pone a su disposición nuestra tecnología para este tipo de equipamiento que son procesados bajo BPM, con lo cual garantizamos el cumplimiento de precios, plazos acordados con el cliente garantizando la máxima profesionalidad.

#### **2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

##### **1. Aceite Térmico**

**Envase de 25 Lts.**  
**Para el destilador y el recuperador de su máquina de seco.**  
**Características físico-química**  
Densidad a 15°C 0,880  
Índice de acidez Neutro  
Color ASTM D-1500 1,5  
Viscosidad cinemática a 50°C 22 cST  
Punto de inflamación 196°C  
Punto de combustión 223°C  
Punto de niebla -40°C Punto  
de congelación -45°C Cenizas  
Inapreciables

Conductividad 0,117 KCAL/H m2  
 térmica a 30° (°C/M) Conductividad  
 0,110 KCAL/H m2 térmica a 200°C  
 (°C/M)

## 2. COLECTOR SOLAR PLACA PLANA

Superficie bruta 12,565m<sup>2</sup>, superficie de absorción 11,620m<sup>2</sup>, superficie de  
 apertura 11,635m<sup>2</sup>  
 Coeficiente de pérdida de calor k1 W/(m<sup>2</sup>K) 3,050; Coeficiente k2 W/(m<sup>2</sup>K<sup>2</sup>)  
 0814  
 Temperatura max. De inactividad 210°C

## 3. TANQUE PARA CONDENSADO

Acero INOX ANSI 304, V=1200L.

### 3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

| ITEM | RUBRO   | UNID | CANT | Dólares/unidad | TOTAL, EN<br>DÓLARES |
|------|---|------|------|----------------|----------------------|
| 1    | COLECTOR SOLAR<br>PLACA PLANA 12,51<br>m <sup>2</sup> | U    | 8    | 990,1          | 7.929,8              |
| 2    | ACEITE TÉRMICO,<br>ENVASE 25L                         | U    | 58   | 10,11          | 5.86,38              |
| 3    | TANQUE PARA<br>CONDENSADO, 1200L                      | U    | 1    | 2700           | 2700                 |
|      |   |      |      | <b>TOTAL</b>   | <b>11.216,18</b>     |

- No se cotizan tuberías asociadas al tanque, boquillas y accesorios

La forma de pago para estos ítems es:

- 70% de anticipo
- 30% a la entrega de los equipos

## 4. CONDICIONES DE LA OFERTA

- LUGAR DE ENTREGA DE PRODUCTOS: MANTA
- TIEMPO DE ENTREGA: 120 días
- FORMA DE PAGO: Indicadas

- VALIDEZ DE LA OFERTA: 30 días

## 5. CONSIDERACIONES

1. Ratificamos que los precios indicados no incluyen IVA.
2. No sobrepasar capacidad bajo ninguna circunstancia
3. No se incluye costo de montaje, instalación y puesta en marcha
4. No se incluye acometidas de ningún tipo (agua, luz) y obras civiles.
5. Los ensayos de equipos, de ser requeridos, correrán por cuenta del cliente.
6. JACOR, tiene la experiencia para entregar instalados los equipos solicitados
7. Para la fabricación y entrega de los equipos, se utiliza profesionales con experiencia comprobable.

Muy cordialmente

Ing. Diego Sánchez

**Anexo B:** Valores de los coeficientes de transferencia de calor total

| <i>Situación física</i>  | <i>U</i>                      |                       |
|--|-------------------------------|-----------------------|
|  | Btu/h · pie <sup>2</sup> · °F | W/m <sup>2</sup> · °C |
| Pared exterior de ladrillo, interior enyesado, sin aislante                          | 0.45                          | 2.55                  |
| Pared exterior de madera, interior enyesado: sin aislante                            | 0.25                          | 1.42                  |
| Ventana con vidrio plano   | 0.07                          | 0.4                   |
| Con fibra de vidrio como aislante  | 1.10                          | 6.2                   |
| Ventana con doble vidrio plano   | 0.40                          | 2.3                   |
| Condensador de vapor   | 200-1000                      | 1100-5600             |
| Calentador de alimentación de agua   | 200-1500                      | 1100-8500             |
| Condensador de freón 12 con enfriador de agua  | 50-150                        | 280-850               |
| Cambiador de calor agua a agua   | 150-300                       | 850-1700              |
| Cambiador de calor con tubería con aletas, agua en los tubos, aire a través de ellos | 5-10                          | 25-55                 |
| Cambiador de calor agua a aceite   | 20-60                         | 110-350               |
| Vapor a aceite combustible ligero  | 30-60                         | 170-340               |
| Vapor a aceite combustible pesado  | 10-30                         | 56-170                |
| Vapor a petróleo destilado o gasolina  | 50-200                        | 280-1140              |
| Cambiador de calor con tubería con aletas, vapor en los tubos y aire sobre ellos     | 5-50                          | 28-280                |
| Condensador de amoníaco, agua en los tubos   | 150-250                       | 850-1400              |
| Condensador de alcohol, agua en los tubos  | 45-120                        | 255-680               |
| Cambiador de calor gas a gas   | 2-8                           | 10-40                 |

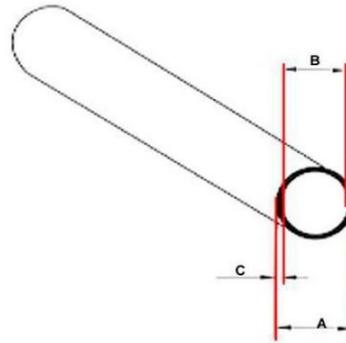
Anexo C: Hoja técnica Acero Inoxidable AISI 304.

**SERIE INDUSTRIAL SCH. 5S / 10S**

DIMENSIONES SEGÚN ANSI-B 36.19  
ASTM A-269 / A-312

**TUBOS CON COSTURA**

- Acero inoxidable AISI 304
- Con costura
- Normas ASTM A-269 / A-312
- ANSI-B 36.19
- Acabamiento mate

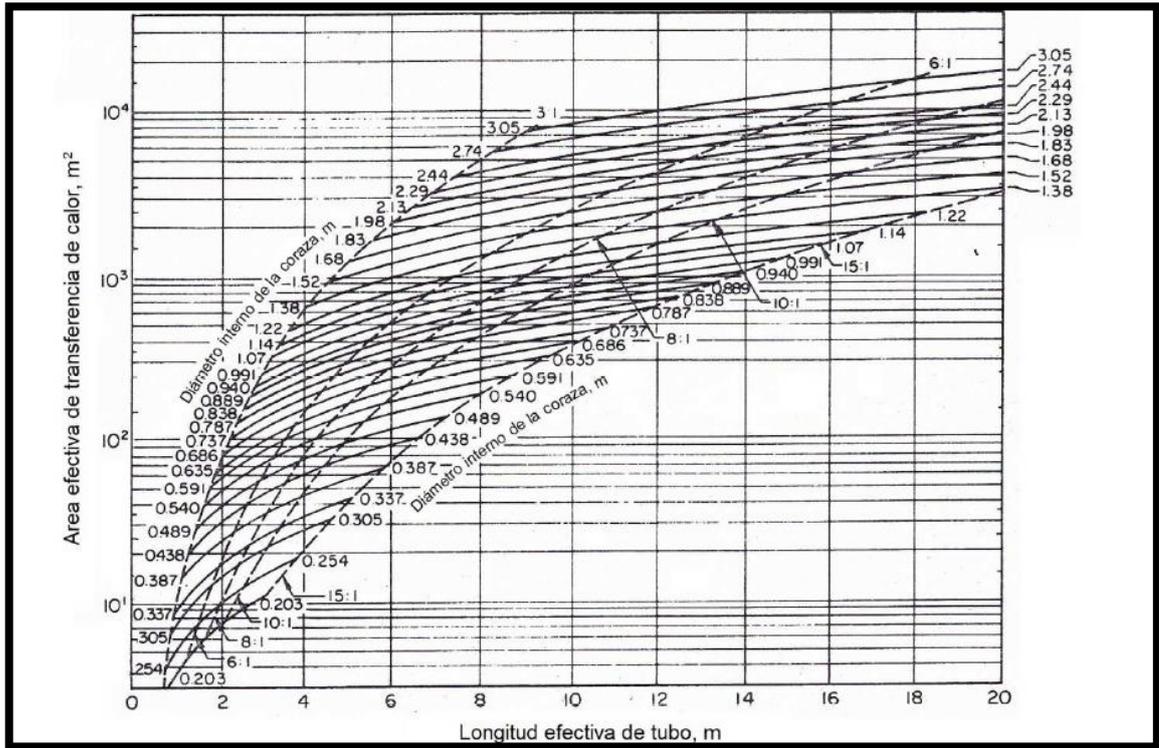


| DN<br>(Inch.) | SCHEDULE 5S             |                         |                                |             | SCHEDULE 10S            |                         |                                |                     |
|---------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|---------------------|
|               | Ø<br>Ext.<br>A<br>(mm.) | Ø<br>Int.<br>B<br>(mm.) | Espesor<br>Pared<br>C<br>(mm.) | Kg. / Metro | Ø<br>Ext.<br>A<br>(mm.) | Ø<br>Int.<br>B<br>(mm.) | Espesor<br>Pared<br>C<br>(mm.) | Peso<br>Kg. / Metro |
| 1/2"          | 21.30                   | 18.03                   | 1.65                           | 0.80        | 21.30                   | 17.12                   | 2.11                           | 1.00                |
| 3/4"          | 26.70                   | 23.37                   | 1.65                           | 1.03        | 26.70                   | 22.45                   | 2.11                           | 1.28                |
| 1"            | 33.40                   | 30.10                   | 1.65                           | 1.30        | 33.40                   | 27.86                   | 2.77                           | 2.08                |
| 1,1/2"        | 48.30                   | 44.96                   | 1.65                           | 1.91        | 48.30                   | 42.72                   | 2.77                           | 3.11                |
| 2"            | 60.30                   | 57.02                   | 1.65                           | 2.40        | 60.30                   | 54.78                   | 2.77                           | 3.93                |
| 3"            | 88.90                   | 84.68                   | 2.11                           | 4.51        | 88.90                   | 82.80                   | 3.05                           | 6.44                |
| 4"            | 114.30                  | 110.08                  | 2.11                           | 5.83        | 114.30                  | 108.20                  | 3.05                           | 8.32                |

Dirección: Avda. Eusebio Ayala N° 3747 Asunción - Paraguay  
Teléfonos: (595-21) 606-343 • Fax: (595-21) 606-012 • C.F.: 01910

[WWW.PROVINDUS.COM.PY](http://WWW.PROVINDUS.COM.PY)  
provindus@provindus.com.py

**Anexo D:** Diámetro de coraza y longitud efectiva de los tubos, en función de área efectiva de transferencia de calor.



## Anexo E: Hoja técnica del aceite térmico

# Aceite Térmico <sup>®</sup>

Envase de 25 Lts.



**Para el destilador y el recuperador de su máquina de seco.**

### Características físico-química

|   |                        |
|---|------------------------|
| Densidad a 15°C                                   | 0,880                  |
| Índice de acidez                                  | Neutro                 |
| Color ASTM D-1500                                 | 1,5                    |
| Viscosidad cinemática a 50°C                      | 22 cST                 |
| Punto de inflamación                              | 198°C                  |
| Punto de combustión                               | 223°C                  |
| Punto de niebla                                   | -40°C                  |
| Punto de congelación                              | -45°C                  |
| Cenizas   | Inapreciables          |
| Conductividad térmica a 30°                       | 0,117 KCAL/H m2 (°C/M) |
| Conductividad térmica a 200°C                     | 0,110 KCAL/H m2 (°C/M) |
| Temperatura máx. de trabajo en circuitos cerrados | 310°C                  |

### Propiedades

Aceite altamente refinado y completamente secado (exento de humedad). Es muy importante que los fluidos térmicos no contengan humedad, ya que, a la temperatura a que están sometidos, el agua se evapora bruscamente, produciendo bolsas de vapor y alteraciones en la instalación.

Los aceites para transporte térmico deben soportar altas temperaturas, con frecuencia durante mucho tiempo. Por ello sólo pueden hallar aplicación, para tal fin, aceites resistentes a la formación de lodos que se solidifican con el calor y se adhieren a los tubos conductores en forma de carbón endurecido, dificultando la circulación del aceite, evitando la correcta transmisión del calor y estropeando las tuberías.

Nuestro aceite térmico tiene elevada resistencia a la formación de lodos y no incorpora aditivos antioxidantes ó de cualquier otro tipo, ya que a la temperatura que estos aceites se utilizan, los aditivos se queman, quedando anulados en pocas horas de uso.

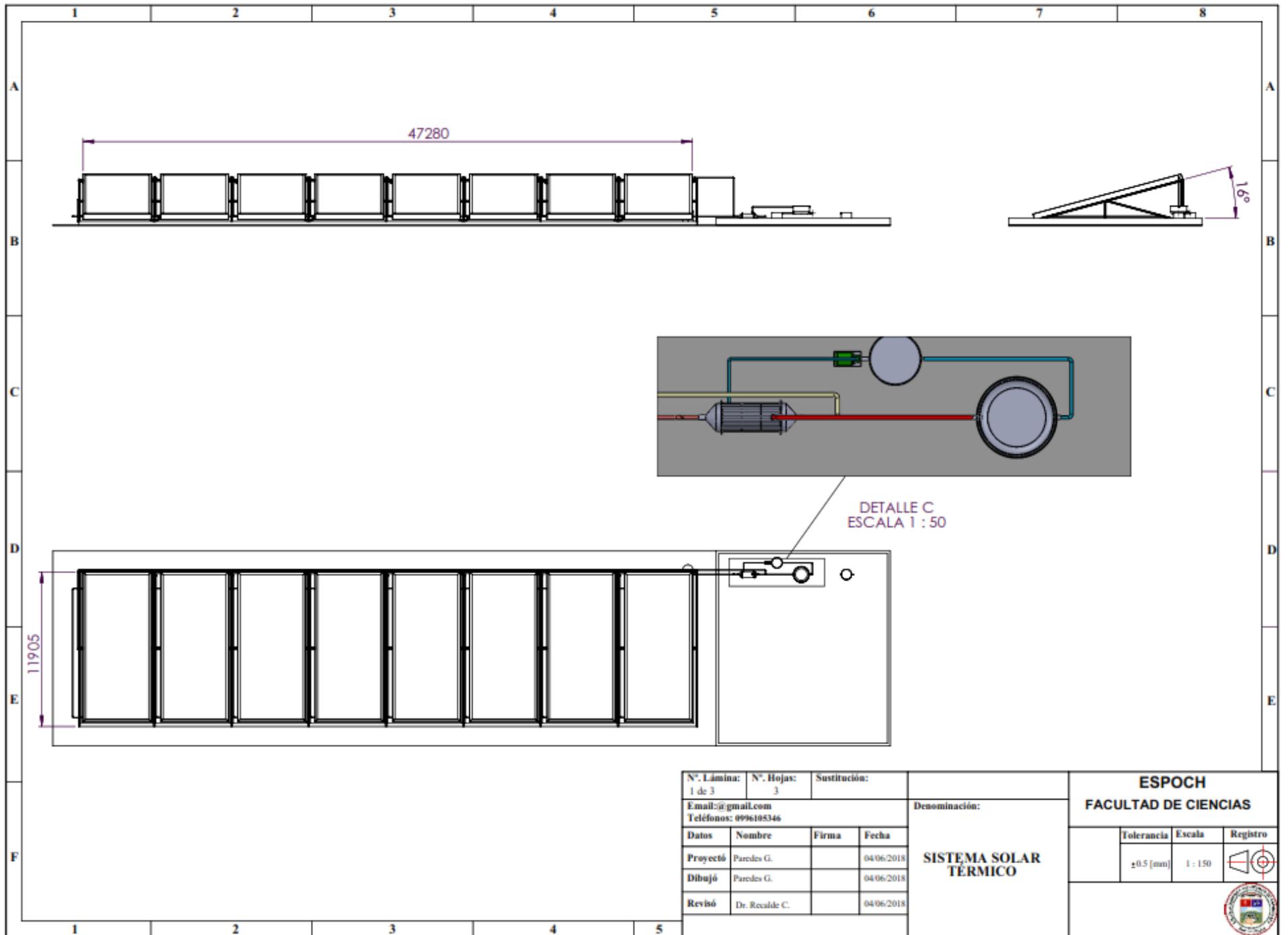
Nuestro aceite no hace humos y es de gran estabilidad química. Es ideal para los circuitos cerrados de resistencias, gran transmisor del calor, resistente a la oxidación y gran protector del óxido y la corrosión.

En algunos aceites de poca calidad con tendencia a la formación de lodos, se emplean aditivos cuya función es mantener los lodos en suspensión para que no se solidifiquen. Es conveniente revisar los niveles a menudo, y es necesario un cambio total de aceite cada doce meses.

Estas instrucciones se entienden a título informativo sin significar responsabilidad alguna por nuestra parte.



hogar tintorero, s.l. P.I. Pls d'en Coll -c/ Sagra, 16 -08110 Montcada i Reixac  
(Barcelona) Spain Telf. 93 575 22 20 Fax 93 575 33 54:  
<http://www.hogartintorero.com> - email: [hogar@hogartintorero.com](mailto:hogar@hogartintorero.com)



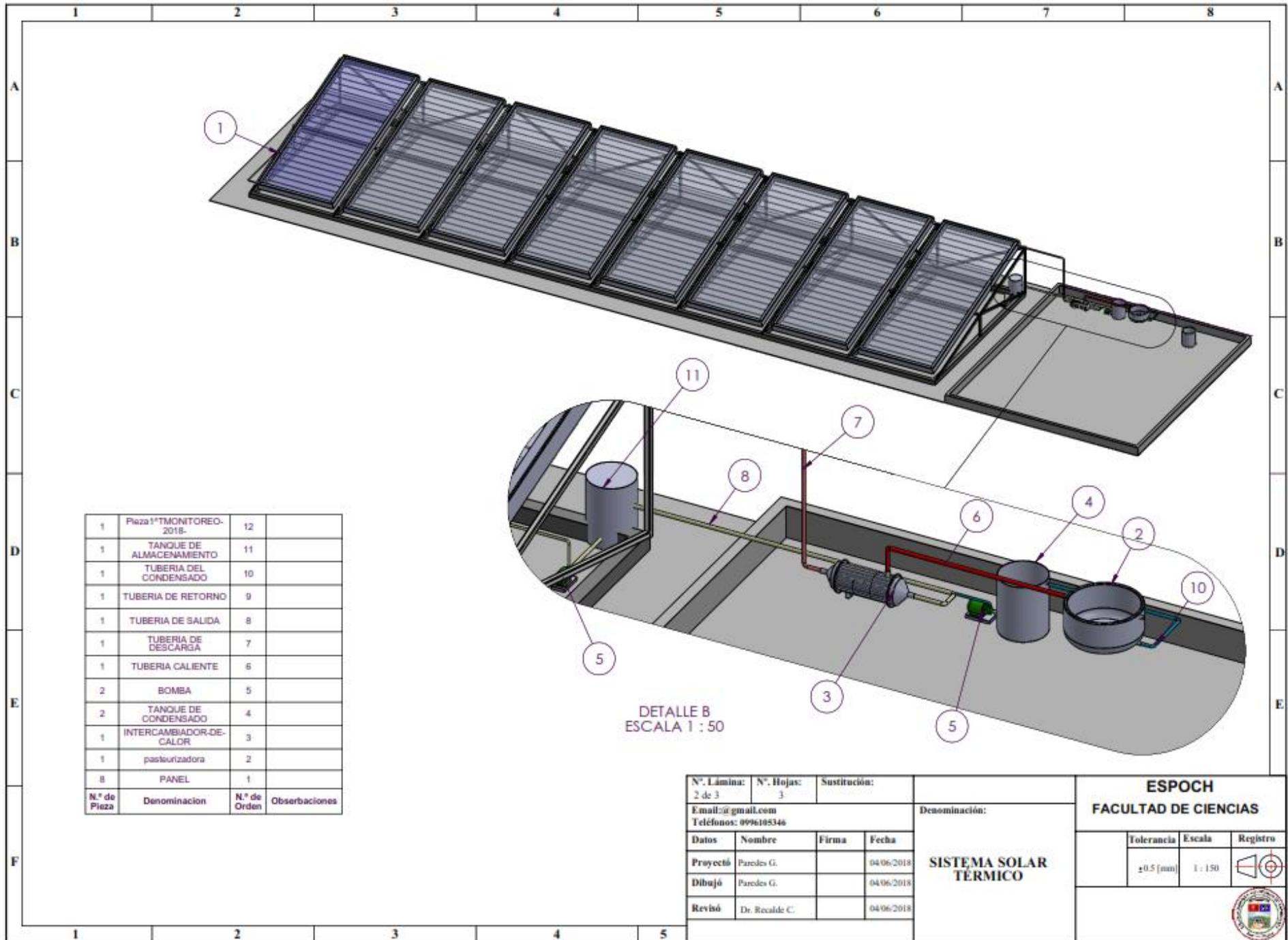
| N°. Lámina:<br>1 de 3 | N°. Hojas:<br>3 | Sustitución:          |            |
|-----------------------|-----------------|-----------------------|------------|
| Email: @gmail.com     |                 | Teléfonos: 0996105346 |            |
| Datos                 | Nombre          | Firma                 | Fecha      |
| Proyectó              | Paredes G.      |                       | 04/06/2018 |
| Dibujó                | Paredes G.      |                       | 04/06/2018 |
| Revisó                | Dr. Recalde C.  |                       | 04/06/2018 |

Denominación:  
**SISTEMA SOLAR  
TÉRMICO**

**ESPOCH  
FACULTAD DE CIENCIAS**

| Tolerancia | Escala  | Registro |
|------------|---------|----------|
| ±0.5 (mm)  | 1 : 150 |          |





|              |                                      |              |               |
|--------------|--------------------------------------|--------------|---------------|
| 1            | Pieza 1 <sup>o</sup> MONITOREO-2018- | 12           |               |
| 1            | TANQUE DE ALMACENAMIENTO             | 11           |               |
| 1            | TUBERIA DEL CONDENSADO               | 10           |               |
| 1            | TUBERIA DE RETORNO                   | 9            |               |
| 1            | TUBERIA DE SALIDA                    | 8            |               |
| 1            | TUBERIA DE DESCARGA                  | 7            |               |
| 1            | TUBERIA CALIENTE                     | 6            |               |
| 2            | BOMBA                                | 5            |               |
| 2            | TANQUE DE CONDENSADO                 | 4            |               |
| 1            | INTERCAMBIADOR DE CALOR              | 3            |               |
| 1            | pasteurizadora                       | 2            |               |
| 8            | PANEL                                | 1            |               |
| N.º de Pieza | Denominación                         | N.º de Orden | Observaciones |

DETALLE B  
ESCALA 1 : 50

|                       |                |                       |            |
|-----------------------|----------------|-----------------------|------------|
| N.º Lámina:           | N.º Hojas:     | Sustitución:          |            |
| 2 de 3                | 3              |                       |            |
| Email: a@gmail.com    |                | Denominación:         |            |
| Teléfonos: 0996105346 |                | SISTEMA SOLAR TÉRMICO |            |
| Datos                 | Nombre         | Firma                 | Fecha      |
| Proyectó              | Paredes G.     |                       | 04/06/2018 |
| Dibujó                | Paredes G.     |                       | 04/06/2018 |
| Revisó                | Dr. Recalde C. |                       | 04/06/2018 |

**ESPOCH**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**

| Tolerancia | Escala  | Registro |
|------------|---------|----------|
| ±0.5 [mm]  | 1 : 150 |          |

