



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

**TITULO:**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN SOLAR  
PARA LA CÁMARA DE SECADO EN LA EMPRESA DE  
CURTIEMBRE “EL AL-CE”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PRESENTADO PARA OPTAR  
EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**“INGENIERO QUÍMICO”**

**AUTOR:**

**JAVIER ANTONIO SALTOS AVALOS**

**TUTOR:**

**MARIO VILLACRÉS**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2016**

©2016, Javier Antonio Saltos Ávalos

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

El tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN SOLAR PARA LA CÁMARA DE SECADO EN LA EMPRESA DE CURTIEMBRE "EL AL-CE", de responsabilidad del Señor Javier Antonio Saltos Ávalos, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros de Tesis, quedando autorizada su presentación

Ing. Mario Villacrés

**DIRECTORA DEL TRABAJO**

**DE TITULACION**

\_\_\_\_\_

Ing. Hugo Calderón

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

Yo, Javier Antonio Saltos Ávalos soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**JAVIER ANTONIO SALTOS ÁVALOS**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo es dedicado a toda mi familia que me ha apoyado para la culminación de mis estudios, que sirva de ejemplo para mis generaciones que sigan su camino sin importar los obstáculos que se presenten en su camino.

**JAVIER**

## **AGRADECIMIENTO**

A todos los que han hecho posible la realización de este proyecto y especialmente a mi madre por brindarme el apoyo en toda mi carrera estudiantil; a la madre Dolorosa por guiarme por el camino del bien e iluminar mi vida para culminar esta meta.

**JAVIER**

## **DECLACION DE AUTENTICIDAD**

Yo, Javier Antonio Saltos Ávalos, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 17 de noviembre del 2016

Javier Antonio Saltos Ávalos

Cédula de identidad 0603380767

## RESUMEN

Diseño de un sistema de calefacción solar mediante el uso de un colector solar de placa plana bajo la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC-10, 1996). Se partió del proceso convencional que utilizaba la quema de gas licuado de petróleo (GLP), a fin de obtener las variables de temperatura, tiempo y humedades que definen su proceso y sustituirlas por otro medio de generación de calor sin perder las características físico - químicas que requiere un cuero seco. Se acopló el modelo solar en las instalaciones actuales donde ha dejado de funcionar un sistema de calefacción con generación de vapor, el cual hacía uso de un caldero. Su implementación partió de la construcción del colector solar con materiales de bajo costo y fácil construcción, un sistema de tuberías que traslade el fluido transportador, un tanque de almacenamiento donde se guarde el calor generado y un sistema de tuberías internas que se encuentran dentro de la cámara de secado. Se midió la eficiencia de transferencia de calor del sistema obteniendo un valor de 22°C para el proceso de secado utilizando energía solar, siendo menor a los 30°C requeridos por el sistema convencional convirtiéndolo en un proceso de secado lento. Haciendo uso de un fluido se midió la caracterización del cuero seco, donde la humedad luego del proceso de secado llega a 8,98% obteniendo una reducción de humedad del 43,87% en comparación con el sistema convencional que es del 52.75%. Se concluyó que reemplazando la energía solar por la energía con que funcionaba el sistema de secado anteriormente se obtiene un producto que conserva sus características físico – químicas. Se recomienda recubrir la cámara de secado con un aislamiento tanto en paredes como en el techo del mismo para que el sistema sea más eficiente y su vida útil no se vea afectada por las situaciones climáticas ni por su mal funcionamiento.

**PALABRAS CLAVE:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <ING. Y TEC. QUÍMICA>, <CUERO SECO>, <SISTEMA DE SECADO>, <TEMPERATURA>, <HUMEDAD>,<ENERGÍA SOLAR>.



## SUMMARY

Design of a solar heating system by the use of a flat plate solar collector under the Ecuadorian Construction Standard (NEC-10, 1996). It started from the conventional process that used liquefied petroleum gas (GLP) burning, in order to obtain the variables of temperature, time and humidity that define its process and replace them with another means of heat generation without losing the physical and chemical characteristics that dry leather requires. The solar model was coupled in the current installations where it has stopped working a heating system with steam generation, which made use of a cauldron. Its implementation started with the construction of the solar collector with materials of low cost and easy construction, a piping system that transports the transporting fluid, a storage tank where the generated heat and a system of internal pipes that are inside the drying chamber are stored. The heat transfer efficiency of the system was measured obtaining a value of 22° C for the drying process using solar energy, being less than. The 30° C required by the conventional system turning it into a process of slow drying. Using a fluid, the dry leather characterization was measured, where moisture after the drying process reaches 8.89%, obtaining a humidity reduction of 43.87% compared to the conventional system, which is 52.75%. It concluded that replacing the solar energy by the energy with which the drying system worked previously produces a product that retains its physical and chemical characteristics. It is recommended to coat the drying chamber with insulation in both walls and roof of the same to make the system more efficient and life is not affected by weather conditions or malfunction.

**KEYWORDS:** <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES >, < ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNIQUE>, <DRY LEATHER>, <DRYING SYSTEM>, <TEMPERATURE HUMIDITY>, <SOLAR ENERGY>

## INDICE GENERAL

<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
General.....	3
Específicos.....	3
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
<b>1 PROCESO DE CURTIEMBRE</b> .....	<b>5</b>
<b>1.1.1</b> Pre-tratamiento y Almacenamiento.....	<b>5</b>
<b>1.1.2</b> Ribera.....	<b>6</b>
<b>1.1.3</b> Proceso de Curtido.....	<b>7</b>
<b>1.1.4</b> Acabado.....	<b>7</b>
<b>1.1.5</b> <b>DIAGRAMA DEL PROCESO DE CURTIEMBRE</b> .....	<b>9</b>
<b>1.1.6.</b> <b>SECADO DEL CUERO</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1.6.1</b> <b>FACTORES QUE INFLUYEN EN EL SECADO</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1.6.2</b> <b>MODIFICACIONES DEL CUERO DURANTE EL SECADO.</b>	<b>14</b>
<b>1.2</b> <b>SISTEMAS DE SECADO</b> .....	<b>18</b>
<b>1.2.1</b> Cámaras de secado.....	<b>19</b>
<b>1.3</b> <b>SISTEMA DE CALEFACCION SOLAR</b> .....	<b>25</b>
<b>1.3.1</b> Recurso Solar en el Ecuador.....	<b>25</b>
<b>1.3.2</b> <b>TRANSFERENCIA DE CALOR</b> .....	<b>28</b>
<b>1.3.2.1</b> Transferencia de Calor por Conducción.....	<b>28</b>
<b>1.3.2.2</b> Transferencia de Calor por Convección.....	<b>29</b>
<b>1.3.2.3</b> Transferencia de Calor por Radiación.....	<b>31</b>
<b>1.3.3</b> <b>CALEFACCION SOLAR</b> .....	<b>31</b>
<b>1.3.3.1</b> El Colector Solar.....	<b>33</b>
<b>1.3.3.1.1</b> Tipos de colectores solares.....	<b>34</b>
<b>1.3.3.1.2</b> Colector de placa plana con cubierta.....	<b>34</b>
<b>1.3.3.2</b> Tanque de Almacenamiento Termosolar.....	<b>36</b>
<b>1.3.3.3</b> Sistemas de regulación y control.....	<b>37</b>
<b>1.3.3.4</b> Tuberías y Accesorios.....	<b>38</b>
<b>1.4</b> <b>DISEÑO DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN SOLAR</b> .....	<b>38</b>

<b>1.4.1</b>	<b>REQUERIMIENTO ENERGETICO</b> .....	<b>38</b>
1.4.1.1	Temperatura de Trabajo.....	38
1.4.1.2	Volumen de la Cámara de Secado.....	39
1.4.1.3	Determinación de Energía.....	41
1.4.1.4	Rendimiento Térmico del colector.....	41
<b>1.4.2</b>	<b>SELECCIÓN DE MATERIALES</b> .....	<b>42</b>
<b>1.4.3</b>	<b>Diseño del colector solar</b> .....	<b>44</b>
1.4.3.1	Diseño del Marco Colector.....	44
1.4.3.2	Selección del Material Aislante.....	47
1.4.3.3	Diseño de la Lámina Reflectante (Concentrador).....	48
1.4.3.4	Diseño de los Tubos Recolectores de Calor.....	50
1.4.3.5	Recubrimiento Interior del Colector.....	52
1.4.3.6	Selección de la Cubierta.....	52
1.4.3.7	Estructura de Soporte del Colector.....	54
1.4.3.8	Cálculo del Volumen del Colector.....	54
<b>1.4.4</b>	<b>SISTEMA DE ACUMULACION TERMOTANQUE</b> .....	<b>55</b>
<b>1.4.5</b>	<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b> .....	<b>57</b>
1.4.5.1	Trazado del Sistema de Tubería.....	58
1.4.5.2	Trazado hidráulico del circuito.....	58
1.4.5.2.1	Caudales del Sistema Hidráulico.....	59
1.4.5.2.1.1	Circuito primario.....	59
1.4.5.2.1.2	Circuito secundario.....	61
1.4.5.3	Cálculo de diámetros de tuberías y pérdidas de carga....	61
1.4.5.4	Cálculo del Espesor para Aislamiento de tuberías.....	63
1.4.5.5	Selección y montaje del aislamiento.....	64
<b>1.4.5.6</b>	<b>SISTEMA DE RECIRCULACION</b> .....	<b>65</b>
1.4.5.6.1	Bomba.....	65
1.4.5.6.2	Válvulas.....	66
1.4.5.6.3	Sistema de Medida.....	67
<b>1.4.6</b>	<b>SISTEMA DE APOYO</b> .....	<b>69</b>
<b>1.4.7</b>	<b>DETERMINACION Y ANALISIS DEL FLUIDO CALOPORTADOR</b> .....	<b>69</b>

1.4.8	<b>SISTEMA DE INTERCAMBIO DE CALOR.....</b>	<b>70</b>
1.4.9	<b>SISTEMA ELECTRICO Y DE CONTROL.....</b>	<b>72</b>
1.4.9.1	Equipo de control.....	72
1.4.9.2	Sistema de Monitorización.....	73
2.	<b>PARTE EXPERIMENTAL.....</b>	<b>76</b>
2.1	<b>VARIABLES PARA LA CARACTERIZACION DE CUERO..</b>	<b>76</b>
2.1.1	Determinación de Humedad.....	77
2.2	<b>ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE CALEFACCION.....</b>	<b>77</b>
2.1.1	Determinación de la Temperatura de Secado.....	78
2.1.2	Determinación de la Humedad del Cuero.....	79
2.1.3	Identificación de las variables de proceso en el sistema de secado convencional.....	80
3.	<b>CALCULOS.....</b>	<b>82</b>
3.1	Cálculos de Ingeniería.....	82
3.1.1	Cálculo del Requerimiento Energético.....	82
3.1.2	Calculo del rendimiento de colector solar.....	82
3.1.3	Calculo de la eficiencia del Intercambiador.....	83
3.1.4	Calculo de potencia de diseño.....	83
3.2	Calculo del dimensionamiento y/ o capacidad del proceso.....	83
3.2.1	Dimensionamiento.....	83
3.2.2	Cálculo de la Capacidad del Sistema.....	86
3.2.2.1	Volumen de la Cámara de Secado.....	86
3.2.2.2	Sistema de Tuberías.....	87
3.2.2.2.1	Calculo del Diámetro de Tuberías.....	88
3.2.2.2.2	Calculo de la perdida de cargas por tuberías.....	88
3.2.2.3	Capacidad y/ Volumen Total del Sistema.....	89
3.3	Tipos de Materiales y Sistemas de Control.....	89
3.4	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>90</b>
3.4.1	Temperatura de Secado.....	90
3.4.2	Humedad del Cuero.....	91
3.4.3	Resultados Obtenidos de la Cámara de Secado.....	93

3.4.4	Validación del Sistema.....	93
3.4.4.1	Potencia de la Bomba.....	96
3.4.4.2	Temperatura Alcanzada por el Sistema.....	96
3.4.4.3	Datos de Temperatura Vs Tiempo del Sistema de Secado.....	97
3.4.4.4	Humedad de cuero obtenido .....	98
3.4.4.5	Calor generado y perdido .....	98
3.4.4.6	Caracterización del Producto Final Obtenido.....	99
3.5	<b>PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE CALEFACCION SOLAR.....</b>	<b>100</b>
3.6	<b>ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.....</b>	<b>103</b>
4.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>106</b>
4.1	Conclusiones.....	106
4.2	Recomendaciones.....	107
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>108</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>109</b>

## INDICE CUADROS

<b>Cuadro 1:</b>	Generalidades y métodos para la selección de materiales..	<b>43</b>
<b>Cuadro 2:</b>	Tipo de fluidos calo portador.....	<b>70</b>
<b>Cuadro 3:</b>	Tipo de variables a determinarse en el producto final.....	<b>76</b>
<b>Cuadro 4:</b>	Identificación de las variables.....	<b>80</b>
<b>Cuadro 5:</b>	Características del Producto Final Obtenido – Cuero Seco..	<b>99</b>

## INDICE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Comportamiento típico de variación de temperatura de secado.....	<b>39</b>
<b>Figura 2.</b>	Estructura de la cámara de secado.....	<b>40</b>
<b>Figura 3:</b>	Esquema del marco estructural del colector (vista tridimensional).....	<b>45</b>
<b>Figura 4:</b>	Esquema de los tirantillos para el armado del marco.....	<b>46</b>
<b>Figura 5:</b>	Esquema de la estructura de la carcasa armada.....	<b>47</b>
<b>Figura 6:</b>	Influencia del caudal en el rendimiento global.....	<b>60</b>
<b>Figura 7:</b>	Perdida de carga de un colector solar en función del caudal másico.....	<b>60</b>
<b>Figura 8:</b>	Curvas de funcionamiento de bombas de circulación.....	<b>65</b>
<b>Figura 9:</b>	Dimensiones de la Cámara de Secado.....	<b>77</b>
<b>Figura 10:</b>	Sistema de tubos aletados en su interior.....	<b>78</b>
<b>Figura 11:</b>	Dimensiones de la Cámara de Secado.....	<b>86</b>
<b>Figura 12:</b>	Esquema del Sistema de Calefacción Solar - Cámara de Secado.....	<b>87</b>

## INDICE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1:</b>	Esquema de un secado de túnel.....	<b>20</b>
<b>Gráfico 2:</b>	Sistema de secado en un sistema pasting.....	<b>21</b>
<b>Gráfico 3:</b>	Clavado de pieles para un secado en toggling.....	<b>23</b>
<b>Gráfico 4:</b>	Esquema de un secado en toggling.....	<b>23</b>
<b>Gráfico 5:</b>	Esquema de un Sistema de Calefacción Solar Industrial..	<b>32</b>
<b>Gráfico 6:</b>	Colector de placa plana con cubierta.....	<b>34</b>
<b>Gráfico 7:</b>	Componentes del colector de placa plana con cubierta....	<b>36</b>
<b>Gráfico 8:</b>	Esquema de un Sistema de almacenamiento térmico.....	<b>37</b>
<b>Gráfico 9:</b>	Concentrador parabólico.....	<b>49</b>
<b>Gráfico 10:</b>	Sistema de tubos en vertical.....	<b>51</b>
<b>Gráfico 11:</b>	Detalle del efecto de la luz solar sobre la cubierta.....	<b>53</b>
<b>Gráfico 12:</b>	Esquema del sistema de tubería interna del colector.....	<b>54</b>
<b>Gráfico 13:</b>	Diseño del Sistema de Tuberías para el Transporte del Fluido.....	<b>58</b>
<b>Gráficos 14:</b>	Modelos de sistema de control.....	<b>72</b>
<b>Gráfico 15 :</b>	Variación de la temperatura en el proceso de sacado convencional.....	<b>91</b>
<b>Gráfico 16:</b>	Variación de la temperatura en el proceso de Sacado Solar .....	<b>97</b>



## INDICE TABLAS

<b>Tabla 1:</b>	Valores de punto isoeléctrico en etapas del cuero.....	<b>17</b>
<b>Tabla 2:</b>	Zonas del Ecuador Según Irradiación Solar.....	<b>26</b>
<b>Tabla 3:</b>	Valores promedio de irradiación solar de ciertas zonas Ecuador.....	<b>27</b>
<b>Tabla 4:</b>	Conductividades térmicas de diferentes materiales.....	<b>29</b>
<b>Tabla 5:</b>	Valores aproximados de coeficientes de transferencia de calor por convección.....	<b>30</b>
<b>Tabla 6:</b>	Promedios mensuales de la radiación solar media.....	<b>31</b>
<b>Tabla 7:</b>	Transformación a longitud (mm) en función del espesor.....	<b>62</b>
<b>Tabla 8:</b>	Características recomendadas de sistemas auxiliares de energía.....	<b>69</b>
<b>Tabla 9:</b>	Consideraciones necesarias para secado del cuero.....	<b>83</b>
<b>Tabla 10:</b>	Consideraciones necesarias para secado del cuero.....	<b>84</b>
<b>Tabla 11:</b>	Consideraciones necesarias para el Tanque.....	<b>84</b>
<b>Tabla 12:</b>	Consideraciones necesarias para los Intercambiadores.....	<b>85</b>
<b>Tabla 13:</b>	Consideraciones necesarias para recirculación - Bomba.....	<b>85</b>
<b>Tabla 14:</b>	Calculo del Diámetro de Tuberías.....	<b>88</b>
<b>Tabla 15:</b>	Calculo del Diámetro de Tuberías.....	<b>88</b>
<b>Tabla 16:</b>	Volumen de los Componentes en el Sistema de Calefacción..	<b>89</b>
<b>Tabla 17:</b>	Tipos de Materiales y Sistemas de Control.....	<b>90</b>
<b>Tabla 18:</b>	Datos Experimentales Obtenidos en el Proceso de Secado.....	<b>91</b>
<b>Tabla 19:</b>	Humedades del cuero a la entrada del secador.....	<b>92</b>
<b>Tabla 20:</b>	Humedades del cuero a la salida del secador.....	<b>92</b>
<b>Tabla 21:</b>	Resultados obtenidos de la cámara de Secado.....	<b>93</b>
<b>Tabla 22:</b>	Datos técnicos del Colector Solar.....	<b>94</b>
<b>Tabla 23:</b>	Datos técnicos del Tanque de Almacenamiento.....	<b>94</b>
<b>Tabla 24:</b>	Datos técnicos de los Intercambiadores de calor.....	<b>95</b>
<b>Tabla 25:</b>	Datos técnicos del Sistema de Tuberías.....	<b>95</b>
<b>Tabla 26:</b>	Resultados de la potencia de la bomba.....	<b>96</b>

<b>Tabla 27:</b>	Datos de temperatura del sistema de calefacción solar.....	<b>96</b>
<b>Tabla 28:</b>	Datos de temperatura Vs tiempo (Cámara de Secado).....	<b>97</b>
<b>Tabla 29:</b>	Humedades del cuero obtenido.....	<b>98</b>
<b>Tabla 30:</b>	Cantidad de Calor Generada por el Sistema.....	<b>98</b>
<b>Tabla 31:</b>	Requerimiento económico para la construcción del colector solar.....	<b>100</b>
<b>Tabla 32:</b>	Requerimiento Económico para la Instalación del Sistema.....	<b>102</b>

## INTRODUCCION

"**EI ALCE**" es una empresa donde se produce y elabora diferentes artículos de cuero. Nace en marzo de 1988 por iniciativa de su propietario, con ensayos tipo piloto en curtiembre. En 1991 arranca con el proceso de curtición de pieles de res y al mismo tiempo a confeccionar ropa de cuero; inicia el proceso industrial con la piel como materia prima fundamental, para obtener el cuero como producto terminado.

La fábrica está ubicada en la provincia de Chimborazo, cantón Guano, se encuentra a 2666 msnm, con sus coordenadas geográficas de latitud 1°36'28"S y 78°37'51"O; esta exactamente a la entrada a este cantón a 250 m. de la carretera principal.

Cuenta con un espacio físico amplio, dotado de los todos los servicios básicos: energía eléctrica trifásica, alcantarillado, teléfono, agua potable y una excelente vía de acceso, además dispone de un almacén amplio de distribución ubicado dentro de la misma fábrica, un segundo local en el parque central del mismo cantón y un tercer local en el C. C. El Recreo en la ciudad de Quito.

Tiene una estructura organizada y definida, dividida en áreas funcionales que cuenta con un número de trabajadores de 4 en planta y 16 personas que trabajan fuera en el área de la confección de sus diferentes artículos de cuero y en ventas.

El presente trabajo es el desarrollo de un sistema de calefacción para obtener temperatura en la cámara de secado para el cuero que viene del proceso de abatanado; la presente cámara de secado que se encuentra funcionando es de estructura metálica permite la disminución del grado de humedad presente del cuero para que este cumpla con las especificaciones finales del producto para su etapa subsiguiente como es el corte y la confección.

Actualmente para la obtención de temperatura se utiliza la combustión de gas doméstico (GLP), el cual a pesar de no causar contaminación alguna por tratarse

de una reacción completa; tiene muchos inconvenientes los cuales será necesario cambiar su modo de generación con una energía alternativa como es la energía solar.

Para el diseño de este sistema de calefacción se enfoca en la conversión de la energía solar a una energía térmica como suministro de calor mediante la utilización de un proceso esencial el cual es la transferencia de calor, mediante la utilización de diferentes materiales, los cuales serán determinados y analizados para establecer los más idóneos para la realización de esta actividad.

Para sustituir con este nuevo sistema de calefacción serán necesarias algunas adecuaciones a la cámara de secado existente para que se ajuste a las necesidades establecidas por los cálculos generados en la estructura de elementos de ajuste para el funcionamiento en el proceso de secado.

El producto final “cuero” tendrá que cumplir con las especificaciones de calidad establecidas y que conserve las propiedades semejantes para su uso, las cuales se conserven sus características que se necesitan para su etapa posterior; estos diferentes análisis se trabajara de manera individual para obtener los criterios de diseño para el cual se tomara en cuenta variables como son tiempo, temperatura, velocidad del aire entre los principales a considerar.

## **OBJETIVOS:**

### **General**

- Diseñar un sistema de calefacción solar para la cámara de secado mediante la utilización de energía solar para la industria curtiembre.

### **Específicos**

- ❖ Realizar un Simulador de Proceso en la cámara de secado existente cuando este se encuentre en funcionamiento.
- ❖ Identificar las Variables Operacionales en las que se fundamentara el diseño del equipo.
- ❖ Realizar el Diseño de Ingeniería del Sistema de Calefacción (Cálculos Técnicos, Capacidad del Sistema, Tipo de Materiales y Fluido, Presupuesto) para la cámara de secado.
- ❖ Validar el diseño del sistema de calefacción propuesto a escala de laboratorio.

# **CAPITULO I**

## **MARCO TEORICO**

### **1 PROCESO DE CURTIEMBRE**

La Curtiembre es el proceso mediante el cual se convierten las pieles de los animales, especialmente de bovinos y ovinos en cuero. La piel se divide en tres capas: carne, dermis y epidermis. La epidermis y la dermis constituyen la porción aprovechable para la manufactura del cuero a partir de las pieles.

Estas dos capas consisten, fundamentalmente, de la proteína colágeno, una vez que se han removido las proteínas indeseables. El cuero es el resultado de la reacción de las fibras de colágeno con el tanino, cromo, aluminio, u otros agentes del curtido.

Los procesos más importantes para convertir una piel en cuero, se efectúa en medios acuosos; en general, las principales etapas de procesos industriales involucrados en la curtiembre son: Pre-tratamiento y Almacenamiento, Ribera, Curtido y Acabado.

#### **1.1.1 Pre-tratamiento y Almacenamiento**

El procesamiento de las diferentes pieles empieza poco después del sacrificio del animal, pero en muchos casos se almacenan las pieles por tiempo prolongado. Cuando ellas son almacenadas, deben recibir un tratamiento para impedir el desarrollo de microorganismos con la consecuente putrefacción de las mismas; una vez que los cueros son trasladados a la curtiembre, son almacenados en el saladero hasta que llega el momento de procesarlos.

### 1.1.2 Ribera

El objetivo de la ribera es limpiar y preparar la piel para facilitar la etapa de curtido. Las operaciones comunes a la mayoría de las pieles, independientemente del proceso de curtido posterior o al tipo de producto son: Remojo, Pelambre, Descarnado y Dividido.

- **Remojo:** el objeto de esta operación es rehidratar los cueros; el remojo puede efectuarse en pieles frescas, frescas saladas y secas saladas. Los cueros verdes se lavan simplemente para quitar la sangre y materias orgánicas adheridas al pelo; la operación dura de 6 a 24 horas.
- **Pelambre:** esta operación que es fuertemente dependiente de la temperatura se realiza para hinchar la epidermis, retirar el pelo del cuero, saponificar las grasas naturales y entumecer las fibras para facilitar el efecto del curtido.
- **Descarne:** esta operación involucra la remoción de los tejidos adiposos, subcutáneos, musculares y el sebo adherido a la cara interna de la piel, para permitir una penetración más fácil de los productos curtientes.
- **Dividido:** esta operación consiste en dividir en dos capas la piel hinchada y depilada separando la flor de la carnaza que es parte de la piel que está en contacto con la carne.



### 1.1.3 Proceso de Curtido

El proceso de curtido incluirá otros procesos dependiendo a las características a conseguir, los cuales son: Desencalado y Piquelado.

- ✓ **Desencalado:** Es la preparación de las pieles para la curtición, mediante lavados con agua limpia, tratando de reducir la alcalinidad y removiendo los residuos de cal y sulfuro de sodio.
  
- ✓ **Piquelado:** Se realiza en los tambores rotativos; comprende la preparación química de la piel para el proceso de curtido

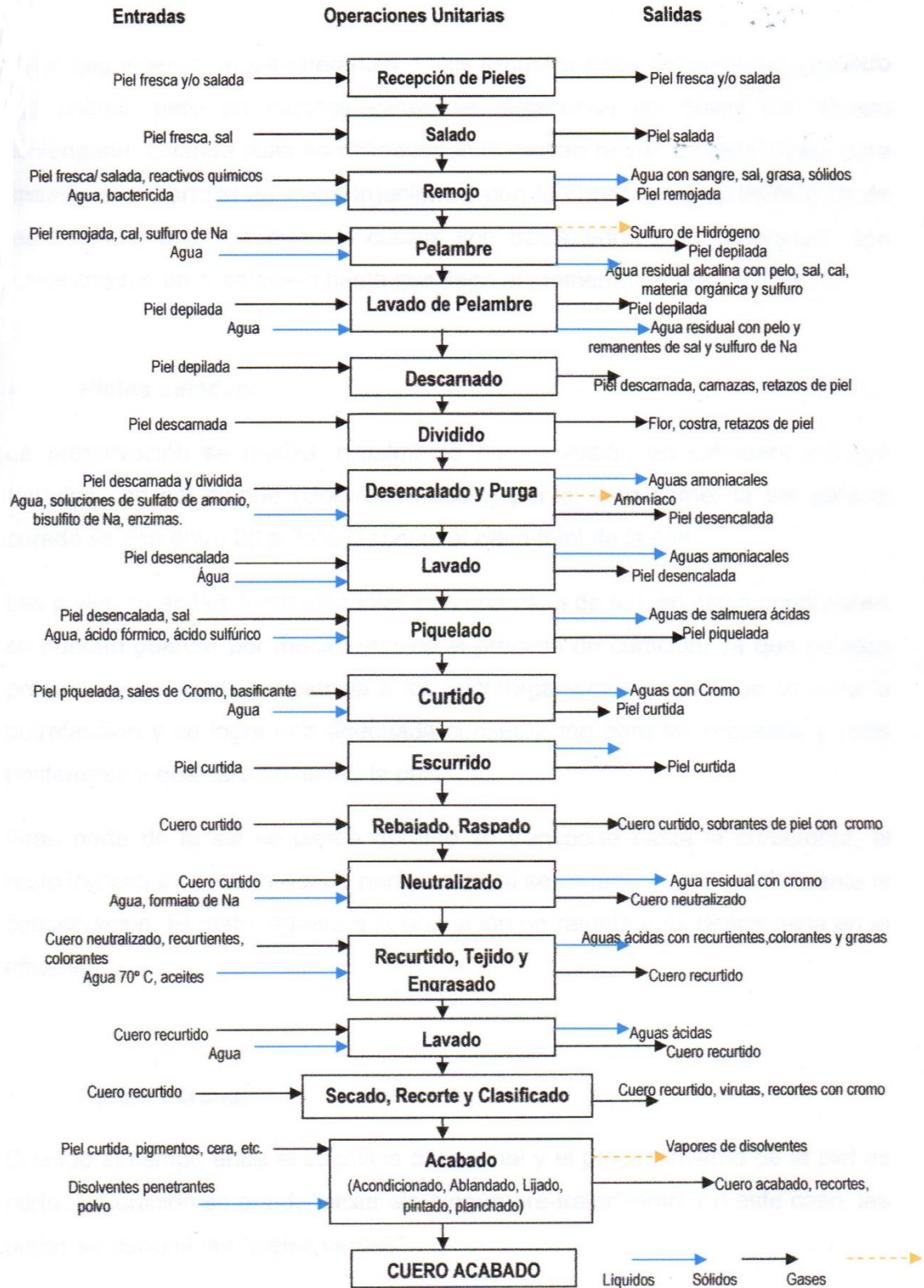
### 1.1.4 Acabado

Comprende operaciones que se efectúan después del curtido estas son: Prensado, Rebajado, Neutralizado, Recurtido, Teñido, Engrasado, Secado y Estirado; existiendo diferencia en cada una de ellas según el tipo de producto que se vaya a obtener.

- **Prensado:** después del curtido, se realiza un prensado del cuero (llamado escurrido), para retirar la humedad, estirar las partes arrugadas y mantener un espesor uniforme del mismo.
  
- **Rebajado:** los cueros se raspan y se rebajan en las mismas maquinas; este procedimiento le da al cuero un espesor uniforme y lo deja en la medida deseada.

- **Neutralizado:** estas operaciones se realizan de manera consecutiva, cambiando solamente composición de los baños después de descartar el baño anterior. El baño de neutralización se realiza con agua, formiato de calcio, carbonato o bicarbonato de calcio.
  
- **Recurtido:** se recibe un segundo curtimiento, que puede ser al cromo o al tanino vegetal o sintético; cuando este segundo curtido es realizado luego del primero, se llama "curtido combinado", su práctica sirve para reducir cromo en el efluente.
  
- **Teñido:** se realiza en un baño que contiene agua, colorantes (natural, artificial o sintético) y ácido fórmico.
  
- **Engrasado:** consiste en impregnar al cuero grasas o aceites animales, sustancias que se depositan en las fibras del cuero donde son fijadas; esto evita el cuarteamiento del cuero, volviéndose suave, doblable, fuerte, flexible y resistente.
  
- **Secado:** se realiza luego del teñido; los procesos usados para realizar esta operación son: secados al vacío, secado en secotérmicas, empastado o pasting, templado en marcos, toggling, entre otros.
  
- **Estirado:** son sometidos a una etapa de estiramiento para recuperar algo del área perdida por su encogimiento durante los procesos en húmedo y esta técnica no solo se utiliza para ganar área sino también para conferir un tacto parejo ya que por su constitución las faldas son suaves, el cogote duro y se quiere que todo el cuero obtenga la misma suavidad.

### 1.1.5 DIAGRAMA DEL PROCESO DE CURTIEMBRE



### 1.1.6 SECADO DEL CUERO

Adzet, J (2005) El cuero se halla impregnado con por lo que pesa el triple de lo que pesa estando seco y el secado consiste en evaporar gran parte del agua que contiene hasta reducir su contenido al 14% aproximadamente.

Antiguamente para secar las pieles se las colgaba al aire y si se necesitaba acelerar el proceso por motivos de condiciones ambientales demasiado húmedas, se utilizaba aire caliente en diversos tipos de secadero.

El cuero húmedo, se seca utilizando diferentes técnicas que deben contribuir a obtener un mayor rendimiento superficial; se considera una operación simple, tanto al aire como en máquina y aparentemente no influiría en las características del cuero terminado, pero esto no es así.

El secado es algo más que la simple eliminación de la humedad para permitir la utilización práctica del cuero, pues también contribuye a la producción de las reacciones químicas que intervienen en la fabricación del cuero, por lo que constituye uno de los pasos más importantes en la calidad del cuero.

Durante la operación de secado y dependiendo del tipo de sistema que se utilice se producen migraciones de diversos productos, formación de enlaces, modificación del punto isoeléctrico, etc., es decir que ocurren modificaciones importantes.

En relación al agua que contiene el cuero se puede decir que se encuentra unida a él de cuatro formas distintas desde el punto de vista físico.

#### **a) Absorbida molecularmente:**

Esta agua se encuentra unida al colágeno a través de puentes de hidrógeno en diferentes puntos y proporciones diferenciándose los siguientes:

- De 1-2% de agua (0.01-0.02 g agua/g colágeno); enlazada dentro de la triple hélice del colágeno a través de tres puentes de hidrógeno que se establecen con los grupos hidroxilo (OH-) de la hidroxiprolina. Esta agua está unida a la molécula de la proteína, permaneciendo dentro de ella aún en condiciones estándar de secado, con temperaturas de 105°C. Esta agua no se congela.
- De 6,5 % de agua (0.07 g agua/g colágeno); enlazada al colágeno por dos puentes de hidrógeno. Esta agua tampoco se congela.
- De 6,5-20 % de agua (0.07-0.25 g agua/g colágeno); enlazada a la proteína del colágeno a través de dos puentes de hidrógeno. Esta agua se congela por debajo de los - 93°C.

**b) Enlazada molecularmente:**

Esta agua también se encuentra unida a la proteína del colágeno, en los grupos funcionales de las cadenas laterales y en los enlaces peptídicos a través de un puente de hidrógeno. El agua unida así se congela a - 7°C. Su cantidad se estima en 20-30 % (0.25-0.50 g agua/g colágeno).

**c) Atrapada en los espacios capilares:**

A un contenido de humedad entre 30,40-55 % los espacios interfibrilares están llenos con agua débilmente unida.

**d) Agua libre (incluyendo la que está en los capilares):**

Como agua libre puede considerarse tanto el agua atrapada en los espacios capilares mencionada anteriormente, como, la que sin estar en los capilares sigue estando en el cuero. El agua libre puede decirse que se encuentra en el cuero enlazada muy débilmente en una cantidad de 30 - 66.66 % (0.50-2.0 g agua/g colágeno) de la cual la que no se encuentra en los capilares y queda

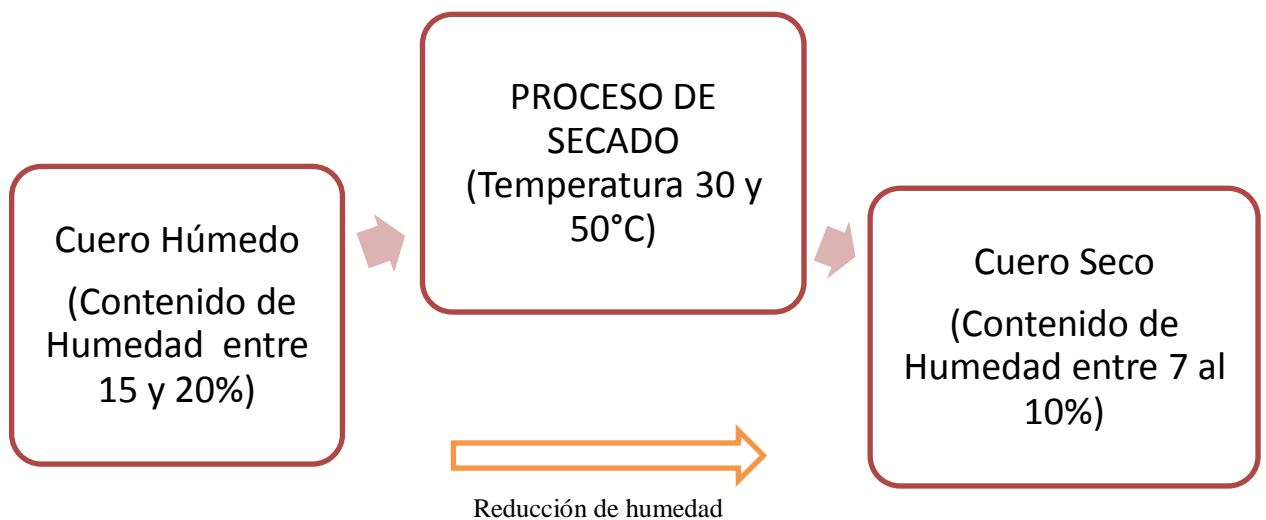
comprendida entre 55-66.66 %, puede eliminarse fácilmente por medios mecánicos.

**e) Agua libre (incluyendo la que está en los capilares):**

Como agua libre puede considerarse tanto el agua atrapada en los espacios capilares mencionada anteriormente, como, la que sin estar en los capilares sigue estando en el cuero. El agua libre puede decirse que se encuentra en el cuero enlazada muy débilmente en una cantidad de 30-66.66 % (0.50-2.0 g agua/g colágeno) de la cual la que no se encuentra en los capilares y queda comprendida entre 55-66.66 %, puede eliminarse fácilmente por medios mecánicos.

Esta operación se realiza luego del teñido; los procesos usados para realizar esta operación son: secados al vacío, secado en secotérmicas, empastado o pasting y secado por templado en marcos.

**DIAGRAMA DEL PROCESO DE SECADO**



### 1.1.6.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL SECADO

Hidalgo, L (2004) Señala que los factores que influyen en el secado del cuero son:

a) **Sustrato cuero:**

Cuanto mayor es el espesor más lento es el secado.

Cueros curtidos al cromo: 60-90°C

Cueros curtidos al tanino: 35-50°C

b) **Temperatura:**

La temperatura no es más que una sensación térmica producida por el cambio de calor entre dos sistemas.

c) **Equilibrios higroscópicos del cuero:**

Cotance, A. (2004) Menciona que los sólidos que contienen agua pueden comportarse como húmedos o higroscópico. Se llama solido húmedo aquel cuerpo donde el agua no se encuentra ligada de forma alguna al cuerpo sólido.

El sólido higroscópico por el contrario presenta una tensión de vapor de agua menor que la del agua a la misma temperatura debido a que esta agua se encuentra fuertemente ligada al solido por enlaces químicos la presión del vapor de agua de un cuerpo higroscópico depende de la temperatura, la naturaleza del cuerpo, el estado de la superficie y de la cantidad de agua que contiene.

El cuero es una sustancia hidroscoptica cuyo contenido de humedad en equilibrio vendrá determinado por la humedad relativa del aire en contacto con él. Una temperatura de 20°C y con una humedad relativa de 100% una vez se ha alcanzado el equilibrio encontraremos en el cuero una humedad aproximada del 30%. Si sumergimos el cuero seco en agua durante 24 horas. Mas el cuero

aceptara 100% o más de agua, la cual pueda eliminarse parcialmente al aplicarle presión pero no de forma completa.

Fernández, O (2001) Esto es lo que ocurre en el secado de los cueros, o sea, un sistema para que este cambie calor con el cuero produciendo la evaporación de agua. Si la temperatura solo produjese el efecto de evaporar el agua del cuero, la operación del secado sería muy simple pues bastaría con controlar la temperatura con un termómetro y estaríamos secando correctamente.

Pero sabemos que el cuero es el resultado del entrelazamiento de millares de grupos de fibras que tanto en su interior como en el exterior tienen agua por lo tanto es fácil imaginar que algo irá a ocurrir cuando evaporemos el agua.

Evaporando el agua superficial se sucederá una acomodación en los grupos de fibras en el espacio dejado por el agua.

Evaporando el agua de los capilares ocurrirá una retracción fibrilar resultando un cuero rígido en ciertas áreas. Cuando comienzan a surgir formas de retracción en el cuero ya está relativamente seco (20% de humedad). No quiere decir que antes de ese valor no ocurra retracción, apenas a partir de ahí ella es más intensa. Esto se explica por el hecho de que para retirar agua de los capilares necesitamos de grandes cantidades de calor.

#### **1.1.6.2 MODIFICACIONES DEL CUERO DURANTE EL SECADO**

Libreros, J. (2003) Durante el secado se producen cambios físicos y químicos como la reducción del contenido de humedad del cuero y la contracción de su superficie, además de las migraciones de las materias solubles, se modifica el punto isoeléctrico del cuero y se forman diversos tipos de enlaces entre fibras y productos.



- **Reducción del contenido de agua:**

<http://www.italianleathergroup.it.com>.(2013). El contenido de agua de un material húmedo se puede expresar sobre el peso real que es la suma de la materia seca más el agua. En las operaciones de secado como el material pierde agua el peso del total varía y no es un valor adecuado para basar en él el cálculo.

Como base constante, para el cálculo del contenido de humedad debe tomarse la cantidad de materia seca, la cual es siempre la misma durante toda la operación de secado y nos permitirá realizar cálculos más simples y efectivos.

- **Contracción de la superficie:**

<http://www.buenastareas.com>.(2013). Al secar el cuero al aire colgado libremente se produce contracción de la superficie, se encoge, se arquea, se endurece y queda con el poro basto. Para que el cuero quede plano, tenga una flor lisa y el poro fino debe secarse pegado a una placa plana.

La contracción depende de la tensión superficial que tiende a reducir la superficie libre de agua, al secar se cierran los capilares y al acercarse las fibras se producen enlaces químicos. La piel está llena de canales capilares llenos de agua.

Un cuero al secarse tira, se tensiona, si está muy húmedo, se seca muy rápido y está muy estirado llega a fractura en una zona de menor resistencia, como puede ser una cicatriz.

En la contracción del cuero durante el secado influyen el recurtido y el engrase así como el método de secado utilizado y la tensión a que se somete al cuero.

- **Migraciones de las sustancias solubles:**

[http://www.playsofa.es/preguntas-frecuentes/proceso.com.\(2013\)](http://www.playsofa.es/preguntas-frecuentes/proceso.com.(2013)) Para eliminar el agua del interior del cuero esta debe salir a la superficie externa y cuando llega allí el agua se transforma en vapor pero no los sólidos que pueda contener, por lo que durante el secado puede aumentar la concentración de sólidos en la zona superficial.

Si el secado es muy lento los sólidos pueden volver a penetrar hacia el interior del cuero por difusión. Si el secado es muy rápido, y como el proceso de difusión es lento, los sólidos quedan depositados en las zonas superficiales del cuero.

El secado del cuero al cromo no acostumbra a presentar problemas, ya que normalmente este tipo de cuero contiene pocos productos solubles. Sin embargo pueden presentarse problemas de migraciones si el cuero contiene recurtientes, grasas, colorantes o sales no fijadas.

Mientras haya agua dentro, la grasa está emulsionada. Al extraer el agua violentamente se producen las migraciones, pero si seca lentamente forman enlaces químicos o se ocluyen en el seno del cuero.

Hidalgo, L. (2004) El cuero curtido al vegetal para suela de zapato puede llegar a contener entre materias orgánicas y minerales cantidades del orden del 20% de sustancias solubles.

Si este tipo de cuero se seca de una forma rápida debido a las migraciones que tienen lugar, se oscurece el color y se obtiene una flor que rompe al doblarla, lo cual es un cuero de mala calidad.

Pero, si el secado es lento para que las materias solubles tengan tiempo de volver a penetrar hacia el interior de la piel se puede obtener un cuero de máxima calidad.

- **Modificaciones del punto isoeléctrico (P.I.)**

<b>ETAPA</b>	<b>VALOR</b>
Tripa	5
Piel	6 – 7
Curtido al Cromo	7
Secado	6

**Tabla 1:** Valores de punto isoeléctrico en etapas del cuero

**Fuente:** Hidalgo, P. Texto Básico de Curtiembres de pieles, 2004

Gansser, A. (2006) En el cuero curtido con sales de cromo catiónicas la sal de cromo coordinada con la proteína tiene una doble carga positiva y existe un grupo sulfato iónico que la compensa.

Durante el secado se elimina agua, aumentará la concentración de iones sulfato en la solución y llegará un momento en que los iones sulfato se coordinarán con los átomos de cromo, como el nuevo complejo formado tiene carga nula, el punto isoeléctrico del cuero curtido al cromo seco será inferior al del cuero curtido al cromo húmedo.

Esta disminución del punto isoeléctrico durante el secado puede aprovecharse para obtener teñidos atravesados utilizando colorantes ácidos o directos, que penetrarán más. Al remojar un cuero curtido al cromo, que previamente se había secado, el tacto que adquiere no es el mismo que tenía el cuero al cromo húmedo. Ello indica que las reacciones que ocurren durante el secado sólo son parcialmente reversibles. Además de los grupos sulfatos pueden coordinarse con los átomos de cromo otras sustancias tales como las grasas y recurtientes.

- **Formación de varios tipos de enlaces químicos:**

Grozza, G. (2007) Durante el secado y a causa de la eliminación de agua, las fibras se acercan entre sí y los grupos iónicos de carga contraria de la propia fibra se puede acercar suficientemente entre sí para formar enlaces electrovalentes que en estado sólido son muy estables.

En el secado los grupos reactivos iónicos de las moléculas de grasa, recurtientes Y colorantes pueden formar enlaces electrostáticos con los grupos iónicos de la piel. La acción entre los grupos iónicos tiene lugar a distancias relativamente grandes. Una vez se han acercado suficientemente existe la posibilidad de que entren en juego otros tipos de enlaces, tales como los enlaces por puentes de hidrógeno que actúan a distancias más cortas.

Aleandry, F. (2009) Los enlaces por puentes de hidrógeno también se pueden formar entre fibras de colágeno curtidas debido a que contienen numerosos grupos peptídicos e hidroxilos. La contracción y endurecimiento que experimenta el cuero durante el secado se deben a la formación de diversos tipos de enlace y a la eliminación de agua que actúa como lubricante. Si se logra disminuir la cohesión entre las diversas fibras por interposición de productos recurtientes y grasas se obtendrá un cuero más blando.

Si secamos muy rápido y se forman muchos enlaces, hay mucha contracción no queda plano, queda grueso. Muchos de los enlaces no son reversibles.

## **1.2 SISTEMAS DE SECADO**

Ponti, B. (2008) Existen diferentes formas de eliminar el agua de los cueros, desde un simple secado al aire libre donde el equipo es elemental y se depende absolutamente de las condiciones climáticas hasta los sofisticados métodos de secado al vacío que requieren un equipo especial y caro y que se adaptan a la curtiembre sin depender de los factores climáticos.

El calor necesario para secar los cueros puede transmitirse por convección (de aire), por conducción (placa caliente) o por radiación. Otro aspecto a tener en cuenta es si los cueros están o no tensionados durante la operación del secado.

### **1.2.1 Cámaras de secado.**

Junqueira, L. (2005) Puede secarse al aire libre o con la ayuda de una estufa.

- **Al aire**

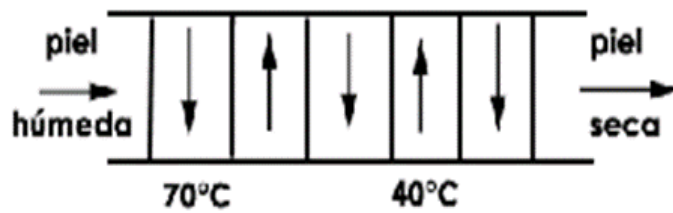
Es el mejor secado ya que no exige para nada a la piel, el cuero llega al equilibrio final en forma lenta. La desventaja es que lleva un tiempo mayor y que se requiere de un gran espacio al aire libre bajo techo. Se debe procurar que la luz del sol no toque directamente los cueros porque se podrían oxidar los taninos.

- **Secado con Estufas**

Recintos cerrados por donde se hace la circulación forzada del aire caliente, regulándose la temperatura y la humedad. La primera se controla mediante un termostato y existe una válvula de vapor que regula la cantidad de vapor que llega al calefactor. La segunda se controla con un higrómetro y se regula según la recirculación de aire.

- **Túnel de secado**

El túnel de secado consta de varias secciones independientes llamadas celdas o cámaras en las cuales se puede determinar independientemente la temperatura y la humedad del cuero.



**Gráfico 1:** Esquema de un secado de túnel

Libreros, J. (2003) Como vemos en el esquema la primera celda puede empezar con 70°C. Al principio la piel está más fría porque está húmeda. Interesa la recirculación para absorber más humedad. La cuarta celda se puede poner a unos 40° C y con mucha recirculación para que la piel no se reseque. A veces incluso se pone la última celda a 30°C para que al salir la piel los operarios no se quemen al manipularla.

Bühle, B. (2000) Como a medida que pasa el tiempo el cuero tiene menor cantidad de agua, la temperatura seguiría subiendo. Lo que se hace es pasar a la otra celda y así se mantiene aproximadamente constante la temperatura del cuero.

Las pieles se pueden colgar con unas pinzas y sin tensar. A veces estos secaderos son de 2 pisos y hay unas barras, con cadenas para moverlas, que van dando vuelta y las pieles se cargan y descargan por el mismo sitio.

- **Secadero de Pinzas**

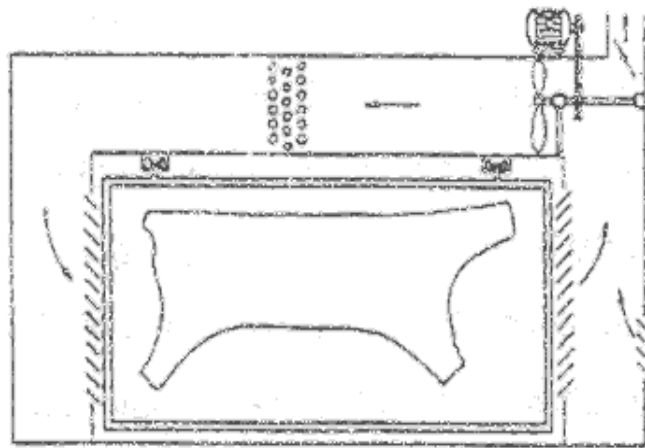
<http://www.taringa.net.com>.(2013) Se pinzan las pieles sobre placas perforadas si se desean pieles blandas deben secarse previamente al aire, acondicionar a una humedad del orden del 20-22% y ablandarse. Si tienen demasiada humedad al pinzar quedarán acartonadas. Una vez pinzadas se ponen en una cámara de secado con calefacción y recirculación de aire.

Hay otros sistemas basados en el pinzado. En uno de ellos, los marcos se tensan y destensan de manera automática.

- **Secadero Pasting**

<http://www.taringa.net.com>.(2013) En 1911 Smith desarrolló un nuevo método de secar cueros adheridos a una placa con aplicación de calor y aire a través de su paso por un túnel al que le llamó pasting. Consiste en un túnel, pero las pieles en vez de colgarse se pegan a placas usando adhesivos.

Las placas pueden ser de vidrio, hierro esmaltado, madera tratada, material plástico como resinas epoxi, acero inoxidable. Todos los materiales tienen sus ventajas e inconvenientes. El vidrio tiene mucha finura y es poco conductor, protege mejor la flor, pero al aumentar la temperatura puede haber roturas y son muy caras. La madera no se rompe, pero se doblan, son poco lisas, valen para serraje pero no para plena flor. El material plástico no se rompe y es poco conductor pero es caro y menos fino que el vidrio. El acero inoxidable es muy fino, pero se raya más que el vidrio, es conductor y es muy caro. Las placas suelen medir alrededor de 1,80 m x 3,25 m. Un esquema sería:



**Gráfico 2:** Sistema de secado en un sistema pasting.

<http://wwwplaysofa.es/preguntas-frecuentes/proceso.com>.(2013) Los adhesivos se pueden aplicar sobre la placa o sobre el cuero. Como adhesivo se puede utilizar metil o etilcelulosa (10-20 g/L, soluciones muy viscosas).

Antes se usaban engrudos de almidón, almidones rectificadas y algunos mucílados (granos de linaza cocidos).

El cuero debe estar pegado mientras está húmedo, pero que al secar la flor no quede pegada a la placa. Cuanto más grueso sea el cuero, más concentrado debe ser el adhesivo.

También influirá el tipo de cola si el cuero está muy engrasado o reseco. A veces se puede añadir (0,5g/L) aceites sulfonados para que el producto seco sea más flexible y se pueda arrancar.

En el túnel circula aire caliente, el calor viene por lado de carne y no del lado de la flor.

El cuero queda totalmente plano. Tiempo de secado: 5-8 h. Es el sistema que da mayor superficie, frente al secado por colgado supone un aumento del orden del 5-10%.

Se utiliza principalmente para todo tipo de cuero corregido de flor (empeine, forro, marroquinería, serraje) pero no para acabados plena flor porque el adhesivo queda en la flor y se debería lavar la flor y volverla a secar antes de poderla acabar, con los inconvenientes que esto conllevaría. Es importante que el pegamento al retirarse del cuero seco, quede adherido lo más posible a la lámina y eliminarse bien.

- **Toggling**

<http://www.revolucionesindustriales.com>.(2013) Uno de los sistemas más comunes es el "Clavado" en Toggling, donde el cuero se sujeta a marcos metálicos por medio de ganchos que lo estiran e impiden la formación de arrugas; el cuero así obtenido tiene una mayor superficie y más lisa.





**Gráfico 3:** Clavado de pieles para un secado en togging

Una unidad de togging consiste en una cantidad de chapas perforadas colocadas en un secador de temperatura y humedad controladas; el cuero se estira y se sujeta mediante un número de abrazaderas (ganchos especiales o toggles) que se enganchan en las chapas.



**Gráfico 4:** Esquema de un secado en togging

<http://www.italianleathergroup.it>. (2013) El togging tiene la ventaja de permitir el secado de grandes cantidades de cuero en un espacio relativamente pequeño; además, durante el secado se estira el cuero; tiene la desventaja de que resulta difícil mantener y controlar condiciones de temperatura y humedad constantes.

- **Placas Secotherm**

[\(2013\)](http://www.faunagua.org/biblioteca) Se pega el cuero a ambas caras de unas placas metálicas, en general de acero inoxidable, aluminio o cobre, dentro de las que circula un líquido caliente, normalmente agua.

La medida aproximada de las placas es de 1,5 m x 3 m. Es un sistema más económico que el pasting porque se pueden comprar las placas que se quiera.

Las placas suelen ir fijas para poder pegar bien las pieles. La piel se pega con adhesivo por el lado flor y a veces hay unas pinzas para asegurar que se aguante. El calor va de adentro hacia afuera y no como en el pasting que va de afuera hacia adentro, con lo cual en el sistema secotherm la piel queda menos compacta.

Se usan a temperaturas entre 80-90°C por lo que se recomienda para cueros al cromo bien curtidos, recurtidos y engrasados y nunca para cueros al vegetal. El tiempo de secado oscila entre los 20-30 minutos.

- **Secado al vacío**

[\(2013\)](http://www.cuersonet.com) Consta de una plataforma lisa de acero inoxidable con orificios y una cubierta que puede tapar en forma de bisagra o subiendo y bajando. Hay varios sistemas. Lleva incorporado una bomba de agua que suele ser de anillo hidráulico para reducir la presión (hacer el vacío).

La placa inferior es calefactor y comunica por conducción la temperatura necesaria para evaporar el agua de la piel. El tamaño de las placas oscila entre 1,8 m x 3,25 m y 2,3 m x 5 m.

El cuero previamente alisado es colocado con el lado flor sobre la superficie de la placa (sin formar arrugas). La placa se calienta entre 50°C para cuero vegetal y 85°C para cuero cromo. En el cabezal se pone un filtro o bien una red metálica

de malla fina que presiona el cuero al cerrar y para que el vapor de agua pase hacia la cámara de vacío principal en que hay un condensador que transforma el vapor en agua líquida. Luego, se cierra en forma hermética y se produce el vacío que provoca en breves minutos la evaporación del agua que contiene el cuero. Como la flor va apoyada en la placa calefactor y se seca primero, sale el vapor de agua por el lado carne.

### **1.3 SISTEMA DE CALEFACCION SOLAR**

#### **1.3.1 Recurso Solar en el Ecuador**

Norma Ecuatoriana de la construcción NEC-10. El Ecuador está ubicado, entre las latitudes  $1^{\circ}30'N$  (Carchi) y  $5^{\circ}0'S$  (Zamora) y entre las longitudes  $72^{\circ}O'W$  (Salinas) y  $75^{\circ}10'W$  (Orellana) es decir al oeste del meridiano de Greenwich. Al estar atravesado por la Línea Equinoccial, el Ecuador tiene poca variabilidad en la posición del sol durante todo el año lo cual favorece la aplicación de la energía solar para producir electricidad y calor, ya que en promedio hay 12 horas de sol durante el día.

La variación en el zenit (cuando el sol está perpendicular a la Tierra, a las 12 del día) es de  $\pm 23.5^{\circ}$ , es decir que el Sol se desplaza  $47^{\circ}$  en el año entre el solsticio de verano (21 de junio) y el solsticio de invierno (21 de diciembre).

La radiación solar directa sumada con la radiación solar difusa que impacta sobre el colector solar, se ve afectada por la nubosidad del día, o lo que se conoce como índice de claridad. Un índice de claridad 1 se da en un día soleado sin nubes. Hay que tener en cuenta también el ángulo de inclinación del colector para aprovechar la mayor cantidad de energía solar durante el año, y por labores de limpieza; en el Ecuador, éste ángulo puede ser hasta  $15^{\circ}$ . La orientación del colector deberá ser hacia la línea equinoccial, para tener la mayor energía anual del sol.

El recurso solar al ser un valor de energía se mide en Joules, es decir en Vatios por Segundo. Un kWh es otra medida de la energía y 1 kWh equivale a 3,6 MJ. En el Ecuador no existe un registro histórico completo de radiación solar.

El INAMHI tomó durante los años 1970 a 1990 algunas mediciones de heliofanía o duración de brillo solar durante un día que corresponde a la radiación solar directa.

El **CONELEC** contrató en el año 2008 la elaboración del Mapa Solar del Ecuador, y se basa en datos tomados de sistemas satelitales del NREL (National Renewable Energy Laboratory) de los Estados Unidos entre 1985 y 1991 que interpola la información a celdas de 1 km. Se muestra información sobre las insolaciones directa (isohelias a 300 Wh/m<sup>2</sup>.día), difusa (isohelias a 100 h/m<sup>2</sup>.día) y global (isohelias a 150 Wh/m<sup>2</sup>.día) para cada mes del año y el promedio anual. Con este mapa solar se ha elaborado un mapa resumen anual con la insolación global promedio anual agrupada en cinco Zonas I a V en kWh/m<sup>2</sup>.día.

<b>ZONAS</b>	<b>PROMEDIO ANUAL kWh/m<sup>2</sup>.día</b>
Zona I	3200 a 3600
Zona II	3600 a 4000
Zona III	4000 a 4400
Zona IV	4800 a 5200

**Tabla 2:** Zonas del Ecuador Según Irradiación Solar

**Fuente:** NEC-10,1996

Los valores de insolación o radiación solar global para las provincias del país y sus ciudades más importantes son:

PROVINCIA	CIUDAD	Wh/m2.día (promedio anual)	ZONA
Carchi	Tulcán	4140	II
Esmeraldas	Esmeraldas	4350	II
Imbabura	Ibarra	4560	IV
Manabí	Portoviejo	4160	III
Pichincha	Quito	4990	IV
Tsachilas	Sto. Domingo	3440	III
Cotopaxi	Latacunga	4420	IV
Napo	Napo	4350	II
Santa Elena	Santa Elena	4360	II
Guayas	Guayas	4370	III
Los Ríos	Los Ríos	3780	III
Bolívar	Bolívar	4800	IV
Tungurahua	Tungurahua	4550	III
Chimborazo	Chimborazo	4490	II
Pastaza	Pastaza	3800	II
Cañar	Cañar	4500	III
Morona Santiago	Morona Santiago	4090	II
Azuay	Azuay	4350	II
El Oro	El Oro	4200	II
Loja	Loja	4350	II
Zamora	Zamora		
Chinchipe	Chinchipe		
Galápagos	Galápagos		
	Zamora	4350	II
	Puerto Ayora	5835	V

**Tabla 3.** Valores promedio de irradiación solar de ciertas zonas Ecuador

**Fuente:** NEC-10, 1996

Mientras no se disponga de un sistema actualizado de la información de radiación solar en el Ecuador, se pueden usar estos datos confirmándolos con datos reales medidos en el sitio donde se instalará el sistema solar térmico, al menos con datos de 12 meses anteriores.

### **1.3.2 TRANSFERENCIA DE CALOR**

La transferencia de calor es la ciencia que trata de predecir el intercambio de energía que puede tener lugar entre cuerpos materiales, como resultado de una diferencia de temperatura. La termodinámica enseña que esta transferencia de energía se define como calor. La ciencia de la transferencia de calor pretende no sólo explicar cómo la energía térmica puede ser transferida, sino también predecir la rapidez con la que, bajo ciertas condiciones específicas, tendrá lugar esa transferencia. El hecho de que el objetivo deseado del análisis sea la rapidez de la transferencia de calor, señala la diferencia entre la transferencia de calor y la termodinámica. Existen tres modos de transferir calor: conducción, convección y radiación.

#### **1.3.2.1 Transferencia de Calor por Conducción**

Cuando en un cuerpo existe un gradiente de temperatura, la experiencia muestra que hay una transferencia de energía desde la región de alta temperatura hacia la región de baja temperatura. Se dice que la energía se ha transferido por conducción y que el flujo de calor por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura; es importante señalar que la ecuación de Fourier es la que define la conductividad térmica y que tiene unidades de vatios sobre metro por grado Celsius ( $\text{Watt/m}^{\circ}\text{C}$ ) en un sistema de unidades en el que el flujo de calor se expresa en vatios.

	<b>Conductividad térmica k</b>
<b>Metales</b>	
Plata (pura)	410
Cobre (puro)	385
Aluminio (puro)	202
<b>Líquidos</b>	
Mercurio	8,21
Agua	0,556
Amoniaco	0,540
Aceite lubricante, SAE 50	0,147
Freón 12, CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0,073
<b>Gases</b>	
Hidrogeno	0,175
Helio	0,141
Aire	0,024
Vapor de agua (saturado)	0,0206
Dióxido de carbono	0,0146
<b>Sólidos no metálicos</b>	
Diamante	2300
Magnesita	4,15
Mármol	2,08-2,94
Vidrio, ventana	0,78
Arce o roble	0,17
Lana de vidrio	0,038
Hielo	2,22

**Tabla 4.** Conductividades térmicas de diferentes materiales.

**Fuente:** HOLMAN, JACK P., 8ª Edición ,1986.

### 1.3.2.2 Transferencia de Calor por Convección

Es bien conocido que una placa de metal caliente se enfriará más rápidamente cuando se coloca delante de un ventilador que cuando se expone al aire en calma. Se dice que el calor se ha cedido hacia fuera de la placa y al proceso se le llama transferencia de calor por convección.

La transferencia de calor por convección dependerá de la viscosidad del fluido además de depender de las propiedades térmicas del fluido (conductividad térmica, calor específico, densidad y el área de contacto). Esto es así, porque la viscosidad influye en el perfil de las viscosidades y, por tanto, en el flujo de energía en la región próxima a la pared. Si una placa caliente se expone al aire

ambiente sin que haya ningún dispositivo externo que lo mueva, se originará el movimiento del aire como resultado del gradiente de la densidad del aire en las proximidades de la placa. A este movimiento se le llama convección natural o libre por oposición a la convección forzada, que tiene lugar en el caso de un ventilador soplando aire sobre la placa. Los fenómenos de ebullición condensación también se agrupan bajo el epígrafe general de la transferencia de calor por convección.

<b>MODO</b>	<b>h (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
<b>Convección natural, <math>\Delta T = 30^{\circ}\text{C}</math></b>	
Placa vertical de 0,3m[1ft] de alto aire	4,5
Cilindro horizontal de 5cm de diámetro en aire	6,5
Cilindro horizontal de 2,5cm de diámetro en agua	890
Transferencia de calor a través de un hueco vertical de 1,5cm lleno de aire con $T = 60^{\circ}\text{C}$	2,64
<b>Convección forzada</b>	
Corriente de aire a 2m/s sobre placa cuadrada de 0,2m de lado	12
Corriente de aire a 35m/s sobre placa cuadrada de 0,75m de lado	75
Aire a 2 atm circulando a 10m/s por un tubo de 2,5cm de diámetro	65
Agua a 0,5m/s circulando por un tubo de 2,5cm de diámetro	3500
<b>Agua de ebullición</b>	
En un recipiente	2500-35000
Circulando por un tubo	5000-100000
<b>Condensación de vapor de agua, 1atm</b>	
Superficies verticales	4000-11300

**Tabla 5:** Valores aproximados de coeficientes de transferencia de calor por convección.

**Fuente:** HOLMAN, JACK P., 8ª Edición ,1986.



### 1.3.2.3 Transferencia de Calor por Radiación

En contraposición a los mecanismos de la conducción y la convección, donde la transferencia de energía involucra un medio material, el calor puede también transferirse a través de zonas en las que exista un vacío perfecto. En este caso el mecanismo es la radiación electromagnética; la radiación electromagnética que se propaga como resultado de una diferencia de temperaturas; este fenómeno se llama radiación térmica.

MES	RADIACIÓN SOLAR (Cal/cm <sup>2</sup> -día)	RADIACIÓN SOLAR (MJ/m <sup>2</sup> -día)
Enero	460	19,25
Febrero	466	19,49
Marzo	448	18,74
Abril	448	18,74
Mayo	417	17,45
Junio	417	17,45
Julio	456	19,08
Agosto	458	19,16
Septiembre	454	19,99
Octubre	428	19,91
Noviembre	415	17,36
Diciembre	426	17,82
Promedio anual	441	18,45

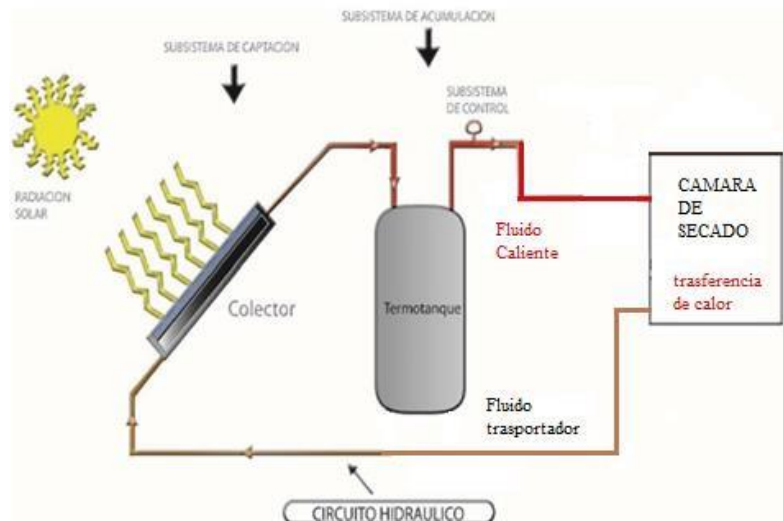
**Tabla 6:** Promedios mensuales de la radiación solar media.

**Fuente:** OROZCO HINCAPIE, CARLOS A, 1993.

### 1.3.3 CALEFACCION SOLAR

<http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/2009/08/21/calefaccion-solar/>. Se trata de un sistema que transforma en calor la radiación solar con procesos añadidos de transferencia de calor mediante radiación, conducción y convección.

Un Sistema de Calefacción para uso industrial, estará conformado por los siguientes componentes principales: un colector solar, un termotanque de almacenamiento, un sistema de control, las acometidas hidráulicas con los elementos de seguridad y un sistema de apoyo (**ver gráfico 5**)



**Gráfico 5:** Esquema de un Sistema de Calefacción Solar Industrial

Las condiciones de diseño de un Sistema de calefacción debe involucrar aspectos tales como:

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

Utilizados para calefacción sólo son indicados para sistemas de baja temperatura, ya que el problema es que los días en que las necesidades de calefacción son mayores, la captación y el rendimiento de los colectores son menores, o cuando los paneles son más eficientes, las necesidades de calefacción son menores.

Para calefaccionar espacios se puede también hacer circular aire a través de paneles especialmente diseñados para ello, proporcionando calefacción directa sin los riesgos operativos que presenta un fluido (aunque con menos eficiencia, debido a la menor capacidad calor portadora del aire).

### **1.3.3.1 El Colector Solar**

<http://www.energiasolar365.com/articulos/que-son-los-colectores-solares>. Es un dispositivo utilizado para coleccionar, absorber y transferir energía solar a un fluido de trabajo que puede ser agua, glicol, salmuera, aceite entre otras; con la energía proveniente del sol.

Este necesita ser seleccionado cuidadosamente de acuerdo a la temperatura del fluido que debe proporcionar, para la aplicación prevista y de acuerdo al clima del lugar en el cual va a estar emplazado.

Su principio físico de funcionamiento se basa en el efecto invernadero, resultado de la característica que tiene un cuerpo transparente, que deja pasar su radiación electromagnética (luz visible e infrarroja), dentro de un colector y es absorbida por alguna superficie ubicada dentro del mismo aumentando su temperatura por conducción; este fluido se mueve entre el colector, el termo tanque y los intercambiadores de calor, por diferencia de temperatura, de forma natural o forzada. Además que se instala en lugares estratégicos donde se orienta a la radiación del sol todo el día; para una mayor captación, se coloca con cierta inclinación (se recomienda tener un margen de  $+15^\circ$  y  $-15^\circ$  con respecto al ángulo de los rayos del sol en el equinoccio).

### 1.3.3.1.1 Tipos de colectores solares

Existen 3 tipos de colectores solares que son los tubos al vacío, colectores de placa plana sin cubierta y colectores de placa plana con cubierta; este último es el modelo en que se ejecuta el presente trabajo y del cual se lo detalla.

#### 1.3.3.1.1.1 Colector de placa plana con cubierta

<http://www.energiasolar365.com/articulos/que-son-los-colectores-solares>. Estos colectores son los más usados para calentar el agua en los hogares y para los sistemas de calefacción. Un colector de placa plana se compone básicamente de una caja metálica con aislamiento con una cubierta de vidrio o de plástico y de una placa absorbente de color oscuro. La radiación solar es absorbida por la placa que está construida de un material que transfiere rápidamente el calor a un fluido que circula a través de tubos en el colector.



**Gráfico 6.** Colector de placa plana con cubierta.

<http://www.insttf.com/placas-solares-termicas-tenerife/colector-solar/>. Este tipo de colectores, calienta el fluido que circula a una temperatura considerablemente inferior a la del punto de ebullición del agua y son los más adecuados para aplicaciones donde la demanda de temperatura es de 30 a 70°C, y son los más usados para calentar agua en sistemas domésticos, comerciales y en piscinas cubiertas.

Un colector de placa plana consiste en un absorbedor, una cubierta transparente, un marco y aislamiento térmico. La cubierta transparente transmite una gran cantidad de la luz de onda corta del espectro solar y al mismo tiempo, solo deja pasar muy poca radiación de onda (calor emitido por el absorbedor) produciendo un efecto invernadero.

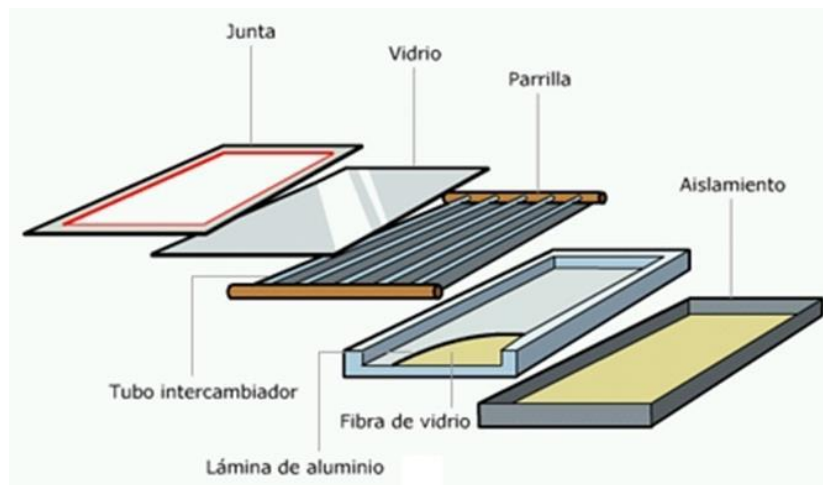
Además, la cubierta transparente evita que el viento y las brisas se lleven el calor colectado (convección); junto con el marco la cubierta protege el absorbedor de las condiciones meteorológicas inversas. Típicamente está fabricado de materiales de aluminio y acero galvanizado, también se utiliza plástico reforzado con fibra de vidrio.

El aislamiento de la parte posterior del absorbedor y las paredes laterales reduce las pérdidas de calor por conducción. Este aislamiento es por lo general de espuma de poliuretano, lana mineral, fibra de lana de vidrio, entre otros. Estos colectores indican poseer una muy buena relación precio calidad y tienen una amplia gama de posibilidades para su montaje.

El colector solar plano generalmente está constituido por:

- **a1.** Cubierta transparente de vidrio o plástico plano, por la cual pasa la radiación solar.
- **a2.** Superficie o placa de absorción metálica en cobre o aluminio en donde incide la radiación solar y se convierte en calor que se transfiere por conducción a los tubos por los que circula un fluido de trabajo. Las características de la placa pueden ser modificadas mediante la aplicación de una superficie selectiva para maximizar la transmitividad y la absorptividad.
- **a3.** Material aislante, que bordea la parte lateral e inferior del colector, con el objeto de limitar las pérdidas de calor de la placa absorbente.

- **a4.** Caja o marco que contiene y da soporte al colector solar plano.



**Gráfico 7.** Componentes del colector de placa plana con cubierta.

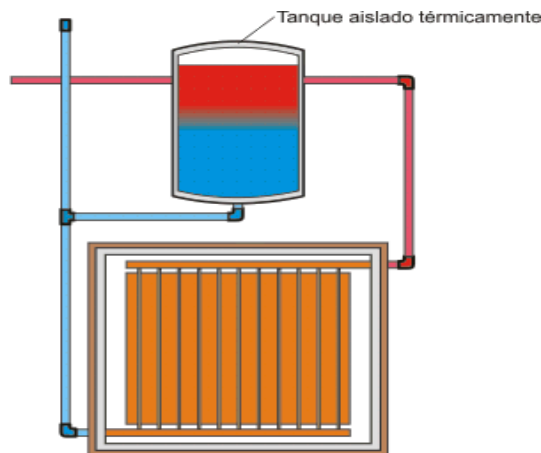
### 1.3.3.2 Tanque de Almacenamiento o Termosolar

[http://energia\\_solar\\_termica](http://energia_solar_termica) Se encarga de mantener el fluido caliente y está forrado con un aislante térmico para evitar que se pierda el calor ganado en el colector. Generalmente, es un tanque metálico aislado térmicamente del ambiente exterior para garantizar que sus pérdidas térmicas sean las mínimas posibles; además de que su interior debe estar recubierto por materiales que protegerán su vida útil.

Entre las funciones que desempeña el tanque de almacenamiento se destacan:

- ❖ Asimila las fluctuaciones de corta duración en la energía solar que recibe el colector solar.
- ❖ Provee autonomía al sistema en los intervalos en los que no ocurra generación de calor.
- ❖ Admite sistemas auxiliares de calentamiento de fluido, si se requieren.

El tanque debe soportar la presión de sistema, por lo cual, debe cumplir normas de fabricación; generalmente su forma es cilíndrica, y puede operar en forma horizontal o vertical.



**Gráfico 8.** Esquema de un Sistema de almacenamiento térmico

### 1.3.3.3 Sistemas de regulación y control

<http://www.terra.org/categorias/articulos/guia-practica-de-una-instalacion-de-energia-solar-termica>. Tiene el objeto de asegurar el correcto funcionamiento del mismo, para un mayor aprovechamiento de la energía solar captada y uso adecuado de la energía auxiliar. Comprende los sistemas de medición, regulación, protección y seguridad.

En circulación forzada, el control de funcionamiento normal de las bombas del circuito de colectores, es de tipo diferencial y en caso de que exista depósito de acumulación solar, debe actuar en función de la diferencia entre la temperatura del fluido portador en la salida de la batería de colectores y la del depósito de acumulación; se recomienda la utilización de tanques de expansión, como elemento de seguridad adicional para absorber la dilatación del fluido al calentarse.

#### **1.3.3.4 Tuberías y Accesorios**

El circuito hidráulico constituido por las tuberías, bombas, válvulas, etc., que se encarga de establecer el movimiento del fluido del sistema (colector solar, tanque termosolar e intercambiadores de calor) está diseñado para permitir la recirculación del fluido entre los mismos; los mismos que deben diseñarse de tal manera que no permita el reflujo del fluido caliente y además deben disponer de aislamiento térmico.

El fluido entra por uno de los extremos del tubo horizontal más bajo, sube por todos los tubos verticales y sale por el extremo contrario del tubo horizontal más alto.

### **1.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN SOLAR**

Para la realización del diseño del sistema solar térmico los datos de partida necesarios serán principalmente la demanda energética, los datos climatológicos del lugar, energía solar térmica aportada, las fracciones solares mensuales y anuales.

Los componentes del sistema tienen que ser capaces de soportar todos los intervalos de temperaturas que puedan experimentar durante su funcionamiento, así como las variaciones de temperatura en el intervalo de diseño y no deben verse afectados en sus propiedades, de manera que perjudique su funcionamiento ni rendimiento durante su vida útil.

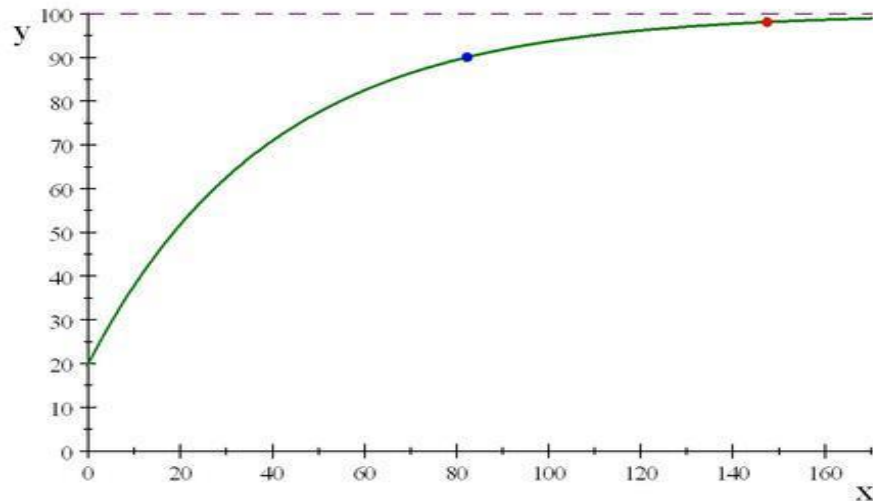
#### **1.4.1 REQUERIMIENTO ENERGETICO**

##### **1.4.1.1 Temperatura de Trabajo**

Se obtiene según el método experimental mediante el monitoreo de la variación de la temperatura en la ejecución del proceso de secado del cuero, utilizando el



modelo de energía actual (quema de GLP), la misma que se verifica en una curva de temperatura de secado (Temperatura Vs Tiempo).



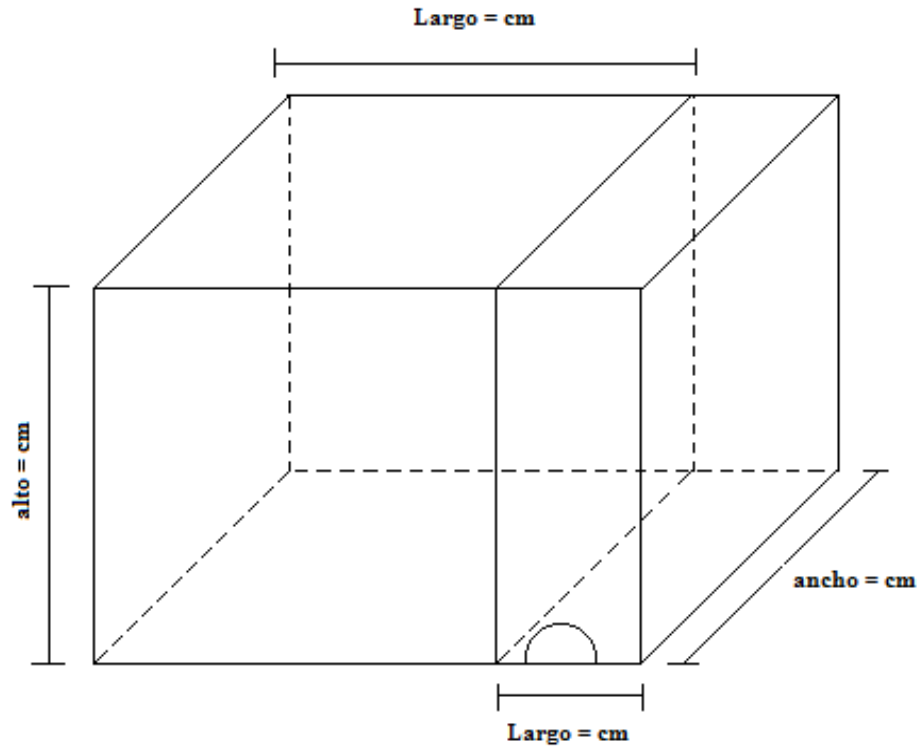
**Figura 1.** Comportamiento típico de variación de temperatura de secado

**Fuente:** Perry J, tomo II, 1974

Con estos datos se determina la temperatura máxima promedio que es requerida en el interior del secador a fin de satisfacer los requisitos para el efecto del secado del cuero.

#### 1.4.1.2 Volumen de la Cámara de Secado

Luego de haber obtenido el dato de la temperatura necesaria en la cámara de secado se procede a analizar el volumen a cubrir la demanda de calor por medio de una transferencia de calor directa.



**Figura 2.** Estructura de la cámara de secado

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

Con estos datos se obtiene el volumen total de la cámara, mediante la fórmula:

$$V = l . a . h \quad \text{(Ecuación 1)}$$

**Donde:**

**V**= volumen ( $m^3$ )

**l**= longitud de la cámara de secado (m)

**a**= ancho de la cámara de secado (m)

**h**= altura de la cámara de secado (m)

### 1.4.1.3 Determinación de Energía

Se procede a determinar cuál es la energía necesaria para sustituir la fuente de calor que se va introducir al sistema; para lo cual se analiza las diferentes variables y parámetros de control en el proceso de secado del cuero cuando este proceso se encuentra en ejecución, los factores que influyen en esta demanda son la temperatura de uso del aire caliente y la temperatura de entrada de aire ambiente; con estos datos obtenidos se determina la cantidad de calor necesaria a satisfacer para la ejecución del proceso de secado; para el cálculo de las requerimientos energéticos se emplea la siguiente ecuación:

$$Q = 1,16 mC_p\Delta T \quad (\text{Ecuación 2})$$

**Donde:**

**Q<sub>útil</sub>** = Calor necesario para el proceso (KJ)

**m** = masa de aire contenida en la cámara (Kg)

**C<sub>p</sub>**= Capacidad calorífica (J/Kg°K para el aire a temperatura ambiente)

**ΔT**= Variación de temperatura = T<sub>2</sub> y T<sub>1</sub> (°K)

### 1.4.1.4 Rendimiento Térmico del colector

Este depende de la energía útil y de la radiación solar de la zona, así:

$$n = Q \text{ útil} / (I \cdot A) \quad (\text{Ecuación 3})$$

**Donde:**

**I** = Intensidad de la radiación en W/m<sup>2</sup> al día

**A** = área de captación en m<sup>2</sup>

Con el dato del requerimiento energético y la intensidad en la zona de instalación del colector se obtiene el área de captación de diseño.

#### **1.4.2 SELECCIÓN DE MATERIALES**

Antes de diseñar el sistema de calefacción se tiene que seleccionar los materiales con los que se dispone y con los cuales se va a trabajar; ya que sin haber definido con anticipación se hará muy difícil su diseño y/o construcción; el objetivo primordial en esta etapa es obtener el correcto funcionamiento y rendimiento de los componentes diseñados para que tengan una larga vida útil.

La mayoría de métodos parten de la disponibilidad de una amplia gama de materiales, los cuales se deben analizar, ya sea con ayuda de recomendaciones (métodos tradicionales), métodos gráficos o información escrita que se encuentran en fuentes bibliográficas (tablas).

En general, la selección del material se hace de acuerdo con las finalidades para la construcción y teniendo en cuenta lo siguiente:

<b>GENERALIDADES</b>	
<b>CRITERIOS DE SELECCIÓN</b>	<b>CARACTERÍSTICAS IDEALES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidad</li> <li>• Facilidad de obtención</li> <li>• Vida útil</li> <li>• Factores ambientales</li> <li>• Costos</li> <li>• Resistencia mecánica</li> <li>• Propiedades térmicas (conductividad, coeficiente de expansión)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inagotable y siempre disponible para su reemplazo</li> <li>• Barato para refinar y producir</li> <li>• Fuerte, rígido, y dimensionalmente estable a diferentes temperaturas</li> <li>• Ligero, resistente a la corrosión y al desgaste</li> <li>• Respetuoso con el medio ambiente y las personas</li> <li>• Biodegradable, Polivalente</li> </ul>
<b>MÉTODOS DE SELECCIÓN</b>	
<p style="text-align: center;"><b>Tradicional</b></p> <p>Las características y/o propiedades de los materiales a emplearse serán analizadas previamente; también se considerara un ahorro de tiempo, pero en ocasiones conduce a serios problemas, ya que no se hace un estudio real del ambiente de trabajo al que va a hacer sometido (experimentalmente) y el cual puede ser decisivo a la hora de seleccionar un tipo de material.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Gráfico (mapas)</b></p> <p>Se apoyan en diferentes graficas en las que relacionan las propiedades de los materiales; estos hacen una aproximación del material más idóneo, con base en la relación de las propiedades más importantes que debe tener los componentes.</p> <p>Los mapas de materiales (diagramas de Ashby), muestran las propiedades de los diferentes clases de materiales pueden variar en amplios intervalos (dependiendo del estado), formando grupos que se ubican en áreas cerradas, zonas o campos en tales diagramas.</p>

**Cuadro 1:** Generalidades y métodos para la selección de materiales

**Fuente:** [www.selecciondemateriales.com](http://www.selecciondemateriales.com)

### **1.4.3 DISEÑO DEL COLECTOR SOLAR**

La capacidad operacional y la durabilidad de los colectores solares dependen de la correcta selección de sus materiales, ya que estos pueden ser afectados por un incendio o en si por calor radiante, en donde se prefiere el uso de materiales no combustibles, resistentes a la exposición a radiación UV o a su vez deberán estar protegidos contra la radiación UV incidente y reflejada. La carcasa del captador debe ser hermética para prevenir penetraciones de agua de lluvia, lo cual alteraría su capacidad funcional y durabilidad; en su construcción debe asegurarse que no se formen tensiones indebidas en la carcasa, resistir las cargas mecánicas (peso de componentes), resistir a la máxima temperatura y choques térmicos-físicos expuestos al ambiente (intemperie) causadas por factores tales como la lluvia, nieve, granizo, viento, alta humedad y poluciones del aire, y como punto final el colector debe tener un aspecto agradable a la vista, un marco exterior uniforme, que no presente grietas ni abolladuras, elementos de cierre sean uniformes a lo largo del colector, conexiones estén limpias y selladas; en general que no se observe ninguna imperfección que pudiera ocasionar alguna filtración o falla en su tiempo de exposición. Debe ser considerado el efecto de los procesos de fabricación como cortado, soldado, soldados especiales, etc.; deberían estar dimensionados sobre la base de una presión de correspondiente a la sobrepresión de trabajo específica, teniendo en cuenta un factor de seguridad de 1,5; además de las propiedades del fluido portador a utilizarse.

A continuación se describe en forma secuencial los pasos para el diseño del colector solar:

#### **1.4.3.1 Diseño del Marco Colector**

El marco del colector tiene como objetivo el contener a todo el sistema que principalmente el sistema de tuberías en donde se dará el calentamiento del fluido, tendrá la relación.

**$1,5 \text{ m}^2 \leq \text{Área de captación} \leq 2,6 \text{ m}^2$**

**Fuente:** NEC-10 (ver Anexo)

Según las especificaciones técnicas establecidas en la norma y su diseño será tal como se muestra en la figura 3:

$$A_c = l \cdot a \quad (\text{Ecuación 4})$$



**Donde:**

**$A_c$** = área del colector ( $\text{m}^2$ )

**$l$** = largo del colector (m)

**$a$** = ancho del colector (m)

**Figura 3:** Esquema del marco estructural del colector (vista tridimensional)

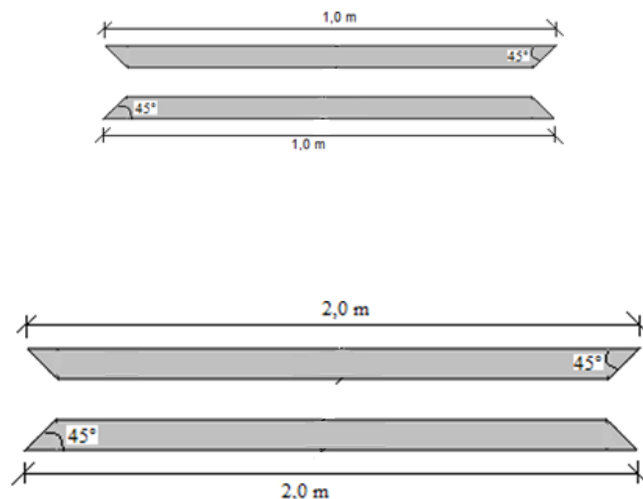
Los materiales para su construcción puede variar desde madera, hierro galvanizado, acero inoxidable o aluminio, aquí lo importante es mantener las medidas interiores y una rigidez adecuada; entre estos es el más recomendable es el Aluminio anodizado por su resistencia a la corrosión, bajo costo y su menor densidad.

Entre los perfiles de aluminio a utilizarse están los de (7,5x 3,4mm) o (10x 4mm) que comercialmente se los conoce con el nombre comercial de tubo rectangular de 4 P x 1 ¾ y tubo rectangular 3 x 1 1/2 respectivamente.

A fin de optimizar su capacidad de retención de calor en la carcasa se rellena el interior del perfil con un material aislante como es el caso de espuma de poliuretano o lana de vidrio.

Las características constructivas de los distintos elementos que forman el marco de Aluminio son las siguientes:

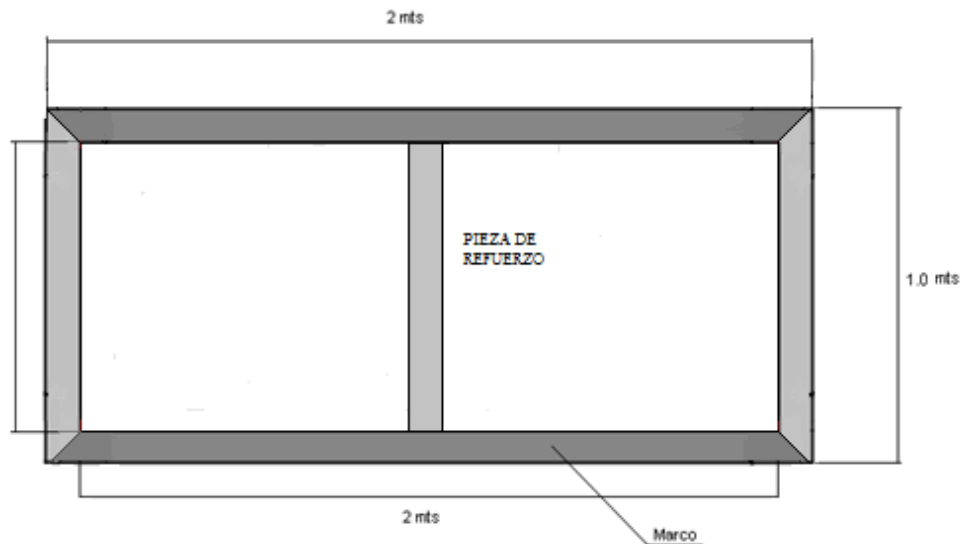
- 2 Tirantillos de longitud de 2 m, con corte a 45°
- 2 Tirantillos de longitud 1 m, con corte a 45°



**Figura 4:** Esquema de los tirantillos para el armado del marco



El mismo que luego de ser unidas sus piezas mediante remaches o pernos, debe presentar una estructura tal como la siguiente figura 5:



**Figura 5:** Esquema de la estructura de la carcasa armada

Para evitar distorsión en el marco se coloca una pieza de refuerzo a fin de proporcionar mayor rigidez mecánica.

A fin de optimizar su capacidad de retención de calor en la carcasa se rellena el interior del tubo con material aislante como es el caso de espuma de poliuretano o lana de vidrio.

#### **1.4.3.2 Selección del Material Aislante**

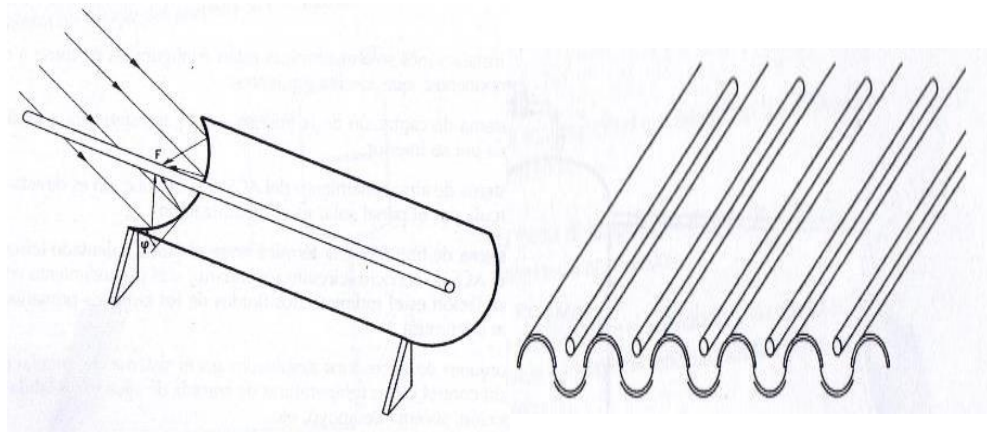
El material aislante que se coloca en el interior de la carcasa estará entre un espesor comprendido entre 3cm y 5cm (Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-10); la finalidad del aislante introducido en el colector solar es reducir las pérdidas de calor a través de los laterales y el fondo de su carcasa, por tanto es muy importante la selección del mismo de sus componentes; la densidad y la capacidad de temperatura de trabajo determinan las características de este material aislante.

Según Norma Española 12975, “Los materiales aislantes deberán soportar las temperaturas locales que se alcanzan en las condiciones de temperatura de estancamiento del captador. A esta temperatura no deberían ocurrir ni fusiones, ni contracciones, ni emisiones de vapores con las consecuentes condensaciones sobre la cubierta del captador, ni reducción del rendimiento del absorbedor, ni corrosión de superficies metálicas, que ocasionen reducciones severas del rendimiento del captador. La absorción de agua y humedad por el material aislante puede provisional o definitivamente reducir la eficiencia del material como aislante. Dados los diferentes coeficientes de expansión térmica, se debería de tomar en consideración la expansión térmica del material usado en el captador debido al amplio rango de temperaturas. Por otra parte, materiales transparentes de aislamiento o capas de teflón que se usen, no se deberían deteriorar apreciablemente ni mecánica ni ópticamente durante la vida de servicio del captador, por radiación ultravioleta (UV) alta temperatura y humedad”.

Entre los materiales más adecuados para el tipo de trabajo a realizarse se encuentran lana de vidrio, espuma de poliuretano o poliestireno, se recomienda el uso de aislantes que tengan coeficientes  $k$  que se encuentren entre 0,014 y 0,035 Kcal/hr  $m^{\circ}C$  y que sean estables; para este tipo de trabajo utiliza la espuma de poliuretano como el mejor aislante térmico de acuerdo a **Tabla 4** por su bajo índice de pérdida de calor.

#### **1.4.3.3 Diseño de la Lámina Reflectante (Concentrador)**

Se basa en un reflector de forma cilíndrica- parabólica, cuyo punto focal circula el fluido a calentar a través de un conducto metálico (tubería); este sistema concentrador permite obtener una elevada temperatura del fluido porque se proyecta toda la energía de modo muy directo sobre su punto focal. Su superficie está formada por un conjunto de pequeñas cavidades cilíndrico parabólicas paralelas, por cuyos centros circula fluido a través sus conductos, con esto se consigue un elevado rendimiento energético



**Grafico 9:** Concentrador parabólico

Esta lámina se coloca por debajo de los tubos recolectores y por encima del material aislante, tiene características específicas entre las cuales se destaca su forma, espesor y su número de cavidades posibles; según la factibilidad para obtener una lámina con el mayor número de cavidades depende del número de tubos a ser construidos, está en relación al área de construcción neta:

$$N_c = \leq \left( \frac{A}{2D_e} \right) \quad \text{(Ecuación 5)}$$

**Donde:**

**N<sub>c</sub>** = número de cavidades máximas disponibles

**A** = área neta interior disponible (descontando ancho de carcasa y material aislante)

**D<sub>e</sub>** = diámetro exterior de la tubería secundaria a utilizarse

Los materiales disponibles comercialmente para la realización de la misma, se puede escoger entre una lámina de zinc, lamina de acero o lámina de Aluminio Liso; siendo esta ultima la mejor por las características del material en lo que respecta en conductividad térmica.

#### 1.4.3.4 Diseño de los Tubos Recolectores de Calor

Para el diseño del sistema de tubería a utilizar en el interior del colector solar, se tiene en cuenta tanto el tipo de material, capacidad del sistema y espesor de los mismos de acuerdo a las condiciones de trabajo como la presión, resistencia a la corrosión y su conductividad térmica (k).

Entre los materiales más destacados se encuentran el acero galvanizado (HG), Plástico (PVC) y el Cobre (Cu), siendo el más recomendable el de Cobre (Cu) para un mayor rendimiento del colector solar, según la Tabla 4, por su alta conductividad térmica.

En tanto en lo que concierne a los diámetros de la tubería estos se valoran de acuerdo a un análisis tanto técnico como económico (Capacidad Vs costo) y (Capacidad Vs rendimiento); para el caso de la construcción con tubería de cobre se tiene en cuenta los siguientes aspectos:

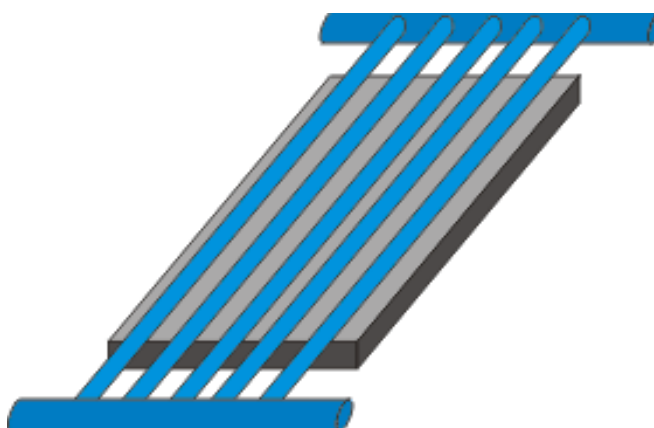
- a) Factores como son el costo, capacidad, peso y tiempo de calentamiento aumenta según el diámetro de la tubería.
- b) A menor diámetro de tubería será menor el costo, capacidad, peso y tiempo de calentamiento; llegando a un equilibrio con la tubería de  $\frac{1}{2}$  pulgada.

Para determinar el sistema de tubería colectora se tiene que tomar en cuenta el área con la que se cuenta, así como las características de los materiales a utilizar tanto en su diámetro como en el tipo de tubería (espesor) que comercialmente existen de tipo M, L y K; los cuales varían de acuerdo al espesor de menor a mayor y según las características técnicas a las que será sometido. Para este tipo de sistema se utilizara como mínimo tubería de Cu tipo "L" para garantizar que funcione correctamente e evitando riesgos, ya que se trabajara con fluido en estado líquido y vapor. Para una correcta distribución del fluido a utilizar, su diámetro externo (De) tendrá la relación:

### De tubo primario > De tubo secundario

Los mismos que pueden variar en la forma del circuito hidráulico y su diseño (serpentín o paralelo), según sea la presión máxima de utilización; para este caso se utilizara un diseño en paralelo a fin de garantizar una mejor distribución del fluido y la presión a la cual se ejecutara el sistema.

El diseño propuesto se establece en una red vertical de tubos que corresponde a una serie de tubos entre otros dos con mayor diámetro situados en forma horizontal denominados distribuidores y que constituyen los terminales extremos de entrada de fluido frio por la parte inferior del colector y de salida del fluido caliente por la superior, tal como se muestra en la Grafico 12:



**Grafico 10:** Sistema de tubos en vertical

Para unir los tubos primarios con los secundarios se utiliza Soldadura de tipo 95 - 5 (95% estaño - 5% antimonio), su temperatura de fusión para correr en la unión es de 238° C, su resistencia a la presión a temperatura ambiente es de 18 Kg/cm<sup>2</sup> y su temperatura máxima de servicio es de 155° C. esta suelda es la más apta para soportar la presión de trabajo comparándose con los otros tipos de suelda existentes (40% plomo-60% estaño, Con fundente ácido al 2.2 % o 50% plomo-50% estaño) y obteniéndose un cuerpo sólido sin grietas, minimizando las perdidas por accesorios y garantizando su rendimiento térmico.

#### **1.4.3.5 Recubrimiento Interior del Colector**

Antes de proceder a recubrir toda la superficie de la placa colectora, se tiene que comprobar que no existan agrietamientos ni irregularidades en su estructura; según el sistema de tratamiento elegido y los materiales (pintura, electrodeposición, tratamiento químico) los componentes del pigmento selectivo pueden reaccionar con el metal base o con la humedad del aire, degradándose o bien despegándose del mismo. Se debe procurar la estabilidad de las características del recubrimiento, minimizando la afectación ambiental.

Teniendo en cuenta estos aspectos se recubre tanto la tubería de Cu y materiales aislantes del interior del colector con pintura negro mate con propiedades absorbentes; entre su característica principal se deberá contener es su peso específico de  $1,230 \text{ g/cm}^3$  a  $20^\circ\text{C}$  y en su aplicación sea lo más uniforme posible.

#### **1.4.3.6 Selección de la Cubierta**

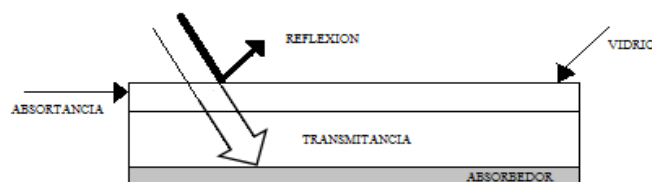
Para los colectores se escoge entre vidrios o plásticos transparentes, siendo la durabilidad de los vidrios y los vidrios templados mejor que el plástico que puede existir una degradación significativa con el tiempo y, en el caso de que ocurra una reducción de la transmisión en las longitudes de onda del espectro solar, se reduce el rendimiento del captador, una reducción en la resistencia a tracción o al impacto en el material de cubierta puede ocasionar roturas en las misma.

La transparencia de las cubiertas no deberá deteriorarse durante la vida de servicio del colector; así mismo ser resistentes a la radiación ultravioleta (UV), a la polución del aire, la alta humedad y la condensación, así como a las altas temperaturas.

La cubierta cuya composición será de vidrio templado, de plástico o similar con las necesarias condiciones de transparencia óptica a la radiación extrema y de opacidad de ondas largas que emite la placa absorbente interna para obtener así el deseado efecto invernadero; por lo general son preferibles las cubiertas de

vidrio, permitiendo alcanzar altas temperaturas. Este vidrio puede ser de tipo solar o normal transparente en la cual su transmitancia sea superior al 90%, índice muy importante para dicho efecto. El vidrio solar se caracteriza por ser pulido en su cara interior y ligeramente rugoso en su cara exterior, además de contener cantidades bajas de hierro en su composición, lo que aumenta su transmitancia y disminuye su emisividad.

Para cubiertas de plástico, el más usado es el policarbonato. Se debe reconocer la enorme transparencia del policarbonato siempre y cuando haya sido tratado para resistir la radiación ultravioleta, pero su comportamiento es peor que el vidrio en relación con el efecto invernadero.



**Grafico 11:** Detalle del efecto de la luz solar sobre la cubierta.

En conclusión la cubierta debe cumplir las siguientes características:

- Buena transmisión solar en la banda de radiación de onda corta y opacidad a la radiación térmica de onda larga para evitar las pérdidas de calor.
- Estabilidad en el tiempo.
- Coeficiente bajo de conductividad térmica para disminuir las pérdidas térmicas.
- Baja adherencia a la suciedad.
- Coeficiente bajo de dilatación en el rango de temperaturas de trabajo del colector.

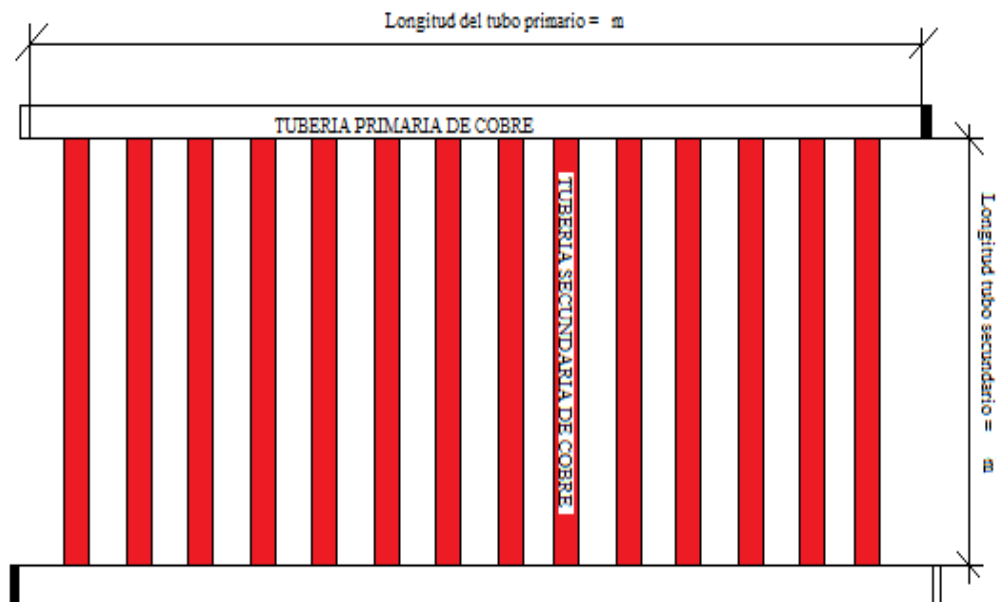
Para este tipo de trabajo y para garantizar su rendimiento térmico y mecánico se empleara el vidrio de seguridad en la cubierta en vez de plástico.

#### 1.4.3.7 Estructura de Soporte del Colector

La estructura soporte es muy importante para la ejecución del trabajo de captación solar y que además tiene otras funciones como son el insertar el colector, brindar el soporte y fijación, así como de orientar el mismo hacia los rayos del sol de una manera que ayude a absorber la mayor cantidad de radiación durante el día dependiendo del ángulo de inclinación y pueda integrarse fácilmente en superficies como terrazas o en el suelo.

#### 1.4.3.8 Cálculo del Volumen del Colector

Para determinar el volumen del colector se parte del diseño realizado anteriormente (tubos en paralelo), del cual se obtiene el siguiente esquema:



**Gráfico 12:** Esquema del sistema de tubería interna del colector



Obteniendo los datos del diámetro interno de las tuberías primaria y secundaria, se calcula su volumen mediante la siguiente formula:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot L \quad \text{(Ecuación 6)}$$

**Donde:**

**V** = volumen del tubo (L)

**r** = radio del tubo (m)

**L** = longitud de la tubería (m)

El volumen total depende del número de tubos primarios, secundarios y las propiedades de los mismos; este cálculo también sirve para la determinación del volumen de todo el sistema en la cual contenga la tubería.

#### 1.4.4 SISTEMA DE ACUMULACION TERMOTANQUE

El volumen total del sistema de acumulación se puede definir, en función del tamaño de colectores, utilizando un valor específico de 75 lt por metro cuadrado de área de captación; no obstante, la acumulación específica se debe tener la siguiente relación:

$$60 \frac{lt}{m^2} \geq \frac{V_{ACU}}{A_{COL}} \leq 120 \frac{lt}{m^2}$$

**Fuente:** Ruiz Hernández, 2004

También debido a su requerimiento, se determinara el volumen de acumulación ( $V_{ACU}$ ), en base a la demanda media ( $V_{ACM}$ ), lo cual se recomienda que cumpla con la relación:

$$0.8 \times V_{ACM} \leq V_{ACU} \leq V_{ACM}$$

**Fuente:** Norma Ecuatoriana de Construcción, NEC-10, 1996

Una vez estimado el volumen de acumulación, debe definirse si se dispone un solo acumulador o varios (iguales) cuya capacidad sea igual al volumen calculado; el tamaño adecuado del sistema de acumulación permitirá una correcta instalación, operación y mantenimiento del mismo, teniendo en cuenta el espacio disponible, además que todo el diseño del sistema cumpla su normativa que le sea aplicable.

De preferencia el volumen de acumulación solar estará constituida por un solo depósito por sistema y este tiene un valor que se encuentre según el siguiente requisito:

$$50 < V / A_c < 180,$$

**Fuente:** Norma Ecuatoriana de Construcción, NEC-10

**Donde:**

**V** = volumen del Termo tanque (L) y

**A<sub>c</sub>** = área de captación (m<sup>2</sup>)

Para este sistema, se recomienda la instalación de medidores de presión y temperatura en la parte más alta del acumulador a fin de la visualizar sus valores.

El sistema de acumulación debe estar constituido por un único tanque acumulador y de configuración vertical de preferencia; ya que así se permite optimizar la relación superficie de pérdidas térmicas y volumen acumulado. El inconveniente es que reduce la fiabilidad de la instalación al no poder disponer de una capacidad de reserva para realizar operaciones de mantenimiento sin parar.

Esta configuración vertical favorece la estratificación del fluido caliente que, además, se puede potenciar con elementos adicionales específicos y la ubicación en espacios interiores permite mejorar su protección y así se reducen sus pérdidas térmicas; todos los acumuladores deberán quedar térmicamente aislados para minimizar las pérdidas correspondientes.

#### **1.4.5 SISTEMA HIDRÁULICO**

Comprende el conjunto de tuberías, bomba de circulación, válvulas (de corte, de seguridad, de retención, de regulación y termostáticas), accesorios, aparatos de medida (caudalímetros, contadores de energía) y filtros, los cuales se encargan de conectar todos los componentes que forman parte del sistema hidráulico.

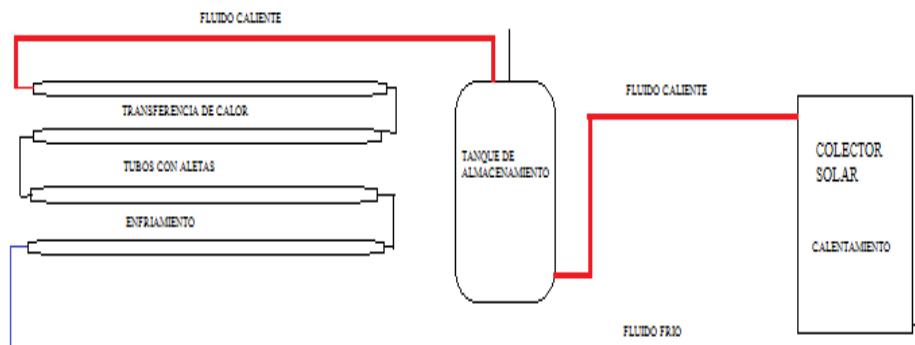
En el diagrama de la instalación debe especificar, sobre planos a escala, la ubicación de los colectores solares, acumuladores, intercambiadores, bombas, válvulas, depósitos de expansión, sistema auxiliar y el trazado de tuberías de todos los circuitos de la instalación.

Además, debe contener el grado de definición necesario para efectuar los cálculos de dimensionado, especificando el material y las secciones de tuberías, así como el caudal nominal que circulara en ellas; la longitud de tuberías siendo lo más corta posible, a fin de evitar las pérdidas térmicas en su recorrido, además que las tuberías por donde circule el fluido caliente deben estar aisladas térmicamente y aquellas que discurran por el exterior deben estar protegidas contra los factores ambientales y además para evitar el contacto con las personas. Se recomienda que la velocidad del fluido por la tubería no supere los 2 m/s y no deberá sobrepasar la pérdida de carga de 30 mm columna por cada metro de tubería.

El sistema requiere de una bomba de circulación, esta deberá instalarse de preferencia en la parte más fría del circuito; se debe asegurar que el sistema no tenga sobrepresiones producto de la expansión del fluido al calentarse.

### 1.4.5.1 Trazado del Sistema de Tubería

Luego de haber seleccionado la mejor posición del colector y el tanque de almacenamiento, se traza las diferentes tuberías que se conectarán para unir los diferentes elementos y realizar la transferencia de calor, en donde se analizará las longitudes menores de transporte y a la vez que se acople a las instalaciones de la planta y del secadero; en tales condiciones se tiene el siguiente esquema del sistema para su funcionamiento:



**Gráfico 13:** Diseño del Sistema de Tuberías para el Transporte del Fluido

Los trazados de tuberías se realizan de forma que se garanticen los caudales de diseño en todos los componentes y se minimicen las pérdidas térmicas de la instalación completa.

### 1.4.5.2 Trazado hidráulico del circuito

Define el recorrido de las diferentes tuberías del circuito en el sistema, de forma que se optimice la evacuación de calor del mismo y se cumplan los requisitos de seguridad, fiabilidad y funcionalidad que se hayan establecido; además debe garantizar una distribución equilibrada de los caudales por todos los grupos a fin de obtener una minimización de pérdidas térmicas.

El equilibrado hidráulico se alcanza cuando sean mínimas las diferencias de la temperatura a la salida, para ello se establece como criterio que las diferencias de caudales entre colectores y grupos sean inferiores al 10 %.

Para obtener un circuito equilibrado se logra mediante el ajuste de los caudales de circulación, mediante las reducciones de secciones de tuberías, reduciendo la longitud total del trazado, priorizando al trazado corto en el tramo caliente.

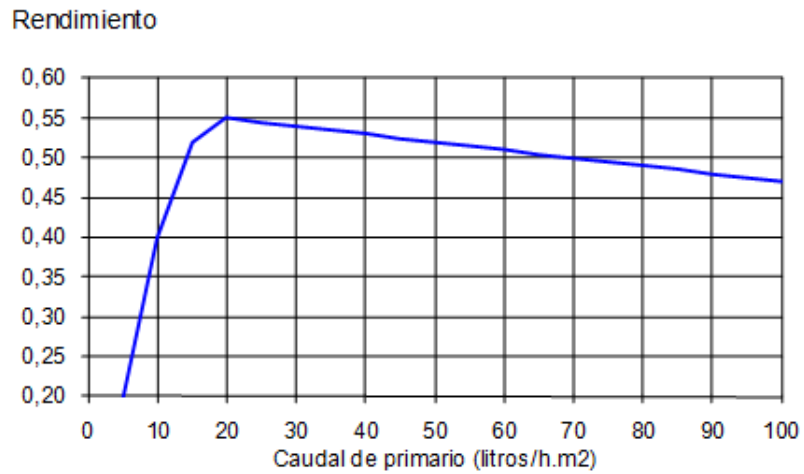
#### **1.4.5.2.1 Caudales del Sistema Hidráulico**

Aquí se establecen la capacidad de evacuación del calor desde el sistema de captación hasta la transferencia de calor, de manera eficiente y buscando la mejor relación entre los costos de los circuitos, las pérdidas térmicas y las pérdidas de carga que se producen.

##### **1.4.5.2.1.1 Circuito primario**

El rendimiento de la instalación solar con el caudal del circuito primario, existe un caudal óptimo, normalmente en el rango de 10 lt/h a 25 lt/h por metro cuadrado de área de colectores dependiendo de las características de la instalación, para el cual el rendimiento alcanza un valor máximo; su disminución se debe a que el circuito pierde capacidad de evacuación de calor.

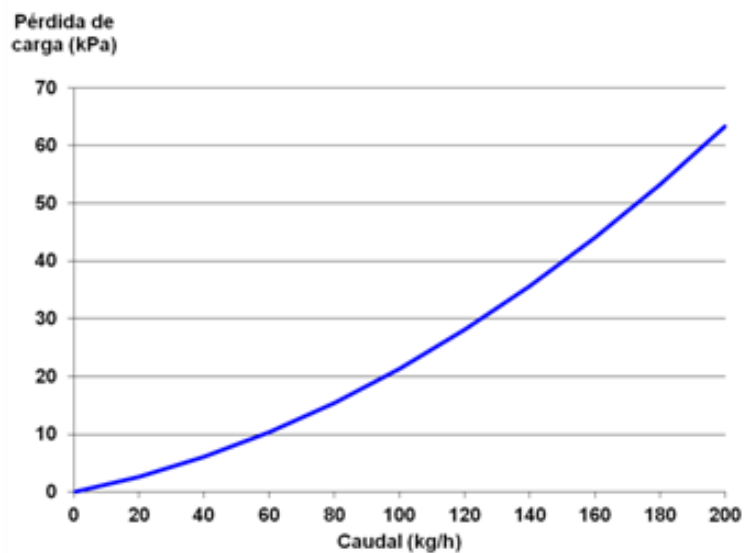
Para caudales superiores al óptimo, el rendimiento baja lentamente, debido a que aumentan los diámetros de tuberías y, por tanto, las pérdidas térmicas de los circuitos; se recomienda seleccionar un caudal por encima del óptimo pero no muy alejado de este, que se ha de determinar por un proceso de análisis y simulación completa de la instalación, entonces se toma los valores del lado de la seguridad entre 30 lt/h y 60 lt/h por metro cuadrado, siendo más utilizados los valores entre 40 lt/h y 50 lt/h por metro cuadrado.



**Figura 6:** Influencia del caudal en el rendimiento global

**Fuente:** Manual técnico Energía solar, Volumen 2, Martínez 2013

La selección del caudal no está condicionada por la forma de conexión de los colectores, serie o paralelo, sin embargo hay que tenerlo en cuenta para evaluar el caudal en cada colector y las pérdidas de carga que se generan.



**Figura 7:** Perdida de carga de un colector solar en función del caudal másico.

**Fuente:** Manual técnico Energía solar, Volumen 2, Martínez 2013.

#### 1.4.5.2.1.2 Circuito secundario

El fluido de trabajo será el caliente en el intercambiador y su caudal mínimo se establece para garantizar la transferencia de calor; un caudal excesivo en el circuito secundario, aunque mejore la transferencia de calor, disminuye las temperaturas de salida del intercambiador y produce mayor rotura de la estratificación del acumulador. Normalmente se define el caudal del secundario en función del caudal del circuito primario y debe estar en el rango [ASIT, 2010, López Lara, 2004]:

$$0.9 \times V_{\text{primario}} \leq V_{\text{secundario}} \leq V_{\text{primario}}$$

#### 1.4.5.3 Cálculo de diámetros de tuberías y pérdidas de carga

A fin de determinar los diferentes diámetros del circuito tanto primario como secundario, se sigue un procedimiento sencillo que consiste en los siguientes pasos:

- Identificar cada uno de los tramos un caudal, una longitud total e identificar los distintos componentes (bomba, válvulas, etc.) y accesorios (codos, tes, reducciones, etc.) que sea necesarios.
- Seleccionar un diámetro de tubería, según la fórmula:

$$d^2 = \frac{4Q}{\pi \cdot v} \quad (\text{Ecuación N° 7})$$

**Donde:**

**V**= velocidad media del fluido  $v$  (m/s)

**Q**= caudal volumétrico ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

**D**= sección libre interior (en  $\text{m}^2$ )

- La velocidad del fluido ( $v$ ) debe estar entre 0.3 m/s y 2.0 m/s cuando la tubería recorra en interiores o locales habitados, o mayor a 3.0 m/s cuando recorra en el exterior o por locales no habitados.

- Para cada tramo se calcula la pérdida de carga unitaria por metro lineal de tubería unitaria PC (mm.c.a./m) en función de la velocidad (v) y el diámetro (di) de acuerdo con la ecuación:

$$pc = 6.819 ( v / 145 \text{ m/s})^{1.852} \times di^{-1.167} \quad (\text{Ecuación N}^\circ 8)$$

- La pérdida de carga por metro lineal de tubería no supere los 40 mm.c.a.
- Se contabilizan en cada tramo todos los accesorios del circuito (reducciones, codos, tes y válvulas) y se transforman, en función del diámetro de la tubería (en mm) en longitud equivalente de tubería (en metros) de acuerdo con el siguiente tabla:

DIAMETRO	REDUCCIONES	CODOS	T (90°)	VALVULAS
12	0,05	0,30	0,45	2,50
15	0,10	0,60	0,90	4,60
18	0,15	0,75	1,20	6,10
22	0,20	0,90	1,50	7,60
28	0,30	1,20	1,80	10,60
35	0,35	1,50	2,10	13,60
42	0,40	2,10	3,00	17,60
54	0,50	2,40	3,60	19,60

**Tabla 7:** Transformación a longitud (mm) en función del espesor

**Fuente:** Perry J, Tomo II, 1974

- Para cada tramo se obtiene una longitud total de cálculo como suma de la longitud real y la longitud equivalente; este valor de la pérdida de carga unitaria por la longitud de cálculo del tramo se obtiene la pérdida de carga del tramo; aquí se contabilizan las restantes pérdidas de carga del circuito (tanque de acumulación e intercambiadores).



- Finalmente se suman todas las pérdidas de carga de los tramos, accesorios y componentes que intervienen en el circuito.

#### **1.4.5.4 Cálculo del Espesor para Aislamiento de tuberías**

Por el método de procedimiento simplificado se obtiene que los espesores mínimos de aislamiento térmicos, expresados en mm, en función del diámetro exterior ( $d_e$ ) de la tubería sin aislar y para un material con conductividad térmica de referencia a 10 °C de 0.040 W/m K deben ser los siguientes:

- Para Diámetros  $\leq 35$  mm: el espesor mínimo será 20 mm al interior y 30 mm al exterior.
- Para Diámetros  $> 35$  mm: el espesor mínimo será 30 mm al interior y 40 mm al exterior.

Los espesores mínimos de aislamiento de acumuladores y otros equipos, para un material con conductividad térmica de referencia a 10 °C de 0.040 W/m K no serán inferiores a 50 mm; y para las redes de tuberías que tengan un funcionamiento continuo, como redes de fluido caliente, deben ser los indicados anteriormente aumentados en 5 mm.

Los espesores mínimos de aislamiento de los accesorios de la red, como válvulas, filtros, etc., serán los mismos que los de la tubería en que estén instalados; en tuberías de diámetro exterior menor o igual que 20 mm y de longitud menor que 5 m, contada a partir de la conexión a la red general de tuberías hasta la unidad terminal, y que estén empotradas en tabiques y suelos o instaladas en canaletas interiores, será de 10 mm, evitando, en cualquier caso, la formación de condensaciones.

#### **1.4.5.5 Selección y montaje del aislamiento**

Para proceder a la correcta selección e instalación del aislamiento en los diferentes tramos de la tubería del sistema se tendrá en cuenta los siguientes aspectos:

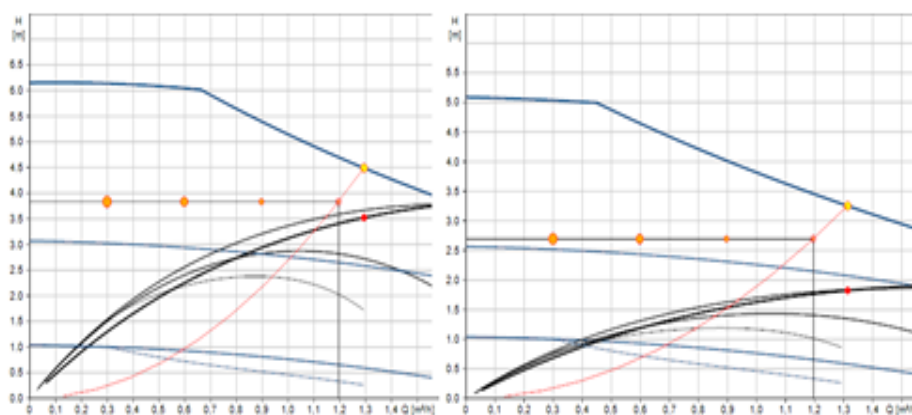
- Se aislarán todas las tuberías, accesorios y componentes del sistema a fin de disminuir sus pérdidas térmicas; con carácter general todo aquel que contengan fluidos a temperatura superior a 40 °C.
- El aislamiento no dejara zonas visibles de tuberías o accesorios, quedando únicamente al exterior los elementos que sean necesarios para el buen funcionamiento y operación de los componentes.
- No se aislarán los vasos de expansión ni el ramal de conexión entre el vaso de expansión y la línea principal del circuito.
- Se aislarán todos los acumuladores e interacumuladores de la instalación y otros, salvo que existan especificaciones cuando el fabricante lo haya incorporado a un subsistema de la instalación.
- El aislamiento de intemperie deberá llevar una protección externa que asegure la durabilidad ante las acciones climatológicas siendo las más recomendables la protección con chapa de aluminio, también son admisibles revestimientos con pinturas asfálticas, poli ésteres reforzados con fibra de vidrio o pinturas acrílicas.
- El cálculo de los niveles de aislamiento térmico se realizara de forma que las pérdidas térmicas globales por el conjunto de conducciones no superen el 4 % de la potencia que transporta.
- Para el cálculo del espesor de aislamiento se podrá optar por procedimiento simplificado o alternativo.

## 1.4.5.6 SISTEMA DE RECIRCULACION

### 1.4.5.6.1 Bomba

Es el elemento encargado de hacer circular el fluido a través del circuito hidráulico de la instalación; este dispositivo constituye el principal equipo en los sistemas térmicos solares de circulación forzada.

Se debe seleccionar de forma que el caudal y la pérdida de carga de diseño se encuentren dentro de la zona de rendimiento óptimo especificado; a partir de los datos de caudal y presión, en donde el caudal nominal será igual al caudal de diseño del circuito, en consecuencia la presión de la bomba deberá compensar la pérdida de carga del circuito correspondiente. Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo a ser utilizado. Debido a las altas temperaturas que se pueden alcanzar en una instalación solar, siempre que sea posible, las bombas en línea se montarán en las zonas más frías del circuito (tubería de retorno al captador), teniendo en cuenta que no se produzca ningún tipo de cavitación y siempre con el eje de rotación en posición horizontal.



**Figura 8:** Curvas de funcionamiento de bombas de circulación

**Fuente:** Manual técnico Energía solar, Volumen 2, Martínez 2013

#### 1.4.5.6.2 Válvulas

La elección de las diferentes válvulas se realiza de acuerdo con su función a desempeñar y las condiciones extremas de funcionamiento (presión y temperatura), siguiendo los siguientes criterios:

- a) Para aislamiento: válvulas de esfera.
- b) Para equilibrado de circuitos: válvulas de asiento.
- c) Para vaciado: válvulas de esfera o de macho.
- d) Para llenado: válvulas de esfera.
- e) Para purga de aire: válvulas de esfera o de macho.
- f) Para seguridad: válvula de resorte.
- g) Para retención: válvulas de doble compuerta, o de claveta.

Las válvulas de seguridad, por su importante función, deben ser capaces de derivar la potencia máxima de los captadores, incluso en forma de vapor, de manera que en ningún caso sobrepase la máxima presión de trabajo.

##### a) **Válvula de seguridad**

El sistema debe tener mínimo una válvula de seguridad en cada uno de los circuitos cerrados y siempre con manómetro e instaladas en lugar próximo a los sistemas de expansión; como regla general se debe instalar una válvula de seguridad en cada grupo de colectores y en cada uno de los acumuladores.

Se recomienda que la presión de tarado de las válvulas de seguridad sea superior a la válvula de seguridad principal, con el fin de priorizar la

descarga principal en caso de sobrepresión o anular el funcionamiento de las válvulas de seguridad secundarias cuando no tengan que estar operativas.

La posición de las válvulas de seguridad y la conducción del escape debe garantizar que en su descarga, no se provoquen accidentes como quemaduras; ante esto se debe proteger la seguridad de las personas.

#### **b) Válvulas de retención (che)**

Se deben instalar válvulas de retención o anti retorno de principalmente en la alimentación del fluido frío, en los circuitos cerrados a fin de evitar circulaciones naturales indeseadas y en cada una de las bombas; las mismas deberán garantizar un determinado nivel de hermeticidad para el máximo nivel de presión diferencial que se pueda establecer.

#### **1.4.5.6.3 Sistemas de Medida**

A fin de tener la información necesaria y requerida para el control del correcto funcionamiento de la instalación, es necesario disponer de los elementos de medida, sensores y elementos de control adecuados; dentro de los cuales se describen a continuación los dispositivos necesarios para tomar medidas de presiones, de temperaturas, de caudales, de energía térmica y demás variables necesarias.

Se debe contar con los recursos disponibles y así seleccionar los elementos más adecuados para proporcionar la información requerida, sin distinguir la tipología de sensores a utilizar, si son indicadores directos o si son transductores, analógicos o digitales.

Para la selección de los medidores y sus condiciones de instalación se debe tomar en cuenta los manuales de instalaciones térmicas y las recomendaciones de los fabricantes de los diferentes equipos.

Cuando se requiera la fiabilidad de la medida será conveniente que los sensores estén duplicados.

### **a) Equipo de llenado**

Los circuitos cerrados deben incorporar un sistema de llenado, manual o automático, que permita verificar el volumen del fluido en el circuito y así mantenerlo presurizado.

### **b) Sistemas de purga**

El aire contenido en el interior de los circuitos cerrados reduce la capacidad de transferencia de calor del sistema, puede dejar la bomba trabajando en vacío y además aumentar riesgos de oxidación interna.

### **c) Medidas de presión**

Se pueden instalar manómetros en un lugar próximo al sistema de llenado e integrado en el mismo; asociado al sistema de expansión y a la válvula de seguridad del sistema.

### **d) Medidas de temperatura**

Se deben disponer los mismos en la entrada y salida del grupo de captadores o también se puede tomar su medida a la entrada y salida del intercambiador de calor; aunque no se disponga de termómetros en las salidas de cada grupo, se deberían prever vainas de inmersión en cada una de ellas para puntualmente realizar las comprobaciones necesarias.

En general en los intercambiadores se medirán las entradas y salidas de los circuitos correspondientes y en los acumuladores situarlos en la parte superior e inferior para disponer de una medida de la estratificación de temperaturas y poder estimar la carga real de energía del sistema; cuando existan varios acumuladores, estos deben disponer de los mismos elementos de medida; también se puede disponer en la entrada del fluido frío, en la salida de fluido caliente del sistema de acumulación y en la salida de fluido caliente del sistema

auxiliar; en estos circuitos y debidos a la gran variabilidad del caudal, es importante tener en cuenta la inercia de los sensores de medida.

#### 1.4.6 SISTEMA DE APOYO

Puesto que la energía solar es disponible en forma aleatoria, los sistemas solares deben tener un sistema de apoyo o auxiliar; la capacidad del sistema auxiliar debe dimensionarse para que cubra el 100% de la demanda térmica y el mismo que debe entrar en funcionamiento solamente cuando sea estrictamente sea necesario, de forma que su prioridad siempre a la generación solar. Este apoyo auxiliar térmico, se recomienda que sea eléctrico para equipos iguales o menores a 720 litros de capacidad, la potencia recomendada es la siguiente:

<b>CAPACIDAD DEL SISTEMA (EN LITROS)</b>	<b>POTENCIA DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA</b>	<b>VOLTAJE</b>
140	1.500 W	110V
240	1.500 W	110V
320	1.500 W	110V
450	3.000 W	220 V
600	3.000 W	220 V
720	3.000 W	220 V

**Tabla 8:** Características recomendadas de sistemas auxiliares de energía

**Fuente:** Norma Ecuatoriana de Construcción, NEC-10, 1996.

#### 1.4.7 DETERMINACION Y ANALISIS DEL FLUIDO CALOPORTADOR

El fluido portador no debe ser tóxico, irritar seriamente a la piel u ojos, ni ser contaminante del agua y debe ser totalmente biodegradable.

Entre los fluidos más utilizables para este tipo de sistema se destacan:

<b>TIPO DE FLUIDO</b>	<b>CARACTERISTICA</b>	<b>CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (k)</b>
Agua	Agua tratada o adiciona químico para regular el pH donde se inhiba la corrosión e incrustamiento.	Depende de la temperatura, 0,556 W/m°C
Aceite quemado (autos)	Aceite de tipo recuperado y tratado que tenga la menor cantidad de solidos presentes.	Aceite lubricante, SAE 50 = 0,147 W/m°C
Aire (natural - ambiente)	El aire del ambiente previamente absorbido y controlado	0,024 W/m °C

**Cuadro 2:** Tipo de fluidos calo portador

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

#### 1.4.8 SISTEMA DE INTERCAMBIO DE CALOR

Se recomienda disponer válvulas de corte (VC) en todas las entradas y salidas de los intercambiadores y de los elementos necesarios para su desmontaje y limpieza: válvulas de purga (VP) y de desagüe (VD); el soporte y la ubicación del intercambiador debe permitir el desmontaje de las mismas; además simplificar el conjunto de válvulas que independizan componentes cercanos como los intercambiadores y bombas.

Los intercambiadores deben quedar térmicamente aislados, para que la transferencia sea máxima entre los fluidos de trabajo de los distintos circuitos y se minimicen las pérdidas al ambiente. Preferentemente, se deben instalar en espacios interiores para su mejor protección y reducir las pérdidas térmicas. Queda definido por los parámetros de potencia nominal, los caudales de diseño, valores de las temperaturas nominales de entrada y salida, y la efectividad del intercambiador.



La efectividad del intercambiador de calor se define como [ASIT, 2010]:

$$\epsilon = \frac{T_{fs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fe}} = \frac{P}{m C_p (T_{ce} - T_{fe})} \quad \text{(Ecuación N°9)}$$

**Donde:**

$T_{fs}$  = Temperatura a la salida del intercambiador.

$T_{fe}$  = Temperatura a la entrada al intercambiador (lado secundario).

$T_{ce}$  = Temperatura a la entrada al intercambiador (lado primario),

$m$  = Flujo másico a través del colector,

$C_p$  = calor específico del fluido de trabajo y

$P$  = potencia nominal del intercambiador.

Para las condiciones de diseño, la efectividad del intercambiador debe ser superior a 0.7.; la potencia de diseño del intercambiador solar  $P$  (en W) se definirá en función de la superficie útil de captación ( $A_{COL}$  en  $m^2$ ) de acuerdo con la siguiente relación:

$$P \geq (500 \text{ W/m}^2) \times A_{COL} \quad \text{(Ecuación N°10)}$$

**Donde:**

$P$  = potencia de diseño (W)

$A_{COL}$  = Área del colector

El factor de potencia unitaria o ratio (en este caso,  $500 \text{ W/m}^2$ ) a seleccionar que deberá cumplir con la normativa vigente que puede variar dependiendo de la localización de la instalación.

La pérdida de carga de diseño en los intercambiadores de calor externos, no deberá ser superior a 20 kPa, tanto en el circuito del lado del primario como en el circuito del lado del secundario.

### 1.4.9 SISTEMA ELECTRICO Y DE CONTROL

El sistema eléctrico y de control es el que se encarga del correcto funcionamiento el sistema, controlando la alimentación eléctrica a los distintos dispositivos electromecánicos existentes en el sistema, principalmente bombas y válvulas motorizadas.

El objetivo del sistema de control es maximizar la energía solar aportada y minimizar el consumo de energía auxiliar; a la vez de ser un medio adicional a los sistemas de protección y seguridad a fin de evitar temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos del sistema.

Se recomienda especificar la estrategia de control utilizada, tipo de control y la posición de las sondas de temperatura, así como adjuntar un esquema eléctrico del sistema.

#### 1.4.9.1 Equipo de control

Se debe utilizar un sistema de control de tipo diferencial, en función de la variación de temperatura entre la salida de colectores y el sistema de acumulación solar.



**Gráficos 14:** Modelos de sistema de control.

Para el resto de los circuitos el control de funcionamiento normal de las bombas será de tipo diferencial, comparando la temperatura más caliente de un sistema o circuito con la temperatura más fría del otro sistema o circuito.

Los sensores para reflejar la temperatura de salida de los colectores deben colocarse en la parte interna y superior de los mismos, en contacto con el absorbedor o a la salida de la batería de colectores solares; la distancia recomendada es máximo 30 cm de la salida de los colectores o de la batería para medir efectivamente su temperatura y de ser posible tomar los valores de temperatura en el interior de los acumuladores antes que en el sistema de tuberías.

El sensor de temperatura para el acumulador solar debe ser situado en la parte inferior del acumulador a una altura comprendida entre el 10 % y el 30 % de la altura total del acumulador.

En el caso particular de usar un intercambiador de tipo serpentín, se recomienda que se localice en la parte media del intercambiador; además aquí el rango de temperatura de trabajo o de funcionamiento del sistema de control será entre 25°C y 80 °C.

#### **1.4.9.2 Sistema de Monitorización**

Se recomienda la utilización de sistemas de monitorización en las instalaciones solares para realizar un adecuado control, seguimiento y evaluación de las mismas; las variables a medir y registrar serán:

- Temperaturas de los distintos sistemas, circuitos y ambiente.
- Caudales de los distintos fluidos de trabajo de todos los circuitos.
- Radiación solar global sobre el plano de colectores.

- Presión de trabajo en cada uno de los circuitos.
- Consumo de energía eléctrica.
- Consumo de energía en los sistemas auxiliar.
- Estado de funcionamiento de las bombas.

Preferentemente, se emplearan las siguientes tecnologías de medición:

Temperaturas entre 0 °C y 120 °C

Presiones manométricas: transductores piezoeléctricos.

Caudales: caudalímetros de turbina con emisores de pulsos.

# **CAPITULO II**

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1 VARIABLES PARA LA CARACTERIZACION DE CUERO

VARIABLE	DESCRIPCION	INDICADOR	RANGO	INSTRUMENTO DE MEDICION
Temperatura	Medición en todo el sistema interno e externo	Grados Celsius (° C)	10°C - 120°C	Termómetros - Pirómetros
Tiempo	Medición mientras su funcionamiento	Hora (h)	0.5 H - 24H	Cronómetros - Reloj
Humedad	Contenido antes y después del proceso	Porcentaje (%)	5 % - 35 %	Balanza Analítica (Método másico- pérdida)
Llenura	Índice de calidad obtenido del cuero	Juicio de valor	1 - 5	Sensorial (tacto)
Blandura	Índice de calidad obtenido del cuero	Juicio de valor	1 - 5	Sensorial (tacto)
Soltura de Flor	Índice de calidad obtenido del cuero	Juicio de valor	1 - 5	Sensorial (tacto)

**Cuadro 3:** Tipo de variables a determinarse en el producto final

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

### 2.1.1 Determinación de Humedad

Se realiza efectuando un secado en laboratorio, según el método de pérdida de masa con pequeñas muestras hasta lograr un peso constante y por diferencia de peso se tiene el valor en porcentaje de humedad presente en la muestra.

$$H = (P_i - P_f) \times 100 / P_i \quad \text{(Ecuación 11)}$$

**Donde:**

**H** = humedad del cuero (%)

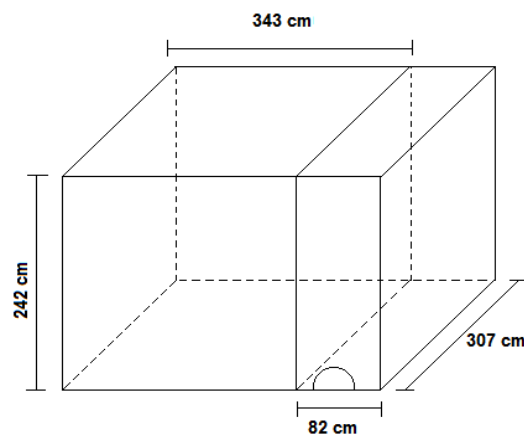
**P<sub>i</sub>** = peso inicial (g)

**P<sub>f</sub>** = peso final (g)

### 2.2 ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE CALEFACCION

El sistema que utiliza para el proceso de secado del cuero actualmente es la quema de gas (GLP) mediante un mechero en la zona de transferencia de calor, en el cual se genera calor y es absorbido por dos grandes ventiladores para ser transferido el mismo hacia las pieles, logrando así su pérdida de humedad.

La cámara de secado en donde se realiza su proceso tiene las siguientes dimensiones:

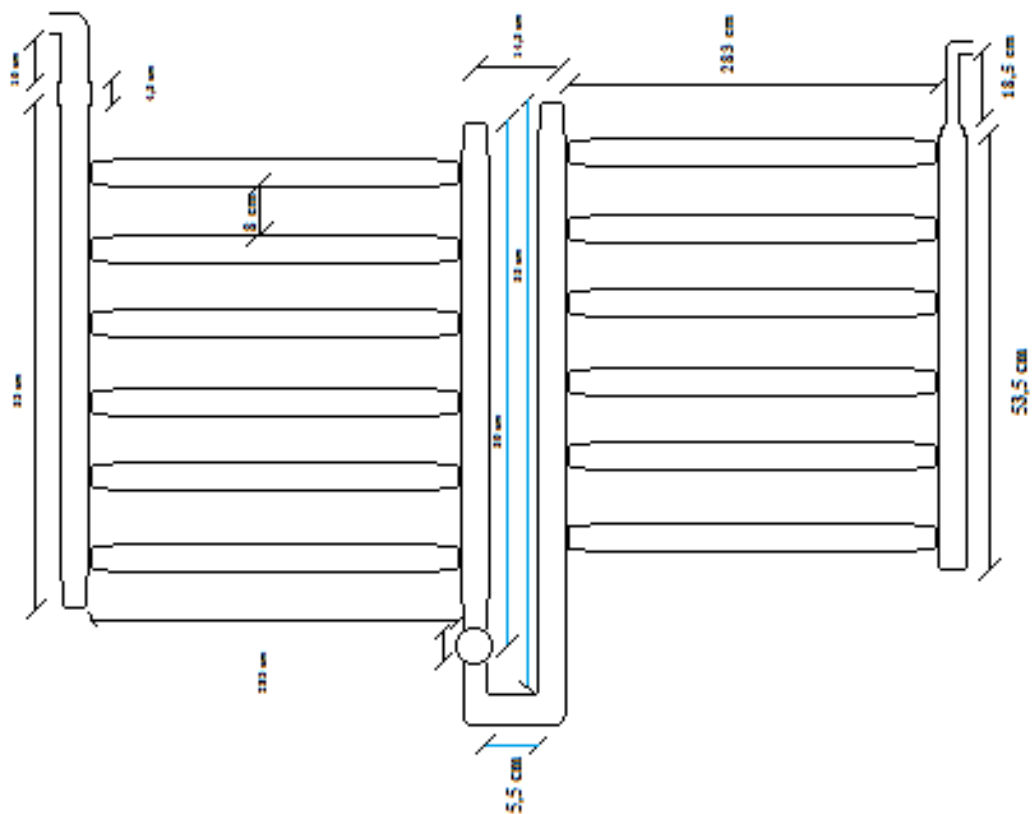


**Figura 9:** Dimensiones de la Cámara de Secado

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

Además aquí en la misma cámara de secado se encuentra introducido un sistema de tuberías (tubos aletados) que fueron utilizados para la transferencia de calor por un sistema de vapor y será en donde se acoplara el nuevo sistema propuesto.

Este sistema tiene las siguientes dimensiones y características.



**Figura 10:** Sistema de tubos aletados en su interior

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

### 2.1.1 Determinación de la Temperatura de Secado

A fin de determinar la temperatura de trabajo se realiza una simulación del proceso de secado convencional (sistema actual) utilizando la quema de gas (GLP) y mediante el monitoreo de la variación de temperatura.

La técnica que se utilizara para la obtención de la temperatura óptima sigue los siguientes pasos:



- **Paso 1:** Determinar la temperatura ambiente con un termómetro de mercurio u otro.
- **Paso 2:** Cerrar las puertas y todos los accesos de aire externo.
- **Paso 3:** Prender y regular la llama en el lugar determinado para la entrada de calor.
- **Paso 4:** encender los ventiladores.
- **Paso 5:** registrar los valores de temperatura según el paso del tiempo.

Con estos datos se determina la temperatura máxima requerida en el interior para satisfacer los requisitos para el efecto del secado del cuero.

### **2.1.2 Determinación de la Humedad del Cuero**

De la misma manera para la determinación de la humedad del cuero se monitorea las mismas en sus diferentes etapas; tanto a la entrada del secador, a dentro del secador y finalmente a su salida.

La técnica utilizada para la obtención de las humedades del cuero en sus diferentes etapas sigue los siguientes pasos:

- **Paso 1:** Muestrear el cuero antes, durante y al finalizar el proceso de secado.
- **Paso 2:** Identificar y aislar (envases herméticos) las diferentes muestras para llevarlas al laboratorio.
- **Paso 3:** Pesar las diferentes muestras y registrar el peso inicial.

- **Paso 4:** Llevarlas a la estufa a una temperatura de 110°C hasta que tengan un peso constante.
- **Paso 5:** Pesar y registrar las diferentes muestras secas.
- **Paso 6:** Aplicar la respectiva ecuación para la determinación de humedad (método másico – pedida de masa)

### 2.1.3 Identificación de las variables de proceso en el sistema de secado convencional

En el proceso de secado convencional en donde se utiliza la quema de gas (GLP) se identifican las siguientes variables:

VARIABLE	RANGO	UNIDAD	CARACTERISTICA
Temperatura	15 – 60	° Celsius	Aquella en la cual se desarrolla el proceso y se mantiene sus características de la materia prima y del proceso.
Humedad	10 - 30	% Porcentaje	Aquella se encuentra relacionada con las características de entrada como salida; relacionada directamente con su textura y calidad.
Tiempo	1 – 30	Minutos	Necesario para llegar a la obtención de la pérdida de humedad requerida y que cumpla con las características optimas del cuero seco.

**Cuadro 4:** Identificación de las variables

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

# **CAPITULO III**

### 3. CALCULOS

#### 3.1 Cálculos de Ingeniería

##### 3.1.1 Cálculo del Requerimiento Energético

Se determinará la energía necesaria que requiere el sistema; para lo cual se analizará las diferentes variables y parámetros de control en el proceso de secado del cuero cuando este proceso se encuentra en funcionamiento, los factores que influyen en esta demanda son la temperatura de uso del aire caliente y la temperatura de entrada de aire ambiente; con estos datos obtenidos se llega a determinar la cantidad de calor necesaria a satisfacer el proceso de secado; según la **Ecuación N° 2**:

$$Q_{\text{útil}} = 1,16 (40,74\text{Kg}) (716 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}) (343^\circ\text{K}-288^\circ\text{K})$$

$$Q_{\text{útil}} = 1604341 \text{ J o } 1604.4 \text{ KJ}$$

##### 3.1.2 Cálculo del rendimiento de colector solar

Depende de la energía útil ( $Q_{\text{útil}}$ ) y de la intensidad de la radiación solar para el sector (**Tabla 3**); se determina según la **Ecuación N°3**:

$$n = 1604,4 \text{ KJ} / (4490\text{Wh/m}^2 \times 2\text{m}^2)$$

$$n = 1,83$$

### 3.1.3 Calculo de la efectividad del Intercambiador

Se obtiene reemplazando en la **Ecuación N° 9**:

$$E = \frac{1000 \frac{W}{m^2}}{8,21 \text{ Kg} \times 716 \frac{J}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \times (313 - 293 \text{ }^\circ\text{K})} = 0,847 \geq 0,7$$

### 3.1.4 Calculo de la potencia de diseño:

Se obtiene reemplazando en la **Ecuación N° 10**:

$$P \geq (500 \text{ W/m}^2) \times 2 \text{ m}^2 = 1000 \text{ W}$$

## 3.2 Calculo del dimensionamiento y/ o capacidad del proceso

### 3.2.1 Dimensionamiento

La propuesta de diseño del sistema de calefacción solar para la cámara de secado, según las consideraciones tomadas del marco teórico del presente documento y su norma (Norma NEC-10), se consiguen las especificaciones siguientes:

- **Humedades y temperatura:**

CARACTERISTICA	SIMBOLO	Valor
Humedad a la entrada	H <sub>i</sub>	15 – 20 %
Humedad a la salida	H <sub>f</sub>	5 – 10 %
Temperatura media de secado	T <sub>m</sub>	30 - 50 °C

**Tabla 9:** Consideraciones necesarias para secado del cuero

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

- **Colector solar:**

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>VALOR</b>
Area de captación	2 m <sup>2</sup>
Capacidad del sistema	10 – 30 Litros
Material	Aluminio – Cobre
Numero de tubos primarios	2
Numero de tubos secundarios	10 – 14
Espacio entre tubos	5 – 10 cm
Longitud de marco	2 m
Ancho de marco	1 m

**Tabla 10:** Consideraciones necesarias para el Colector Solar

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

- **Tanque de almacenamiento:**

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>VALOR</b>
Capacidad	120 – 150 Litros
Material	Acero Inoxidable
Aislamiento térmico	Lamina de poliuretano
Sistema auxiliar	Resistencia eléctrica 1500 – 3000 W

**Tabla11:** Consideraciones para el Tanque de almacenamiento.

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

- **Intercambiadores de calor:**

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>VALOR</b>
Capacidad	8 - 12 Litros
Material	Acero Inoxidable
Sistema transferencia	Ventiladores 110 – 220 V

**Tabla 12:** Consideraciones necesarias para los Intercambiadores.

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

- **Sistema de Recirculación:**

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>VALOR</b>
Caudal secundario	0,1 – 0,05 L/min
Velocidad	2 – 3 m/s
Material	Acero Inoxidable
Potencia	0,5 – 1,5 HP

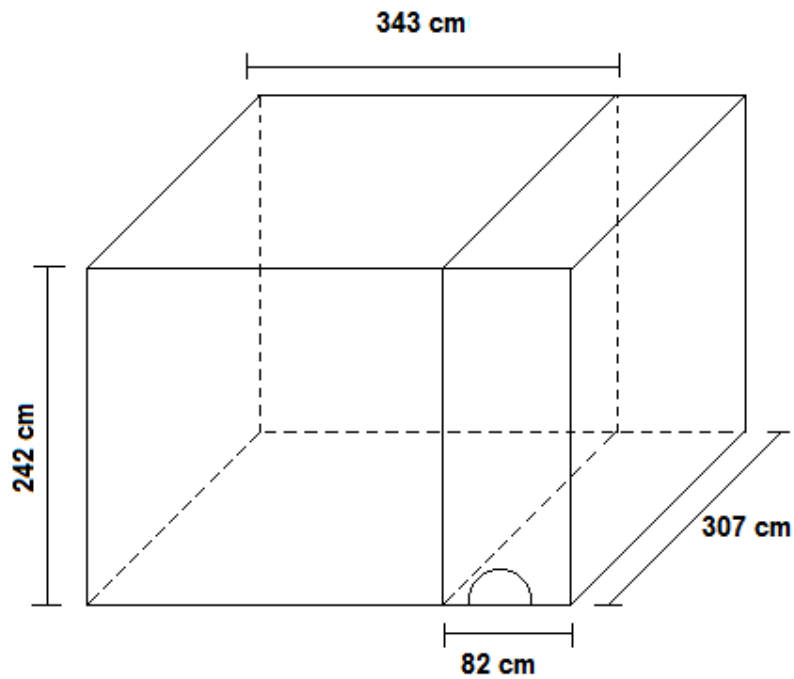
**Tabla 13:** Consideraciones necesarias para recirculación - Bomba.

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

### 3.2.2 Cálculo de la Capacidad del Sistema

#### 3.2.2.1 Volumen de la Cámara de Secado:

Se procede a analizar el área a la cual hay que cubrir la demanda de temperatura por medio de una transferencia de calor directa; luego de tener las dimensiones de la cámara, se calcula su volumen total según la **Ecuación N°1**:



**Figura 11:** Dimensiones de la Cámara de Secado

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

$$V = l . a . h \quad \text{(Ecuación 1)}$$

$$V = 425\text{cm} \times 307\text{cm} \times 242\text{cm}$$

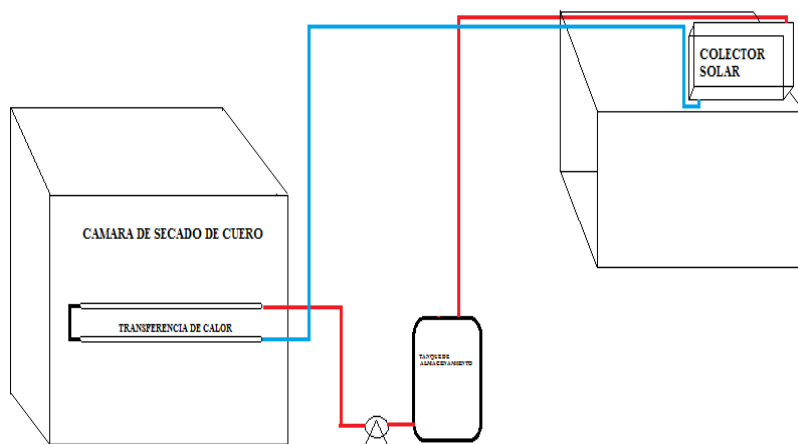
$$V = 31574950 \text{ cm}^3 = 31,58 \text{ m}^3 = 31580 \text{ L}$$



### 3.2.2.2 Sistema de Tuberías

Antes de proceder al trazado de las diferentes tuberías por donde circulará el fluido en el sistema se tomó en cuenta el lugar en donde se colocara el colector ya sea este en su parte más visible en donde trate de captar los rayos solares el mayor tiempo posible.

Luego de esto se traza su línea principal (fluido caliente) que va desde la salida del colector solar hacia el tanque acumulador y termina en la entrada del intercambiador de calor, procurando que sea la menor distancia posible y por lugares en donde no tenga contacto el personal que labora ni u otra persona, a fin de evitar algún tipo de riesgo u accidente. En primera instancia el trazado del sistema queda determinado según la siguiente **Figura 12**:



**Figura 12:** Esquema del Sistema de Tuberías - Cámara de Secado

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

De la misma forma se procede a trazar su línea secundaria (fluido frío) que va desde la salida del intercambiador de calor hacia el colector.

Luego de obtener los trazados de tuberías tanto primario como secundario, así como las longitudes de las mismas, se determinan el diámetro de tuberías siguiendo los puntos descritos en su diseño.

### 3.2.2.2.1 Calculo del Diámetro de Tuberías

En base a los datos de la velocidad media del fluido  $v$  (m/s), su caudal volumétrico  $Q$  (m<sup>3</sup>/s) y la sección libre interior (m<sup>2</sup>); se determina el diámetro interior  $d_i$  (m) de la tubería necesaria según la **Ecuación N° 8**.

<b>ETAPA</b>	<b>Diámetro interno (m)</b> $d^2 = 4Q/\pi.v$
Circuito primario	0,01902 – 0,02537
Circuito secundario	0,01902
Intercambiadores	0,01902 – 0,02537

**Tabla 14:** Calculo del Diámetro de Tuberías

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

### 3.2.2.2.2 Calculo de la perdida de cargas por Tuberías

Con los datos de los diámetros de la tubería ( $d_i$ ), la velocidad media del fluido ( $v$ ) en el sistema y según la **Ecuación N°9**, se tiene:

<b>ETAPA</b>	<b>Perdida de carga</b> <b>(mm.c.a)</b>
Circuito primario	25
Circuito secundario	18
Intercambiadores	15

**Tabla 15:** Calculo del Diámetro de Tuberías

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

### 3.2.2.3 Capacidad y/ Volumen Total del Sistema

Se determina según la longitud y diámetro de las diferentes tuberías que se encuentren en el sistema de calefacción; según la **Ecuación N°6**, se divide en las siguientes etapas o componentes:

<b>ETAPA</b>	<b>Volumen (Litros); <math>V = \pi.r^2.l</math></b>
Colector Solar	6,9 – 8,8
Circuito Caliente	4,59 - 6,84
Circuito Retorno	4,88 – 7,05
Intercambiadores	8,25 – 10,2
Tanque de Almacenamiento	140 - 160
<b>TOTAL</b>	165 - 193

**Tabla 16:** Volumen de los Componentes en el Sistema de Calefacción

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

### 3.3 Tipos de Materiales y Sistemas de Control

Entre los materiales y componentes que son necesarios para el control del sistema según los requerimientos y la eficiencia que se requiere en su diseño, se detallan a continuación:

ESTRUCTURA	TIPO DE MATERIAL	CARACTERISTICA
<b>Colector solar</b>		
Marco	Aluminio	Liso anodizado
Lamina Reflectante	Aluminio	Liso anodizado
Aislante	Poliuretano	Color negro
Tubería	Cobre	Tipo L (liquido y gas)
Vidrio	Templado	Min. 6mm de espesor
Termometro	Analogico	0 a 150 °C
<b>Tanque de almacenamiento</b>		
Tanque	Acero	Aislado térmicamente con protección catódica
Valvula de alivio	Acero	Presión máx. 160 psi
Termometro	Analogico	0 a 150 °C
<b>Sistema de tuberías</b>		
Tubo	Hierro galvanizado	½ a 1 pulgada de diámetro
Aislamiento	Poliuretano	De 3 a 5 cm de espesor
Valvulas	Cero	Globo
Termometro	Analogico	0 a 150 °C

**Tabla 17:** Tipos de Materiales y Sistemas de Control

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

### 3.4 RESULTADOS

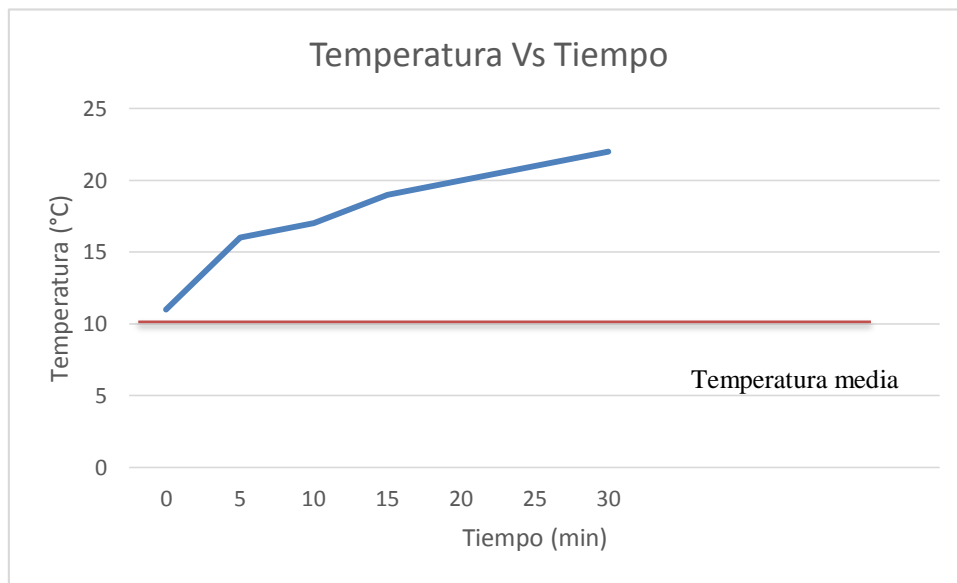
#### 3.4.1 Temperatura media de Secado

Luego de la simulación del proceso de secado del cuero utilizando la quema de gas (GLP) y mediante el monitoreo de la variación de su temperatura, se registraron los siguientes datos:

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)
0	15
1	25
2	28
3	35
4	44
5	50
6	54
7	56
8	58
9	60
10	63
	<b>Tm = 48,8</b>

**Tabla 18:** Datos Experimentales Obtenidos en el Proceso de Secado actual

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016.



**Grafico 15:** Variación de la temperatura en el proceso de secado convencional

### 3.4.2 Humedad del Cuero

Para la determinación de la humedad contenida en el cuero se monitorea las mismas en el proceso de secado convencional en sus diferentes etapas, tanto a la entrada del secador y a la salida del mismo; según la **Ecuación N° 11**.

a) Humedades del cuero a la entrada del secador (Temp.= 18°C)

Peso inicial	Peso final	Humedad
1,5746	1,3239	15,922
2,073	1,7315	16,474
1,4646	1,223	16,496
1,4949	1,2552	16,035
1,1533	0,9757	15,399
1,1397	0,9535	16,338
1,176	0,9848	16,259
1,6354	1,3658	16,485
1,3055	1,1095	15,013
1,6555	1,4041	15,186
<b>PROMEDIO</b>		<b>15,961</b>

**Tabla 19:** Humedades del cuero a la entrada del secador

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

b) Humedades del cuero a la salida del secador (Temp.= 30°C)

Peso inicial	Peso final	% Humedad
0,9626	0,8869	7,864
0,5378	0,5002	6,991
0,6935	0,6396	7,772
0,6407	0,5925	7,523
0,6221	0,5782	7,057
0,8662	0,8054	7,019
1,7297	1,6145	6,660
1,0311	0,9499	7,875
0,9536	0,876	8,138
0,9638	0,8688	8,720
<b>PROMEDIO</b>		<b>7,562</b>

**Tabla 20:** Humedades del cuero a la salida del secador

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

### 3.4.3 Resultados Obtenidos de la Cámara de Secado

Con los datos de la situación actual del proceso de secado y los de la cámara de secado e intercambiadores existentes, se tiene:

Característica	Símbolo	Valor	Unidad
Volumen de la Cámara	V	31,58	m <sup>3</sup>
Calor Útil requerido	Q	1604,4	KJ
Eficiencia térmica	e	84	%
Potencia de diseño	P	1000	W
Perdida de carga	pc	23	mm.c.a

**Tabla 21:** Resultados obtenidos de la Cámara de Secado

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016.

### 3.4.4 Validación del Sistema

A fin de validar el diseño propuesto se realizó la construcción e instalación de los diferentes componentes del sistema en concordancia con los lineamientos descritos en el dimensionamiento para el sistema descrito en el presente documento y acoplándose en los intercambiadores ya existentes en la cámara de secado que utilizaba como fluido el vapor generado por un caldero.

Los datos que se detallan a continuación son los reales que se tiene en la instalación del sistema de calefacción solar, los cuales son:

- Para el Colector solar:

Característica	Símbolo	Valor	Unidad
Diámetro tubería primaria	di	2,29	cm
Diámetro tubería secundaria	di	1,66	cm
Longitud tubería primaria	L	138	cm
Longitud tubería secundaria	L	2436	cm
Área	A	2	m <sup>2</sup>
Volumen	V	0,007	m <sup>3</sup>

**Tabla 22:** Datos técnicos del Colector Solar

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

- Para el Tanque de Almacenamiento:

Característica	Símbolo	Valor	Unidad
Diámetro	Di	2,2	m
Longitud	L	1,14	m
Ancho	A	0,49	m
Volumen	V	1,4	m <sup>3</sup>
Sistema de apoyo	Qr	1500	kW

:

**Tabla 23:** Datos técnicos del Tanque de Almacenamiento

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016



- Para el Intercambiador de calor:

Característica	Símbolo	Valor	Unidad
Diámetro tubería primaria	di	2,25	cm
Diámetro tubería secundaria	di	2,1	cm
Longitud	l	3,5	m
Ancho	a	1	m
Área	A	3,5	m <sup>2</sup>
Volumen total	V	1,2	m <sup>3</sup>

**Tabla 24:** Datos técnicos de los Intercambiadores de calor

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

- Para el Sistema de tuberías:

Característica	Símbolo	Valor	Unidad
Diámetro tubería fluido caliente	di	2,25	cm
Diámetro tubería fluido frio	di	2,1	cm
Longitud fluido caliente	l	14	m
Longitud fluido frio	l	15	m
Volumen fluido caliente	V	0,7	m <sup>3</sup>
Volumen fluido frio	V	0,9	m <sup>3</sup>

**Tabla 25:** Datos técnicos del Sistema de Tuberías

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

#### 3.4.4.1 Potencia de la bomba

Utilizando una bomba de 1 HP para el sistema y midiendo sus valores según el Anexo N° 3, se obtiene los siguientes datos:

n	$\phi$ (m)	$v$ (m/s)	Re	$f$	$h_T$	H (m)	W (Kg/s)	Hp
1	0,019	0,25	4320	0,0405	0,187	1,75	0,0709	2,2

**Tabla 26:** Resultados de la potencia de la bomba

**Fuente:** Saltos Javier. ESPOCH 2016

#### 3.4.4.2 Temperaturas Alcanzadas por el Sistema

Localización	Estado de Acumulación (°C)	Estado de Funcionamiento (°C)
Panel parte superior	60°	45
Tanque de almacenamiento	58	50
Entrada a la cámara		48
Salida de la cámara		18

**Tabla 27:** Datos de temperatura del sistema de calefacción solar

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

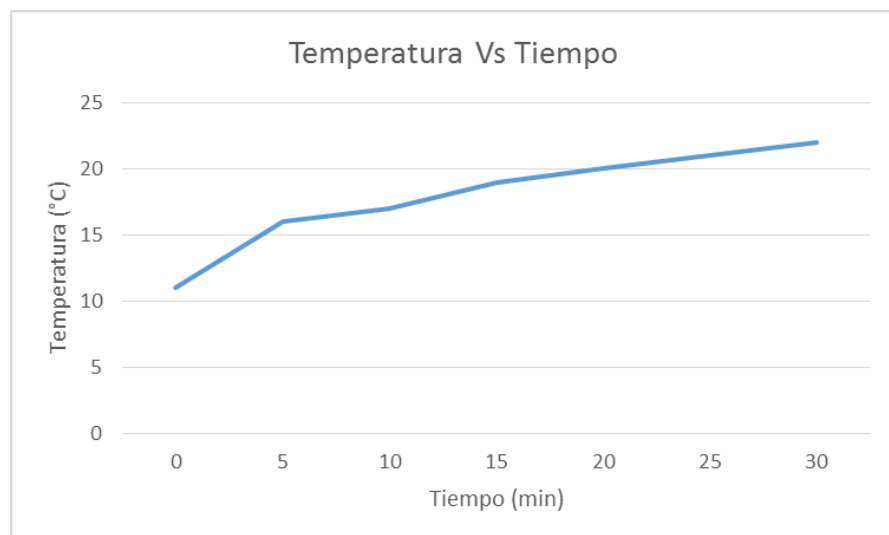
### 3.4.4.2 Datos de Temperatura Vs Tiempo del Sistema de Secado

En un proceso de secado del cuero utilizando la energía solar con transferencia de calor tipo forzada en la cámara de secado y monitoreando sus temperaturas se obtuvo los siguientes datos:

Tiempo (min)	Temperatura (°C)
0	11
5	16
10	17
15	19
20	20
25	21
30	22

**Tabla 28:** Datos de temperatura Vs tiempo (Cámara de Secado)

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016



**Gráfico 16:** Variación de Temperatura en el Proceso de Secado Solar

#### 3.4.4.4 Humedades del cuero obtenido

(Temperatura = 22°C):

Peso inicial	Peso final	Humedad
0,9726	0,8869	8,811
0,5478	0,5002	8,689
0,7035	0,6396	9,083
0,6907	0,6296	8,846
0,6721	0,6082	9,508
0,8862	0,8054	9,118
0,7812	0,7123	8,820
0,9911	0,9026	8,929
0,9536	0,8666	9,123
0,9638	0,8788	8,819
<b>PROMEDIO</b>		<b>8,975</b>

**Tabla 29:** Humedades del cuero obtenido

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

#### 3.4.4.5 Calor generado y perdido:

Para obtener estos valores se basa en las temperaturas y volúmenes alcanzados por el sistema cuando este entra en funcionamiento; según la **Ecuación N° 2**, obteniendo los siguientes datos:

Calor generado (KJ)	Calor trasferido (KJ)	Calor perdido (KJ)
31186,45	20807,3	10379,15
<b>En Porcentaje</b>		
100%	66,71 %	33,3 %

**Tabla 30:** Cantidad de Calor Generada por el Sistema

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

### 3.4.4.6 Caracterización del producto final obtenido:

VARIABLE	DESCRIPCION	INDICADOR	VALOR	INSTRUMENTO DE MEDICION
Temperatura	Medición en todo el sistema interno e externo	Grados Celsius (° C)	22°C	Termómetros - Pirómetros
Tiempo	Medición mientras su funcionamiento	Hora (h)	4 H	Cronómetros - Reloj
Humedad	Contenido antes y después del proceso	Porcentaje (%)	8,98 %	Balanza Analítica (Método másico-pérdida de peso)
Llenura	Índice de calidad obtenido del cuero	Juicio de valor 5= Bueno	4	Sensorial (tacto)
Blandura	Índice de calidad obtenido del cuero	Juicio de valor 5= Bueno 1= malo	4	Sensorial (tacto)
Soltura de Flor	Índice de calidad obtenido del cuero	Juicio de valor 5= Bueno 1= malo	4	Sensorial (tacto)

**Cuadro 5:** Caracterización del producto final obtenido - cuero seco

### 3.5 PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE CALEFACCION SOLAR

A continuación se detalla el presupuesto para la construcción del panel solar que se utilizara para el sistema de calefacción de la cámara de secado del cuero; que luego de analizar aspectos como la selección de material, disponibilidad de los mismos, costos y calidad, se obtuvieron los siguientes datos:

CANTIDAD	DETALLE	PRECIO (\$)
<b>CARCAZA</b>		
1	Tubo rectangular de 4P x 1 ¾	70,00
1	Plancha lisa 122x244 de 1.5 mm	70,00
1	Plancha de espuma de poliuretano de 5cm	12,00
2	Siliconas Abro para alta temperatura	6,00
1	Trabajo de construcción de la carcaza	60,00
<b>LAMINA REFLECTANTE</b>		
1	Plancha lisa 122x244 de 1.2 mm	55,00
1	Trabajo de dobladura en prensa	50,00
<b>SISTEMA DE TUBERIAS INTERNA</b>		
4	Tubos de cobre de ¾ pulg. Tipo L (6	240,00
1	Tubo de cobre de 1 pulg. Tipo L (2 metros)	50,00
2	Tapones de Cobre de 1 pulg.	8,00
2	Uniones de Cobre de ¾ pulg.	6,00
20	Electrodos de Pt al 5% para soldadura	40,00
1	Trabajo de soldadura	250,00

<b>AISLAMIENTO Y PROTECCION</b>		
1	Plancha de espuma de poliuretano de 5cm AC	18,00
2	Envases de espuma de poliuretano de 500cm <sup>3</sup>	18,00
4	Siliconas Abro para alta temperatura	12,00
1	Vidrio templado transparente 1x 2m de 6mm	180,00
1	Galón de pintura esmalte negro mate	18,00
<b>SUMA</b>		1163,00
<b>IMPREVISTOS (10%)</b>		116,3
<b>VALOR TOTAL</b>		1279,3

**Tabla 31:** Requerimiento económico para la construcción del colector solar

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016

Nota: No se estiman los costos de transporte.

Tanto para el tanque de almacenamiento, sistema de tuberías y accesorios se tiene los siguientes datos:

<b>CANTIDAD</b>	<b>DETALLE</b>	<b>COSTO (\$)</b>
<b>TANQUE DE ALMACENAMIENTO</b>		
1	Tanque SIDEC de 115 litros	200
1	Termostato completo 220V 1500W	46

<b>SISTEMA DE TUBERIAS Y ACCESORIOS</b>		
8	Tubo HG de $\frac{3}{4}$ de 8m	96,00
1	Angulo de $\frac{3}{4}$ pulgada de 6m	10,00
1	Válvula de alivio 150 psi	16,00
3	Termómetros analógicos industriales	120,00
2	Codos de 1 pulgada	3,00
6	Codos de $\frac{3}{4}$ pulgada	12,00
6	Universales de $\frac{3}{4}$ pulgada	9,00
6	T de 3/4	6,00
2	Válvulas de globo de $\frac{1}{2}$ pulgada	10,00
1	Válvula Check de 3/4	8,50
6	Cañuelas de 3m de 1pulgada	30,00
3	Cinta térmica 3M	27,00
1	Bomba de 1 HP de 110V	255,00
40	Metros de cable N° X para 220 Voltios	50,00
2	Breaker de 80 A de 110 y 220 Voltios	25,00
1	Trabajo de instalación	250,00
<b>SUBTOTAL</b>		1174,50
<b>IMPREVISTOS (10%)</b>		117,45
<b>VALOR TOTAL</b>		1291,95

**Tabla 32:** Requerimiento Económico para la Instalación del Sistema

**Fuente:** Javier Saltos, ESPOCH 2016



### 3.5 ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

Según los datos experimentales obtenidos y registrados en la **Tabla 18** del proceso de secado por el método convencional que utiliza la quema de gas (GLP) la temperatura media de secado requerida en el interior de la cámara la cual satisface los requisitos del secado del cuero es de 30 °C.

La variación de la temperatura en el proceso de secado convencional según se observa en el **Grafico N° 15**, tiene una curva ascendente que partirá de su temperatura ambiente y llega a estabilizarse en la parte superior alrededor de los 60 °C.

Las humedades promedio del cuero según las **Tablas 19 y 20** determinan que la humedad inicial de una piel es de 16 %, la cual luego del proceso de secado llega a 7,5 %, por tanto existe una reducción de la humedad en un 52,75 % valor que es empleado como referencia o punto óptimo del proceso.

La eficiencia teórica de los intercambiadores según el dato de la **Tabla 21** llega al 84%, esta es superior al mínimo requerido que es del 70% para que se describa que es un equipo eficiente.

Luego de su construcción e instalación del sistema de calefacción solar a fin de validar el diseño propuesto, se obtiene los datos técnicos para los diferentes componentes del sistema según las **Tablas 22, 23, 22 y 25**; los mismos que se encuentran dentro de parámetros de la Norma NEC-10.

Según la **Tabla 26** y mediante la utilizando de una bomba para el sistema de recirculación, se tiene los datos técnicos para la potencia de la bomba, la cual es superior a la requerida y por tanto realiza un trabajo eficiente.

Las Temperaturas Alcanzadas por el Sistema, según la **Tabla 27** registran valores altos en sus diferentes estados y localización; como también una reducción significativa luego de realizar su transferencia de calor en los

intercambiadores logrando transferir su energía calorífica al interior de la cámara de secado.

Según los datos experimentales obtenidos y registrados en la **Tabla 28** del proceso de secado utilizando la energía solar con transferencia de calor tipo forzada en la cámara de secado utilizando el fluido agua, la temperatura máxima alcanzada en el interior del sistema es de 22°C; siendo esta mucho menor a la requerida en por el método convencional (30°C), para lo cual se requerirá un mayor tiempo de secado convirtiéndose en un proceso de secado lento.

La variación de la temperatura en el proceso de secado solar según se observa en el **Grafico N° 16**, tiene una curva ascendente que partirá de su temperatura ambiente y llega a estabilizarse en la parte superior alrededor de los 22 °C, esta es la máxima con la que trabajara el sistema.

Las humedad promedio del cuero obtenido por el sistema solar, según la **Tabla 29** determinan que la humedad luego del proceso de secado llega a 8,98 %; obteniendo una reducción de un 43,87%; esta es menor en comparación al método convencional que es del 52,75 %.

Según los datos registrados en la **Tabla 30** con el sistema en funcionamiento, utilizando el fluido agua, en base a las capacidades y temperaturas alcanzadas tenemos un 66,71 % de calor trasferido y un 33,3% de calor perdido ya que la cámara no está lo suficientemente aislada térmicamente en su interior; por tanto a mayor temperatura se encuentre el sistema (colector) mayor será su transferencia e incremento de temperatura en la cámara de secado.

Al realizar la caracterización del producto final obtenido (cuero seco) por el método convencional y según los datos del **Cuadro N° 5**, se tiene que el cuero cumple con las características físico- químicas para que este pase a su etapa de acabado y confección para el uso al que este destinado el producto cuero.

# **CAPITULO IV**

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Se diseñó un sistema de calefacción solar para la cámara de secado del cuero mediante la utilización de energía solar, logrando suplir la energía requerida por el método convencional y obteniendo un producto que conserve sus características físico - químicas.
- Se realizó un simulador de proceso en la cámara de secado existente cuando este se encuentre en funcionamiento a fin de obtener sus variables de proceso las que nos ayudan al dimensionamiento del sistema solar, las cuales fueron temperatura, tiempo y humedades.
- Se realizó el Diseño de Ingeniería del Sistema de Calefacción (Cálculos Técnicos, Capacidad del Sistema, Tipo de Materiales y Fluido, Presupuesto) para la cámara de secado; en el cual se basa para cumplir las exigencias de sus variables operacionales.
- Se Validó el diseño del sistema de calefacción temperatura mediante la construcción e implementación de sus diferentes componentes acoplándose a la cámara existente, donde se obtuvo resultados de humedad y temperatura alcanzados por el sistema y finalmente la caracterización del producto obtenido.

## 4.2 Recomendaciones

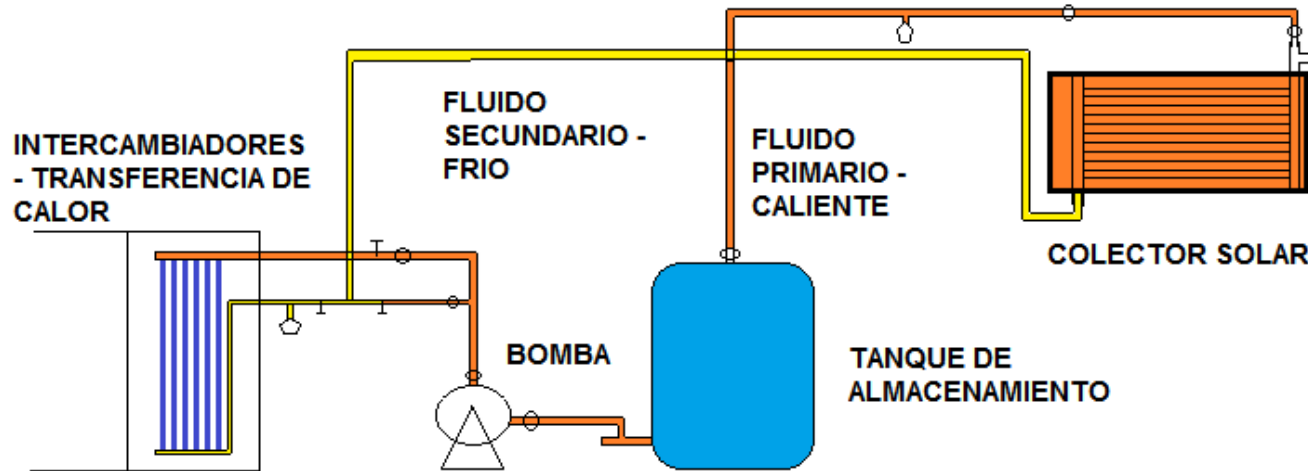
- A fin de incrementar la eficiencia del sistema y reducir las pérdidas se sugiere recubrir la cámara de secado con un aislamiento tanto en paredes como en el techo del mismo.
- Para reducir los tiempos de secado se puede instalar un panel solar adicional que será colocado en serie o en paralelo al mismo ya existente; esto ayudara a ampliará el área de captación y por tanto a incrementar la temperatura del sistema.
- Como alternativa para incrementar la temperatura en el tanque de almacenamiento se podrá instalar otro termostato de igual característica que el existente como sistema de apoyo y conservación de su temperatura.
- Se recomienda determinar el tiempo optimo en el cual el producto final obtenga y conserve sus características físico – químicas, especialmente en cuanto a su contenido de humedad.
- El sistema actual deberá ser usado en sistemas en los cuales se requiera un secado lento y controlado, en forma domestica e industrial.
- Se sugiere incluir un manual de mantenimiento sencillo para el sistema de calefacción Solar, a fin de conversar sus equipos y obtener su eficiencia máxima.
- A fin de preservar el sistema de tuberías y equipos ante la corrosión se puede adicionar un aditivo químico que sea apto para el fluido de trabajo y que no interfiera en su proceso de transferencia de calor.

## BIBLIOGRAFÍA:

- **CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY.** *Manual de aire acondicionado.* España – Barcelona: Marcombo, 1996, pp. 640 - 670.
- **SARDÓN, JOSÉ M<sup>a</sup> DE JUANA.** *Energías renovables para el desarrollo.* España – Madrid: Paraninfo, 2008, pp.14 -187.
- **HOLMAN, JACK PHILIP.** *Transferencia de calor,* 8<sup>va</sup> Edición. México DF. – México: Compañía editorial continental, 1999, pp.1 - 33.
- **MANRIQUE, JOSÉ A. G.** *Energía Solar. Fundamentos y Aplicaciones Foto térmicas.* México – México: Harla, 2000, pp. 245 – 632.
- **MONTGOMERY, RICHARD.** *Energía solar: Selección de Equipo, Instalación y Aprovechamiento.* México DF - México: Limuza,1994, pp. 99 - 340.
- **MORERA, J. M.; & ADZET RIBA, JUAN.** *Técnica de Curtición y Secado del Cuero* [En línea]. España- Barcelona: De Vecchi Ediciones. 2000. [Consulta: 10 agosto 2016]. Disponible en: [http://www.cueronet.com/tecnica/quimica\\_tecnica.htm](http://www.cueronet.com/tecnica/quimica_tecnica.htm)
- **PERRY, ROBERT H.** *Manual de ingeniero químico.* 6<sup>ta</sup> Edición. España- Barcelona: McGraw Hill, 1994, pp. 57 - 603.

**ANEXOS**

**Anexo I.** Esquema del Diseño del Sistema de Calefacción Solar para la Cámara de Secado.



<p><b>NOTAS</b></p>	<p><b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b></p>	<p>Escuela Superior Politécnica de Chimborazo</p> <p>Facultad de Ciencias</p> <p>Escuela de Ingeniería Química</p> <p><b>PROYECTO DE TITULACION</b></p> <p><b>Proponente:</b> <b>Javier Antonio Saltos Avalos</b></p>	<p><b>ESQUEMA DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE CALEFACCION SOLAR PARA LA CAMARA DE SECADO</b></p>		
	<p> <input type="checkbox"/> Certificado    <input type="checkbox"/> Por Eliminar  <input type="checkbox"/> Aprobado    <input type="checkbox"/> Por Aprobar  <input type="checkbox"/> Por Calificar    <input type="checkbox"/> Información                 </p>		<p><b>Lámina</b></p> <p>02</p>	<p><b>Escala</b></p> <p>A<sub>4</sub> /1:100</p>	<p><b>Fecha</b></p> <p>21/10/2016</p>
<p>Todos los componentes y Equipos del Sistema necesarios para la Calefacción Solar</p>					



**ANEXO II. Construcción del Colector Solar – Etapa de la Carcaza**



**A**



**B**



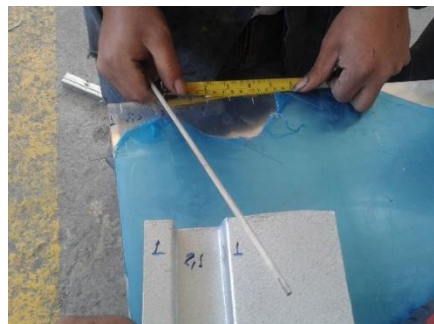
**C**



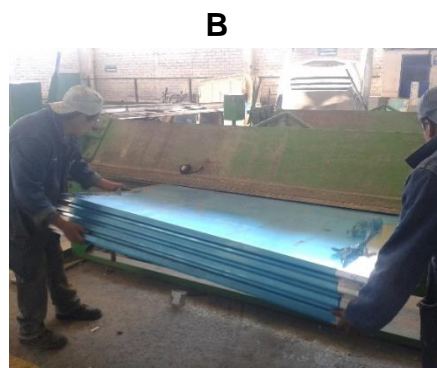
**D**

<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>Escuela Superior Politécnica de Chimborazo</b>  <b>Facultad de Ciencias</b>  <b>Escuela de Ingeniería Química</b>  <b>PROYECTO DE TITULACION</b>  <b>Proponente:</b> <b>Javier Antonio Saltos Avalos</b>	<b>CONSTRUCCIÓN DEL</b>		
			<b>COLECTOR SOLAR – ETAPA DE LA CARCAZA</b>		
<b>A:</b> Preparación de Materiales <b>B:</b> Corte de materiales <b>C:</b> Armado de estructura <b>D:</b> Remachado de tapa	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Información		<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			01	A <sub>4</sub> /1:100	21/10/2016

### ANEXO III. Construcción del Colector Solar – Etapa de Lámina Concentradora



**A**



**B**



**C**



**D**

<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>Escuela Superior Politécnica de Chimborazo</b>  <b>Facultad de Ciencias</b>  <b>Escuela de Ingeniería Química</b>	<b>CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR SOLAR – ETAPA DE LAMINA REFLECTIVA</b>		
<b>A:</b> Medición de canales <b>B:</b> Realización de doblado <b>C:</b> Máquina Dobladora <b>D:</b> Lámina doblada	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Información	<b>PROYECTO DE TITULACION</b>  <b>Proponente:</b> <b>Javier Antonio Saltos Avalos</b>	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			03	A <sub>4</sub> /1:100	21/10/2016

**ANEXO IV. Construcción del Colector Solar – Etapa de Tubería de Cobre.**



**A**



**B**

<p><b>NOTAS</b></p>	<p><b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b></p>	<p><b>Escuela Superior Politécnica de Chimborazo</b>   <b>Facultad de Ciencias</b>   <b>Escuela de Ingeniería Química</b>   <b>PROYECTO DE TITULACION</b>   <b>Proponente:</b>  <b>Javier Antonio Saltos Avalos</b></p>	<p><b>CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR SOLAR – ETAPA DE TUBERÍA DE COBRE</b></p>		
	<p><b>A:</b> Inserción de tubos primarios y secundarios   <b>B:</b> Soldada de la tubería</p>		<p> <input type="checkbox"/> Certificado    <input type="checkbox"/> Por Eliminar  <input type="checkbox"/> Aprobado    <input type="checkbox"/> Por Aprobar  <input type="checkbox"/> Por Calificar    <input type="checkbox"/> Información                 </p>	<p><b>Lámina</b></p>	<p><b>Escala</b></p>
			<p>04</p>	<p>A<sub>4</sub> /1:100</p>	<p>21/10/2016</p>

**ANEXO IV. Construcción del Colector Solar – Etapa de Tubería de Cobre.**



<p><b>NOTAS</b></p>	<p><b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b></p>	<p><b>Escuela Superior Politécnica de Chimborazo</b></p> <p><b>Facultad de Ciencias</b></p> <p><b>Escuela de Ingeniería Química</b></p>	<p><b>CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR SOLAR – ETAPA DE CONSTRUCCIÓN</b></p>		
	<p><b>A:</b> Preparación de Materiales <b>B:</b> Corte de materiales <b>C:</b> Armado de estructura <b>D:</b> Remachado de tapa</p>		<p><input type="checkbox"/> Certificado    <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado    <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar    <input type="checkbox"/> Información</p>	<p><b>PROYECTO DE TITULACION</b></p> <p><b>Proponente: Javier Antonio Saltos Avalos</b></p>	<p><b>Lámina</b></p>
			<p>05</p>		<p>A<sub>4</sub> /1:100</p>

**ANEXO IV. Construcción del Colector Solar – Etapa de Tubería de Cobre.**



**A**



**B**



**C**



**D**

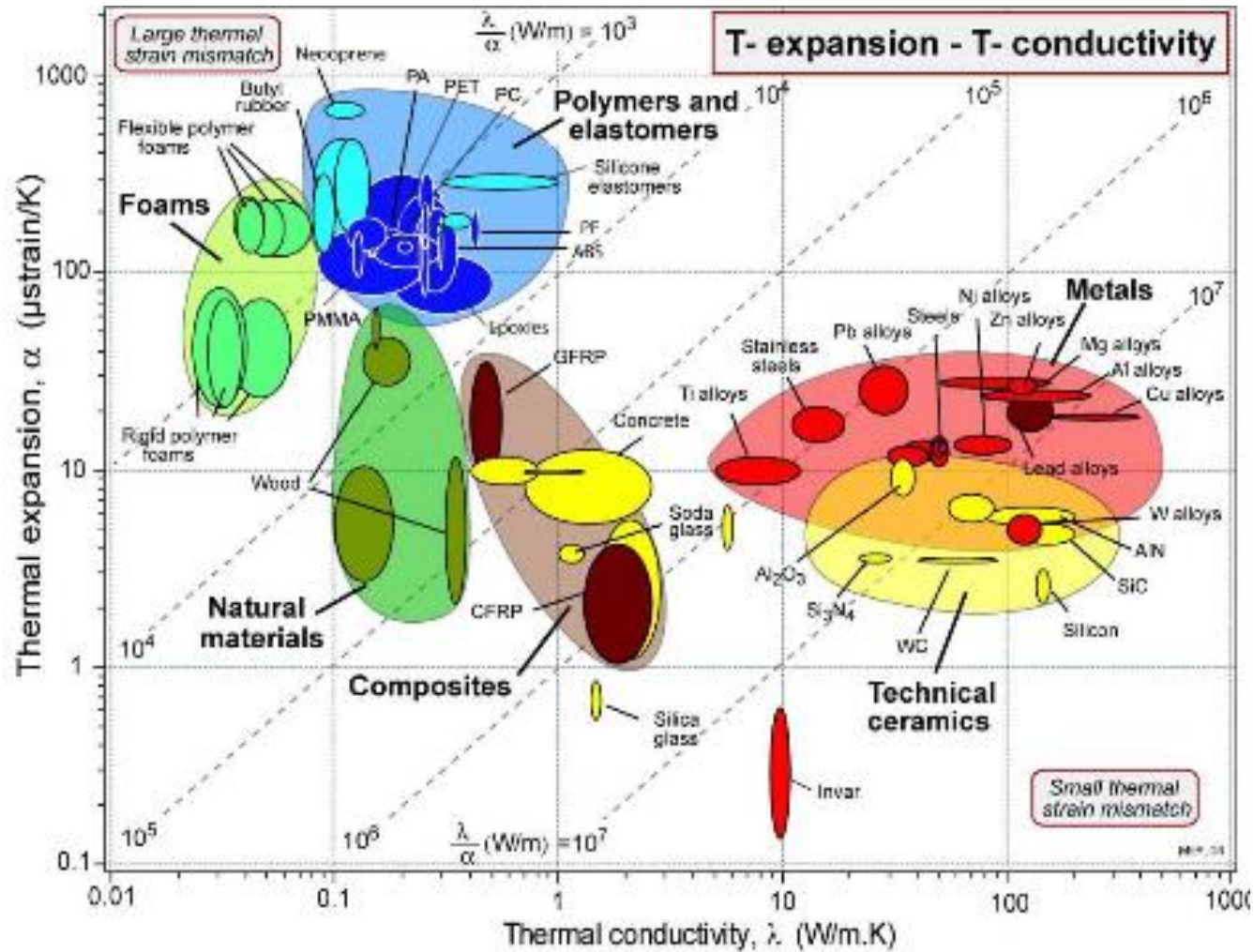


**E**

<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>Escuela Superior Politécnica de Chimborazo</b>  <b>Facultad de Ciencias</b>  <b>Escuela de Ingeniería Química</b>  <b>PROYECTO DE TITULACION</b>  <b>Proponente:</b> <b>Javier Antonio Saltos Avalos</b>	<b>CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR SOLAR – ETAPA DE CONSTRUCCIÓN</b>		
<b>A y B:</b> Colocación del Colector. <b>C y D:</b> Instalación y aislamiento de la tubería. <b>E:</b> Instalación y aislamiento del tanque.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	<b>PROYECTO DE TITULACION</b>  <b>Proponente:</b> <b>Javier Antonio Saltos Avalos</b>	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Información		06	A <sub>4</sub> /1:100	21/10/2016

## ANEXO VII. MAPA DE MATERIALES

(Coeficiente de Expansión - Conductividad Térmica)





GOBIERNO NACIONAL DE  
LA REPÚBLICA DEL ECUADOR  
Presidencia del  
Econ. Rafael Correa

**COMITÉ EJECUTIVO DEL CÓDIGO  
ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN**



MINISTERIO DE  
DESARROLLO  
URBANO Y VIVIENDA

---

(Creado Mediante el Decreto Ejecutivo N° 3970 15 de Julio 1996)

---

# **NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN**

# **NEC-10**

## **PARTE 14-1**

## **ENERGÍA RENOVABLE**

## **SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR PARA USO SANITARIO EN EL ECUADOR**

## ÍNDICE

CAPÍTULO 1: ASPECTOS TÉCNICOS PRELIMINARES.....	6
1. OBJETO .....	6
2. ALCANCE .....	6
3. PROPÓSITO .....	6
4. DEFINICIONES, NOMENCLATURA Y SÍMBOLOS .....	6
4.1 DEFINICIONES.....	6
4.2. NOMENCLATURA Y SÍMBOLOS.....	9
5. DISPOSICIONES GENERALES .....	10
5.1. OBLIGATORIEDAD.....	10
5.2. ENTIDADES DE CONTROL Y HOMOLOGACIÓN.....	10
5.3. SALVEDADES .....	10
5.4. JURISDICCIÓN.....	10
5.5. REVISIÓN Y COMENTARIOS.....	10
6. NORMAS DE REFERENCIA .....	11
6.1. NMX-ES-001-NORMEX-2005.....	11
6.2. NADF-008-AMBT-2005.....	11
6.3. DOCUMENTO ANC-0603-17-01 .....	11
6.4. DOCUMENTO ANC-0603-13-01 .....	11
6.5. PROY-NMX-ES-002-NORMEX-2006.....	11
6.6. CTE HE4 .....	11
6.7. S/N .....	11
6.8. ANM 2003\3.....	11
6.9. IDAE PET-REV OCTUBRE 2002.....	12
6.10. NTE INEN 0:1990.....	12
6.11. NTE INEN 1000:2008.....	12
6.12. UNE-EN 12975 .....	12
CAPÍTULO 2: CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS Y DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES .....	12
7. CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN.....	12
8. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO .....	13
9. DESCRIPCIÓN GENERAL DE COMPONENTES .....	14



---

9.1. COLECTOR SOLAR TÉRMICO .....	15
9.2. TANQUE TERMOSOLAR.....	17
9.3. SISTEMAS DE REGULACIÓN Y CONTROL.....	18
9.4. TUBERÍAS Y ACCESORIOS.....	19
CAPÍTULO 3: DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA SOLAR TÉRMICO PARA AGUA CALIENTE SANITARIA.....	19
10. RECURSO SOLAR EN EL ECUADOR .....	19
11. DIMENSIONAMIENTO .....	22
11.1. DIMENSIONADO DE LOS COLECTORES .....	22
11.1.1. Generalidades .....	22
11.1.2. Conexiones .....	22
11.1.3. Estructura soporte.....	22
11.2. DIMENSIONADO DEL TERMOTANQUE.....	23
11.2.1. Generalidades .....	23
11.2.2. Dimensionado del circuito hidráulico.....	23
12. DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS DE APOYO.....	23
CAPÍTULO 4: REQUISITOS DE MATERIALES Y FABRICACIÓN .....	24
13. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN COLECTORES SOLARES PLANOS .....	24
13.1 GENERAL.....	24
13.2. CUBIERTA .....	25
13.3. MATERIAL Y FORMA DEL CIRCUITO HIDRÁULICO .....	25
13.4. RECUBRIMIENTO DE LA PLACA COLECTORA.....	25
13.5. AISLANTE TÉRMICO.....	26
13.6. MARCO EXTERIOR.....	26
13.7. FIJACIONES.....	26
13.8. CONEXIONES.....	26
13.9. ELEMENTOS DE CIERRE.....	26
13.10. ACCESIBILIDAD DEL COLECTOR SOLAR.....	26
14. TANQUE DE ALMACENAMIENTO .....	26
15. ACCESORIOS .....	27
15.1. GENERALIDADES.....	27
15.2. TUBERIAS.....	27
15.3. VÁLVULAS.....	27
15.4. TANQUE DE EXPANSIÓN.....	27

---

15.5. INTERCAMBIADORES DE CALOR .....	27
15.6. BOMBAS DE CIRCULACIÓN.....	28
16. ELEMENTOS DE SEGURIDAD .....	28
17. ELEMENTOS DE MANTENIMIENTO .....	28
CAPÍTULO 5: ENSAYOS DE HOMOLOGACIÓN Y ETIQUETADO .....	28
18. ENSAYOS DE HOMOLOGACIÓN .....	28
18.1. ENTIDAD A CARGO.....	28
18.2. DISPOSICIÓN TRANSITORIA.....	29
19. EFICIENCIA DEL COLECTOR .....	29
20. ETIQUETADO COLECTOR SOLAR .....	30
20.1. Ubicación.....	30
20.2. Información .....	30
20.3. Dimensiones y colores.....	31
21. ETIQUETADO DEL TANQUE TERMOSOLAR .....	31
ANEXOS .....	32
ANEXO A: DATOS DE RADIACIÓN SOLAR EN EL ECUADOR .....	32
ANEXO B: MÉTODO DE CÁLCULO RECOMENDADO .....	40
ANEXO C: EJEMPLO DE CÁLCULO.....	45
ANEXO D: TABLAS DE DEMANDA ENERGÉTICA.....	52
ANEXO E: INFORMACIÓN QUE DEBE ENTREGAR EL PROVEEDOR O CONTRATISTA CON SU OFERTA PARA FACILITAR LA SELECCIÓN DE EQUIPOS. ....	55
1. INFORMACIÓN TÉCNICA.....	55
1.1 Colector Solar .....	55
1.3. Accesorios y Tuberías .....	56
1.4. Certificado de Prueba .....	56
1.5. Garantía técnica .....	56
ANEXO F: DOCUMENTOS Y SERVICIOS QUE EL PROVEEDOR O CONTRATISTA DEBE ENTREGAR CON LOS EQUIPOS.....	57
1. MANUAL DE INSTALACIÓN .....	57
2. MANUAL DE OPERACIÓN .....	57
3. PLAN DE MANTENIMIENTO .....	57
4. SERVICIO Y PARTES DE REEMPLAZO.....	57
5. PELIGROS .....	57

6. NOTAS DEL INSTALADOR..... 58  
ANEXO G: GUÍA PARA LA INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE  
SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS PARA CALENTAMIENTO DE AGUA PARA USO  
DOMESTICO..... 58

	<h1>LABORATORIO MECANICA DE FLUIDOS</h1>		
		<p>Código: EIQ-TL-MF-010  Fecha: 2015/12/09  Revisión: 1/1  Página : 122/5</p>	
<b>DETERMINACION DE LA POTENCIA DE UNA BOMBA</b>			

## INFORME 10

### 1. Objetivos:

- 1.1. General:
- 1.2. Específicos
- 1.3.

### 2. Marco Teórico Referencial:

- 2.1. Marco Teórico:
- 2.2. Marco Referencial:

### 3. Parte Experimental:

#### 3.1. Sustancias y Reactivos:

- Agua

#### 3.2. Materiales y Equipos:

- Equipo de Pérdidas en un Sistema
- Probeta
- Flexómetro
- Cronómetro
- Calibrador

#### 3.3. Procedimiento:

- Comprobar que todas las válvulas estén cerradas, excepto la de la línea 1.
- Cargar el depósito de agua hasta las  $\frac{3}{4}$  partes de su capacidad
- Encender la bomba y fijar un volumen en la línea 1, medir las diferencias de tiempo en la línea (s) y determinar el caudal en la tubería de salida de agua.
- Medir la temperatura del agua.
- Fijar un nuevo volumen en la línea 1, medir las diferencias de presión y el caudal en la tubería de salida del agua.
- Realizar las mismas mediciones hasta completar 5 determinaciones.

- Luego proceder de igual manera para la línea 3 y 5, cerrando las demás válvulas.
- Apagar la bomba y determinar el número y tipo de accesorios para cada línea.

#### 4. Datos:

##### 4.1. Datos Experimentales:

##### Datos experimentales para Determinación de la Potencia de una Bomba

n	V (ml)	t (s)

**Dónde:**

V= Volumen (ml)

t = tiempo (s)

##### Datos experimentales para Determinación de la Potencia de una Bomba

P <sub>1</sub> (at)	P <sub>2</sub> (at)	L (m)	T (C)	∅ <sub>e</sub> (m)	z <sub>1</sub> (m)	z <sub>2</sub> (m)

**Dónde:**

P<sub>1</sub>= Presión punto 1 (at)

P<sub>2</sub>= Presión punto 2 (at)

L = Longitud (m)

T = Temperatura (C)

∅<sub>e</sub> = Diámetro de tubería (m)

z<sub>1</sub> = altura punto 1 (m)

z<sub>2</sub> = altura punto 2 (m)

##### Datos experimentales para Determinación de la Potencia de una Bomba

# Accesorios	Tipo de accesorios

## 5. Cálculos y Resultados:

### 5.1. Datos Adicionales:

#### Datos adicionales para Determinación de la Potencia de una Bomba

T (C)	$\rho_{H_2O}$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\mu_{H_2O}$ (Kg/ms)

**Dónde:**

**T**= Temperatura (C)

$\rho_{H_2O}$  = Densidad H<sub>2</sub>O (Kg/m<sup>3</sup>)

$\mu_{H_2O}$  = Viscosidad H<sub>2</sub>O (Kg/ms)

#### Datos adicionales para Determinación de la Potencia de una Bomba

Accesorio	K

**Donde:**

**K** = constante de los accesorios.

### 5.2. Cálculos Específicos:

#### 5.2.1. Cálculo de Pérdidas Primarias

##### 5.2.1.1. Cálculo del caudal

$$Q = \frac{V}{t}$$

##### 5.2.1.2. Cálculo de la velocidad

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi\phi_i^2}$$

### 5.2.1.3. Cálculo de Reynolds

$$Re = \frac{\rho * v * \phi_i}{\mu}$$

### 5.2.1.4. Cálculo de Fanning (De acuerdo al Re)

### 5.2.1.5. Cálculo de Pérdidas Primarias

$$h_f = f * \frac{L}{\phi_i} * \frac{v^2}{2g}$$

### 5.2.2. Cálculo de Pérdidas Secundarias

$$h_m = K * \frac{v^2}{2g}$$

### 5.2.3. Cálculo de pérdidas totales

$$h_T = h_f + h_m$$

### 5.2.4. Ecuación de Bernoulli

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \sum h_f = H$$

### 5.2.5. Cálculo de la Potencia de la bomba

#### 5.2.5.1 Cálculo de W

$$W = Q\rho$$

#### 5.2.5.2 Cálculo de la Potencia de la bomba

$$Hp = \frac{W * H}{75 * 0,75}$$

### 5.3. Resultados:

#### Resultados obtenidos de la Determinación de la Potencia de una Bomba

n	$\phi$ (m)	v (m/s)	Re	f	$h_T$	H (m)	W (Kg/s)	Hp

<b>1. Elaborado por:</b> Mery Mendoza Castillo. ASISTENTE LABORATORIO	<b>2. Revisado por:</b> Ing. Hannibal Brito M. ENCARGADO LABORATORIO	<b>3. Aprobado por:</b> Ing. Hannibal Brito M. ENCARGADO LABORATORIO
---	--	--



--	--	--