



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

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA PLANTA TERMOSOLAR
PASTEURIZADORA PARA LA PLANTA DE ORDEÑO DE LA
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO**

AUTOR: CARLOS SANTIAGO LÓPEZ RODRÍGUEZ
TUTOR: DR. CELSO RECALDE M.

Riobamba – Ecuador

2017

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

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: el presente trabajo técnico de **“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA PLANTA TERMOSOLAR PASTEURIZADORA PARA LA PLANTA DE ORDEÑO DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”** de responsabilidad del señor Carlos Santiago López Rodríguez ha sido revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de titulación, quedando autorizada así su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dr. Celso Recalde M.

.....

.....

**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Ing. Mónica Andrade

.....

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Carlos Santiago López Rodríguez, 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, 02 de marzo del 2017

Carlos Santiago López Rodríguez
1804744082

“Yo, Carlos Santiago López Rodríguez, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

CARLOS SANTIAGO LÓPEZ RODRÍGUEZ

DEDICATORIA

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

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

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

AGRADECIMIENTO

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

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

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xii
SUMMARY	xiii
CAPITULO I.....	1
DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1 Identificación del Problema.....	1
1.2 Justificación del proyecto	1
1.3 Línea de base del Proyecto	2
1.3.1 Reconocimiento del lugar de investigación	2
1.3.2 Marco conceptual	3
1.3.2.1 Energía termosolar en el Ecuador	3
1.3.2.2 Industria láctea en Chimborazo	3
1.3.2.3 Planta para la producción de leche pasteurizada con energía y refrigeración solar	
4	
1.4 Beneficiarios directos e indirectos	7
1.4.1 Directos	7
1.4.2 Indirectos	7
CAPITULO II.....	8
OBJETIVOS DEL PROYECTO	8
2.1 Objetivo General	8
2.2 Objetivos Específicos	8
CAPÍTULO III.....	9
ESTUDIO TÉCNICO	9
3.1 Localización del proyecto	9
3.1.1 Macro localización	9
3.1.2 Localización Geográfica.....	10
3.2 Ingeniería del proyecto	10
3.2.1 Colector Cilíndrico Parabólico	11
3.2.2 Dimensionamiento del Intercambiador de Calor en Contracorriente.....	22

3.2.2.1	<i>Diseño del Intercambiador de Calor en Contracorriente</i>	26
3.2.3	<i>Balance en Pasteurizador</i>	29
3.2.4	<i>Máquina de Absorción</i>	31
3.2.5	<i>Resultados</i>	33
3.3	Proceso de producción	36
3.4	Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria	38
3.4.1	<i>Requerimiento de materiales y equipos para el muestreo y medición en estación meteorológica Tunshi para cálculo de número de CCP.</i>	38
3.4.2	<i>Requerimiento de equipos para la simulación de la planta termosolar pasteurizadora</i>	38
3.5	Análisis de Costo/beneficio del proyecto	39
3.5.1	<i>Análisis</i>	41
3.5.2	<i>Conclusiones</i>	42
3.5.3	<i>Recomendaciones</i>	43
3.6	Cronograma de actividades	42

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

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

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1	Clasificación de colectores solares	5
Ilustración 1-3	Ubicación geográfica de la Parroquia de Licto	10
Ilustración 2-3	Colectores CCP arrojados por simulación.....	22
Ilustración 3-3	Aceite Térmico arrojado por simulación.....	27
Ilustración 4-3	Mallado CFD	33
Ilustración 5-3	Planta solar pasteurizada	36
Ilustración 6-3	Aceite Térmico arrojado por simulación	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 -3	Macro localización Tunshi.....	9
Tabla 2-3	Datos de temperatura media ambiente en horas de trabajo diaria en los años 2012 - 2015	11
Tabla 3-3	Datos de temperatura media ambiente mensual en los años 2012 - 2015. 12	
Tabla 4-3	Datos de Radiación Anual media de los años 2014-2016.....	12
Tabla 5- 3	Intensidad Solar Media Diaria en los años 2014-2016	13
Tabla 6-3	Energía Incidente Media sobre Superficie Horizontal por Metro Cuadrado	14
Tabla 7-3	Cálculo Energía Incidente.....	15
Tabla 8-3	Cálculo de Intensidad Útil.....	16
Tabla 9-3	Cálculo de Rendimiento mensual de los Colectores	17
Tabla 10-3	Cálculo Corrección de Aportación.....	18
Tabla 11-3	Corrección de Aportación Mensual	18
Tabla 12-3	Consumo de agua diaria mensual para pasteurizar m	19
Tabla 13-3	Consumo mensual de Energía para Pasteurizar	20
Tabla 14-3	Calor absorbido por el agua en Pasteurización trabajando al 100%	20
Tabla 15-3	Calor absorbido por el agua en la Pasteurización trabajando al 85%	21
Tabla 16-3	Datos en el intercambiador de calor.....	23
Tabla 17-3	Datos de Temperatura arrojados en simulación a tiempo real	26
Tabla 18-3	Datos temperatura operación del pasteurizador	30
Tabla 19-3	Colector Cilíndrico Parabólico.....	33
Tabla 20-3	Dimensionamiento intercambiador calor contracorriente	33
Tabla 21-3	Máquina de absorción doble efecto	34
Tabla 22-3	Intercambiador de placas	34
Tabla 23-3	Aceite térmico	34
Tabla 24-3	Tanques de almacenamiento	35
Tabla 25-3	Materiales de muestreo y recolección de información.....	38
Tabla 26-3	Equipos para simulación	38
Tabla 27-3	Determinación de los costos de la Planta Solar Pasteurizador.....	39
Tabla 28-3	Determinación de vapor	41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A	Presupuesto y datos técnicos
Anexo B	Valores de los coeficientes de transferencia de calor total
Anexo C	Hoja técnica Acero Inoxidable AISI 304
Anexo D	Diámetro de coraza y longitud efectiva de los tubos, en función de área efectiva de transferencia de calor.
Anexo E	Hoja técnica del aceite térmico

RESUMEN

El objetivo fue el diseño y simulación de una planta termosolar pasteurizadora para la planta de ordeño de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en la parroquia Licto del cantón Riobamba, se realizó el diseño mediante balance de masa y energía para selección de equipos para captación de radiación solar mediante colectores cilíndricos parabólicos y generación de vapor tanto para elevar temperatura para pasteurización como para realizar refrigeración solar mediante técnica de absorción, los cálculos de ingeniería ayudó para la selección y dimensionamientos de cada uno de los dispositivos que intervienen en éste proceso, finalmente se hizo la comprobación y validación de éstos cálculos en un software informático SolidWorks y dibujados en tercera dimensión según hojas técnicas entregadas por los posibles proveedores, donde se obtuvieron resultados de temperatura de aceite térmico de 180 °C a la salida de los colectores y el mismo flujo de calor entregado a un intercambiador de calor en contracorriente dimensionado con un área de transferencia de 0,35 m² para cambiar de fase agua líquida a vapor saturado que va a accionar una máquina de absorción de doble efecto de 5 bar de presión y al mismo tiempo entregar éste vapor a un intercambiador de placas para pasteurizar 700L/d de leche entera de la planta de ordeño de la estación experimental Tunshi. Concluyendo que esta planta termosolar pasteurizadora ayuda al medioambiente ya que no genera emisiones contaminantes a la atmosfera, agua, suelo y además mediante simulación se pudo observar la operación de ésta planta a tiempo real. Se recomienda realizar una matriz de mantenimiento a largo, mediano, y corto plazo.

PALABRAS CLAVE: <TECNCOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA QUÍMICA> <PLANTA TERMOSOLAR> <SIMULACIÓN DE PROCESOS> <PASTEURIZACIÓN> <DISEÑO DE PROCESOS> <SOLIDWORKS (SOFTWARE)> <TUNSHI (COMUNIDAD)>

SUMMARY

The objective was the design and simulation of a thermo solar pasteurizing plant for the milking plant of the Superior Polytechnic School of Chimborazo, located in the Licto parish of the Riobamba canton, the design was made by mass and energy balance for selection of equipment for capturing solar radiation by parabolic cylindrical collectors and steam generation both to raise temperature for pasteurization and to perform solar cooling by absorption technique, the engineering calculations aided in the selection and sizing of each of the devices involved in this process, finally the verification and validation of these calculations were done in a SolidWorks computer software and drawn in third dimension according to technical sheets delivered by the possible suppliers, where thermal oil temperature results of 180 °C were obtained at the outlet of the manifolds and the same heat flow delivered to a countercurrent heat exchanger sized with a transfer area of 0,35 m² to change the phase liquid water To saturated steam which, will drive a machine of absorption double effect of 5 bar of pressure and at the same time deliver this steam to a plate exchanger to pasteurize 700L/d of whole milk from the milking plant of the Tunshi experimental station. Concluding that this pasteurizing thermo solar plant helps the environment since it does not generate pollutant emissions to the atmosphere, water, soil and also through simulation could be observed the operation of this plant in real time. It is recommended to perform a long, medium, and short-term maintenance matrix.

KEYWORDS: <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES> <CHEMICAL ENGINEERING> <THERMO SOLAR PLANT> <PROCESS SIMULATION> <PASTEURIZATION> <PROCESS DESIGN> <SOLIDWORKS (SOFTWARE)> <TUNSHI (COMMUNITY)>

CAPITULO I

DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del Problema

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

La quema y el uso de combustibles fósiles generan contaminación atmosférica, del agua y suelo, y el fenómeno del calentamiento global. La contaminación ambiental es ocasionada por el mismo hombre, habiendo diferentes causas que ocasionan este problema, pero las más importantes son por las actividades industriales, comerciales y agropecuarias. La contaminación del aire, ocasionada por la quema de combustibles fósiles en las plantas de energía, humos industriales y vehículos automotores, es responsable de la muerte de alrededor de medio millón de personas en el mundo y también la causa entre 4 y 5 millones de casos de bronquitis crónica, así como millones de otras enfermedades graves.

En el Ecuador más del 90% de la energía que consume el país, proviene de los hidrocarburos, esto es un problema porque significa que todos los ecuatorianos estamos subvencionando el consumo de estos combustibles.

En la provincia de Chimborazo existen pequeños y medianos centros de transformación de leche cruda, que no cumplen con condiciones técnicas para su funcionamiento, lo que eleva los precios en el proceso, siendo la energía uno de los rubros principales, al momento se emplea combustibles como: leña, diésel y gas, lo que ocasiona problemas de deforestación y su correspondiente aporte al consumo de combustibles sólidos.

1.2 Justificación del proyecto

El presente proyecto demostró el diseño y simulación de una planta termosolar pasteurizadora para la estación experimental Tunshi de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo a partir

de energía solar térmica utilizando un software para su simulación, aplicando todos nuestros conocimientos adquiridos en la formación como futuros ingenieros químicos como termodinámica, transferencia de calor, control de procesos, ingeniería de plantas, etc. Existe una planta pasteurizadora con capacidad de 1200 L/h, con una producción de 400 a 700 L/d del alto ganadero no justifica su funcionamiento, por lo cual diseñó y simuló una planta termosolar pasteurizadora con dicha capacidad de producción de la planta de ordeño de la Estación Experimental Tunshi de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Se verifica el comportamiento de cada uno de los componentes de una planta termosolar en estado intermitente de acuerdo con la energía solar térmica disponible y recibida considerando que en Ecuador existe aproximadamente 12 horas de luz solar. La relevancia de esta investigación reside en el hecho que es importante conocer de manera más detallada otra forma de generación de energía aplicada al proceso de pasteurización de leche cruda de la estación experimental de Tunshi, disminuyendo el consumo de combustible fósil para dar paso a la fuente energética renovables gratuita, limpia e inagotable, conocida como energía verde.

La energía termosolar comienza a despegar con fuerza. Las características tecnológicas de esta energía, unidas al importante esfuerzo inversor de los últimos años, sitúan a la termosolar como pieza clave en la reducción de la dependencia energética, posicionándola como una tecnología energética imprescindible y muy relevante en el mix energético de los próximos años. Además del importante impacto que en términos de energía limpia puede suponer la termosolar en Ecuador, esta tecnología de usar una planta termosolar en el proceso de pasteurización representa oportunidades muy interesantes para la agroindustria ecuatoriana.

1.3 Línea de base del Proyecto

1.3.1 Reconocimiento del lugar de investigación

La estación experimental Tunshi y su planta de lácteas inicio su funcionamiento en el año 1997 gracias a la embajada de Japón donado con equipo y maquinarias importadas al Ecuador.

La principal fuente de materia prima para la producción de lácteos en la estación experimental es de la misma ganadería de la Estación, la misma arroja 400 a 700 litros de leche por día, los mismos que son recogidos por las mañanas de la Planta de Ordeño y trasladados a la Planta de Lácteos para su pasteurización.

1.3.2 Marco conceptual

1.3.2.1 Energía termosolar en el Ecuador

Desde el inicio de los tiempos el sol siempre ha sido el eje central de fuente de energía natural abundante, gratuita e irremplazable necesaria para la supervivencia de todas las especies de nuestro planeta.

Con datos elaborados por el Concejo Nacional de Electricidad la radiación directa máxima en nuestro país es 5119 Wh/m²día, además de contar con 12 horas de luz solar.

El gobierno ecuatoriano cubre gigantescos subsidios de combustibles provenientes del petróleo para su combustión y generación de energía, estos están permitiendo la entrada de proyectos de generación de energía limpia como centrales termosolares.

Cabe destacar que en el Ecuador está propulsando un cambio de su matriz energética al año 2020, actualmente del 34% en generación térmica, 43% en generación hidroeléctrica, 12% con gas natural, 10% importaciones y el 1% con biomasa, a un escenario del 86% en hidroelectricidad, 3% en generación térmica, 8% en energía renovable, 1% en importaciones y un 2% en gas natural. (Villafuerte, 2012)

En el país con el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables se ha logrado tener un apoyo a proyectos de este tipo a nivel nacional, así como también se impulsa con investigación y apoyo a diferentes universidades y escuelas politécnicas del Ecuador.

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo cuenta con el Grupo de Energías Alternativas y Ambiente, que ha venido realizando proyectos de investigación en esta área desde 1995 aplicando herramientas tecnológicas y recursos biológicos de la región alto andina estudiando la eficiencia de Energía Térmica para zona Ecuatorial.

1.3.2.2 Industria láctea en Chimborazo

Según datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (Magap), actualmente se producen a diario 5,4 millones de litros de leche en el Ecuador. De este monto, 4 millones de litros son comercializados en los distintos mercados; 2,8 millones de litros son transformados por industrias formales que procesan derivados; y 1,2 millones de litros son vendidos informalmente para elaborar quesos artesanales. (Terán, 2016)

El país en general es ganadero con ventajas comparativas en la producción de leche debido a su inmovilidad climática, sistema de riego y pastoreo, los mismos que permiten tener una marea continua de leche en todo el periodo del año. Además, las razas son muy bien adaptables y resistentes a condiciones de producción en altura y constantemente se cuenta con mejoramiento genético.

Otros factores de producción de apoyo en Chimborazo es la existencia de gremios y asociaciones tanto para su comercialización y producción láctea, un mejoramiento en infraestructura industrial y procesos de sistemas en frío.

Chimborazo ocupa el primer lugar de la Región con 471 mil hectáreas de tierra utilizada con uso agropecuario, lo cual equivale al 30% del total de la región 3 y el 4% del total del país. Existe un predominio de páramos que representan el 33% del área con uso agropecuario y que se encuentra en torno al gran nevado Chimborazo, luego están los montes y bosques que ocupan el 14% de la superficie provincial utilizada, seguida de pastos naturales y cultivados en conjunto son el 22% aportando cada uno con 11% destinadas a pastoreo lo que convierte a Chimborazo en una provincia de ganadería de leche principalmente. (Ministerio de Coordinación de la Producción, 2011)

En la provincia de Chimborazo existe un excelente número de pequeños productores de derivados de leche como quesos maduros y semi-maduros con una calidad de exportación.

1.3.2.3 Planta para la producción de leche pasteurizada con energía y refrigeración solar

El diseño de una planta industrial es un trabajo que implica el discernimiento de ingeniería aplicando criterios de diseño basados en experiencia y cálculos para cada uno de los componentes que integran la misma, así como la mejor alternativa de localización, recursos, disponibilidad de mano de obra, etc.

a) Sistema de recepción solar

Para poder alcanzar mayores temperaturas en un colector, es necesario modificar el sistema de captación, de forma que se aumente la concentración. Esto se consigue en los colectores concentradores, que se pueden clasificar según dos características básicas: la geometría del absorbedor (concentración lineal o puntual) y la forma de la concentración (reflexión o refracción). (Velasco, 2012). Aun teniendo en cuenta esta primera clasificación, todos ellos pueden concentrar la energía solar en un punto específico para conseguir temperaturas muy elevadas que

pueden cubrir las aplicaciones industriales, tales como generación de electricidad. (Velasco, 2012). A continuación, se adjunta en el gráfico 1-1 que en el cual señala diferentes colectores en función a la razón de concentración (apertura para recibir mayor radiación) y rango de temperatura que un colector puede llegar.

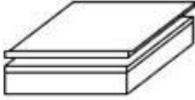
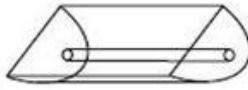
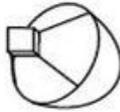
		Nombre	Croquis	Razón de concentración "C"	Rango Temperatura alcanzada [C°]	
Estacionario	Absorbedor plano	Capatador plano de agua/aire		$C \leq 1$	$30 < T^a < 250$	
		Tubos de vacío		$C \leq 1$	$50 < T^a < 200$	
Seguidores	Seguimiento a un eje	Absorbedores tubulares	Colector Parabólico Compuesto CPC		$1 < C < 15$	$70 < T^a < 300$
		Colector Cilíndrico Parabólico CCP		$15 < C < 40$	$70 < T^a < 350$	
	Seguimiento a dos ejes	Absorbedores puntuales	Disco Parabólico		$100 < C < 1000$	$70 < T^a < 1500$
			Torre Central		$100 < C < 1500$	$150 < T^a < 1500$

Ilustración 1-1 Clasificación de colectores solares

Fuente: Paredes Carmen , 2012.

Los componentes que forman un sistema de recepción solar son:

- Campo solar: formado por los colectores cilíndroparabólicos que captan la luz solar y la reflejan hacia un tubo por donde circula aceite térmico. (Liñan, 2014)
- Sistema HTF: (Heat Transfer Fluid, fluido caloportador): sirve como medio de transporte del calor hasta el ciclo agua-vapor.

b) Transferencia de Calor

El uso apropiado de conocimientos de transferencia de calor en el diseño de equipos prácticos de transferencia de calor es un arte. El diseñador debe estar consciente constantemente de las diferencias entre las condiciones idealizadas por y sobre las cuales se obtiene el conocimiento básico y las condiciones reales de la expresión mecánica de su diseño y su ambiente. El resultado debe satisfacer requisitos operacionales y de proceso (como la disponibilidad, la flexibilidad y la posibilidad de darle mantenimiento), en forma económica. Una de las partes importantes de cualquier proceso de diseño es tomar en consideración y compensar las consecuencias de los errores en los conocimientos básicos o su inclusión subsiguiente en un método de diseño, o bien en la conversión del diseño en equipo o el manejo del equipo y el proceso. El diseño de intercambiadores de calor, en las mejores condiciones, no es un arte muy preciso. (Robert, y otros, 1994)

En función a la entrega de energía del colector cilíndrico parabólico, absorbido por el aceite térmico, se considera que la mejor manera de entregar este potencial de energía es a un dispositivo entre dos medios que se encuentren en contacto separados por una barrera. Ambos fluidos recorren un mismo espacio de una manera alterada.

c) Refrigeración Solar

En los últimos años la refrigeración solar ha despertado gran interés. Los inconvenientes medioambientales relacionados al uso de sustancias fluorocarbonadas y la gran emisión de gases de tipo invernadero y la necesidad de emplear fuentes amigables de energía han propiciado el uso de esta nueva tecnología de generar frío.

Siguiendo los mismos principios termodinámicos y de acuerdo a condiciones de operación, la técnica de absorción es atraído en el mercado. Las máquinas de absorción solar pueden ser empleadas para activar las máquinas de absorción en un rango entre 70 y 180 °C, y según cuales sea la solución de transporte puede llegar a temperaturas bajo 0 °C.

d) Pasteurización

La pasteurización de leche entera es un proceso térmico realizado para prolongar la vida útil de los alimentos con el fin de reducir la presencia de agentes patógenos. Una pasteurización continua y generalmente la tecnología más aplicada en nuestro país, consiste en aplicar una temperatura de 72 – 73 °C en un tiempo de 15 a 20 segundos. Este proceso se realiza en un intercambiador de calor de placas y en el mismo descender rápidamente la temperatura a 3 – 4 °C.

d) Simulación

La simulación es la imitación del proceso de funcionamiento real de la planta en un intervalo de tiempo, aplicando todos los cálculos de ingeniería ingresados a un software para observar el comportamiento del sistema. La elección del software se da en función de la necesidad y ajuste de lo que queremos interpretar antes de la construcción de un dispositivo o conjunto de dispositivos para evitar, corregir problemas y plantear propuestas de futuras construcciones de los mismos.

1.4 Beneficiarios directos e indirectos

1.4.1 Directos

El beneficiario directo del trabajo de titulación planteado es la Estación Experimental Tunshi y el Centro de Investigación de Energías Alternativas y Ambiente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

1.4.2 Indirectos

Los beneficiarios indirectos del trabajo de titulación son investigadores, profesionales en energía, ganaderos, el medioambiente, estudiantes de grupos de investigación, futuros inversores en adoptar esta nueva forma de generar energía limpia.

CAPITULO II.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1 Objetivo General

- Diseñar y simular una planta termosolar pasteurizadora para la planta de ordeño de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

2.2 Objetivos Específicos

- Plantear criterios de cálculo y diseño de una planta termosolar de acuerdo a las características del recurso solar y evaluar los impactos operativos de la posible implementación de una planta de este tipo en Chimborazo.
- Dimensionar un modelo térmico que permita variar y evaluar el efecto que tienen diversos parámetros de operación mediante un análisis de los procesos de transferencia de calor y enfriamiento solar ocurridos en el proceso de pasteurización con una producción de 400 a 700L/d de la planta de ordeño de la estación experimental Tunshi.
- Determinar la factibilidad técnica y económica del montaje de una planta termosolar pasteurizadora mediante la simulación de la misma haciendo uso del software más apropiado.

CAPÍTULO III.

ESTUDIO TÉCNICO

3.1 Localización del proyecto

3.1.1 Macro localización

Clima.- El clima en Tunshi tiene una temperatura promedio anual de 12 y 18 °C y precipitaciones de 250 – 500 mm.

Altitud.- Tunshi se encuentra localizada y a una altura de 2347m.s.n.m.

Superficie aproximadamente 200Has.

Localizada con coordenadas geográficas coordenadas 20 13´ de la latitud sur y 78 53´ longitud oeste.

Población: 75 Docentes, estudiantes, pasantes, trabajadores y obreros.

Localización:

Tabla 1 -3 Macro localización Tunshi

CONTINENTE	América
PAIS	Ecuador
PROVINCIA	Chimborazo
CANTON	Riobamba
PARROQUIA	Licto

Fuente: Plan de Desarrollo Territorial de la Parroquia Tunshi

Elaborado por. Carlos López 2016

3.1.2 Localización Geográfica



Ilustración 1-3 Ubicación geográfica de la Parroquia de Licto

Fuente: Plan de Desarrollo Territorial de la Parroquia Licto

3.2 Ingeniería del proyecto

Dentro de la industria de procesos, el balance de masa y energía son importantes en el diseño, optimización, evaluación económica y control de procesos existentes en una planta industrial y, así como, toma de decisiones sobre las operaciones que se pueden presentar a diario en la producción y situación económica en las empresas.

Los sistemas industriales presentan un diagrama de flujo que se representa de una forma gráfica, secuencial diferentes operaciones unitarias a través de un circuito que conforma la línea principal de proceso con corrientes de masa y energía. En el diseño de procesos industriales se obtiene la mayor información de las características del producto de interés, elegir, seleccionar equipos, recursos, materiales y suministros energéticos, para el correcto funcionamiento de una planta industrial.

La verificación técnica se lo realizó en el software SolidWorks 2016, en primera instancia se realizó el diseño CAD (diseño y dibujo asistido por computadora) en 3D (tercera dimensión) tomando base los cálculos de ingeniería para selección de los equipos en mercado y haciendo uso de su hoja técnica como, paneles cilíndricos parabólicos, máquina de absorción, tanques de

almacenamiento, intercambiador de placas y el dimensionamiento de cada uno de los componentes del intercambiador en contracorriente. Posteriormente la programación de la malla, condiciones de frontera, proceso de cálculo del software y muestreo de resultados. Una vez puesta en marcha la planta termosolar pasteurizadora en el software se evidenció que a partir de las dos horas y media de recibir radiación solar y por el efecto termosifón ya puede producir vapor saturado y entregar tanto a la máquina de absorción como al intercambiador calor de placas.

3.2.1 Colector Cilíndrico Parabólico

Con datos de la estación meteorología Datta Logger QML 201C modelo Vaisala de la ESPOCH – Facultad de Ciencias, ubicados en Estación Experimental de Tunshi, se ha recaudado datos de temperatura ambiente de las diferentes horas del día.

Tabla 2-3 Datos de temperatura media ambiente en horas de trabajo diaria en los años 2012 - 2015

HORA	Temperatura Media
OCHO	11
NUEVE	12
DIEZ	14
ONCE	16
DOCE	17
TRECE	18
CATORCE	19
QUINCE	18
DIECISÉIS	17
MEDIA	16

Fuente: Espoch- Geaa

Elaborado por: Carlos Lopez

En la tabla 2-3 se ha considerado la hora de trabajo en la pasteurizadora de ocho a dieciséis horas, y, además se realizó el cálculo de promedio de los mismos de los años 2012 a 2015 ya que se recibió datos crudos de la estación meteorológica.

Tabla 3-3 Datos de temperatura media ambiente mensual en los años 2012 - 2015

Mes	Temperatura media
ENERO	16
FEBREO	16
MARZO	16
ABRIL	15,97
MAYO	15,4
JUNIO	15
JULIO	14,8
AGOSTO	14,73
SEPTIEMBRE	15,65
OCTUBRE	15,73
NOVIEMBRE	16
DICIEMBRE	16
MEDIA	15,65

Fuente: EsPOCH- Geaa

Elaborado por: Carlos Lopez

En la tabla 3-3 se ha calculado la temperatura media mensual de temperatura ambiente de los años 2012 a 2015 dados por la estación meteorológica

- **Recurso Energético Disponible**

La cantidad de radiación solar se puede obtener mediante diferentes ecuaciones matemáticas o a su vez por medio de mediciones en estaciones meteorológicas. Para estos cálculos fueron facilitados por la Estación meteorológica de la EsPOCH - Facultad de Ciencias, ubicada en la estación Tunshi.

Tabla 4-3 Datos de Radiación Anual media de los años 2014-2016

AÑO	INTENSIDAD (W/m2)
2014	382,14
2015	383,16
2106	381,75

Fuente: EsPOCH-Geaa

Elaborado por: Carlos López

En la tabla 4-3 se observa la intensidad de radiación que incide en el sector de la estación experimental de Tunshi y, que en los tres últimos años casi permanece constante.

- **Cálculo de Energía Incidente**

El colector se debe ubicar de manera que al momento entre en operación se beneficie al máximo la radiación solar incidente.

Se halló la hora útil de radiación solar diaria media, haciendo el sumatorio de intensidades medias de las horas de operación y dividiendo para su intensidad máxima que resultó a las trece horas. Dándonos como resultado 7 horas útiles durante el día. Este valor nos sirvió para obtener Energía Incidente Media sobre superficie horizontal.

Tabla 5-3 Intensidad Solar Media Diaria en los años 2014-2016

HORA	INTENSIDAD MEDIA (W/m2)
NUEVE	323,01
DIEZ	525,18
ONCE	625,12
DOCE	721,84
TRECE	739,54
CATORCE	670,50
QUINCE	538,90
suma	4144,08
total	5,60
hora/día	7

Fuente: Espoch-Geaa

Elaborado por: Carlos López

A continuación, se calculó la Energía Incidente Media sobre superficie horizontal en un metro cuadrado para un día medio de cada mes con datos de Intensidad Solar Media. Calculamos Energía Incidente sobre superficie horizontal/m² (H), multiplicando I (intensidad W/m²), por h (horas útiles de sol en segundos).

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

Mes	INTENSIDAD MEDIA(W/m ²)	RADIACIÓN H (MJ/día*m ²)
ENERO	621,44	15,66
FEBRERO	577,67	14,56
MARZO	531,96	13,41
ABRIL	603,53	15,21
MAYO	580,45	14,63
JUNIO	513,39	12,94
JULIO	576,27	14,52
AGOSTO	575,40	14,50
SEPTIEMBRE	600,82	15,14
OCTUBRE	574,52	14,48
NOVIEMBRE	562,15	14,17
DICIEMBRE	547,96	13,81

Fuente: Espoch-Geaa

Elaborado por: Carlos López

Obtenemos Energía Incidente (E), por metro cuadrado de superficie colectora, tomando en cuenta que los colectores están inclinados, y viene dada por la expresión siguiente.

La radiación umbral, cuyo valor base es de 200 W/m², por debajo de la misma no es recomendable poner en marcha la instalación, por lo tanto, se introduce un factor de corrección para sistemas solar térmico que tenga en cuenta las pérdidas de energía en momentos del día se tenga por debajo de este valor por tal razón se estima en 6% es decir que se introduce en la ecuación siguiente el factor 0,94. El factor k según la latitud del lugar se consideró de 1 en base a la inclinación de 16°. (Diseño de un Sistema Solar Térmico para la Producción de Quesos en las Comunidades: Chimborazo, Santa Isabel-San Juan-Chimborazo, 2011)

$$E = 0,94 \cdot k \cdot H$$

Ecuación 1

Donde:

E: Energía Incidente

k: 16° inclinación 1

H: Radiación (MJ/día*m²)

Tabla 7-3 Cálculo Energía Incidente

	H(MJ/día*m ²)	K	E(MJ/día*m ²)
ENERO	15,66	1	14,72
FEBRERO	14,56	1	13,68
MARZO	13,41	1	12,60
ABRIL	15,21	1	14,30
MAYO	14,63	1	13,75
JUNIO	12,94	1	12,16
JULIO	14,52	1	13,65
AGOSTO	14,50	1	13,63
SEPTIEMBRE	15,14	1	14,23
OCTUBRE	14,48	1	13,61
NOVIEMBRE	14,17	1	13,32
DICIEMBRE	13,81	1	12,98

Fuente: Espoch-Geaa

Elaborado por: Carlos López

- **Cálculo de Intensidad Útil**

Se halló la intensidad útil en W/m² utilizando la siguiente expresión. (Velasco, 2012)

$$I = \frac{E}{t}$$

Ecuación 2

Donde:

I: Intensidad (W/m²)

E: Energía incidente (MJ/día*m²)

t: Horas útiles (segundos)

Tabla 8-3 Cálculo de Intensidad Útil

	horas útiles (s)	Intensidad (W/m ²)
ENERO	25200	621,44
FEBRERO	25200	577,67
MARZO	25200	531,96
ABRIL	25200	603,53
MAYO	25200	580,45
JUNIO	25200	513,39
JULIO	25200	576,27
AGOSTO	25200	575,40
SEPTIEMBRE	25200	600,82
OCTUBRE	25200	574,52
NOVIEMBRE	25200	562,15
DICIEMBRE	25200	547,96

Fuente: EsPOCH-Geaa

Elaborado por: Carlos López

En la tabla 8-3, se obtuvo la intensidad útil en diferentes meses de los años 2014 a 2016 sobre el umbral, lo que demuestra que es viable la colocación de paneles solares en la estación experimental Tunshi.

- **Cálculo de Rendimiento**

Se calculó el rendimiento medio mensual del colector con datos del fabricante.

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

Ecuación 3

Donde:

η : Rendimiento mensual medio del colector

t_m : Temperatura máxima (150°C)

t_a : Temperatura ambiente en °C

I : Intensidad [W/m²]

Datos del fabricante:

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

$F_R \cdot U_L$: 2,13

Tabla 9-3 Cálculo de Rendimiento mensual de los Colectores

	Ta	Tm	A	b	I	RENDIMIENTO
ENERO	16,10	150	0,842	2,13	621,44	0,38
FEBRERO	16,13	150	0,842	2,13	577,67	0,35
MARZO	16,13	150	0,842	2,13	531,96	0,31
ABRIL	15,97	150	0,842	2,13	603,53	0,37
MAYO	15,40	150	0,842	2,13	580,45	0,35
JUNIO	15,00	150	0,842	2,13	513,39	0,28
JULIO	14,80	150	0,842	2,13	576,27	0,34
AGOSTO	14,73	150	0,842	2,13	575,40	0,34
SEPTIEMBRE	15,65	150	0,842	2,13	600,82	0,37
OCTUBRE	15,73	150	0,842	2,13	574,52	0,34
NOVIEMBRE	16,10	150	0,842	2,13	562,15	0,33
DICIEMBRE	16,10	150	0,842	2,13	547,96	0,32

Fuente: Espoch-Geaa

Elaborado por: Carlos López

- **Cálculo de Aportación**

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

$$\eta * E * 0,85$$

Ecuación 4

Donde:

η : Rendimiento mensual medio del colector

E: Energía incidente [MJ/día*m²]

0,85: Factor de corrección

Tabla 10-3 Cálculo Corrección de Aportación

	RENDIMIENTO	ENERGIA INCIDENTE	PERDIDAS	n*E*0,85
ENERO	0,38	14,72	0,85	4,79
FEBRERO	0,35	13,68	0,85	4,05
MARZO	0,31	12,60	0,85	3,28
ABRIL	0,37	14,30	0,85	4,48
MAYO	0,35	13,75	0,85	4,07
JUNIO	0,28	12,16	0,85	2,91
JULIO	0,34	13,65	0,85	3,97
AGOSTO	0,34	13,63	0,85	3,95
SEPTIEMBRE	0,37	14,23	0,85	4,42
OCTUBRE	0,34	13,61	0,85	3,98
NOVIEMBRE	0,33	13,32	0,85	3,79
DICIEMBRE	0,32	12,98	0,85	3,55

Fuente: Espoch-Geaa

Elaborado por: Carlos López

Para la energía incidente sobre metro cuadrado de colector por día, se considera del 10 al 15% de pérdidas, he considerado el mayor valor de pérdida por falta de datos arrojados por la estación meteorológica.

Aportación mensual considerando el número de día que tiene cada mes del año:

Tabla 11-3 Corrección de Aportación Mensual

	n*E*0,85	n*E*0,85*N
ENERO	4,79	148,58
FEBRERO	4,05	113,46
MARZO	3,28	101,60
ABRIL	4,48	134,51
MAYO	4,07	126,11
JUNIO	2,91	87,42
JULIO	3,97	123,12
AGOSTO	3,95	122,57
SEPTIEMBRE	4,42	132,72
OCTUBRE	3,98	123,42
NOVIEMBRE	3,79	113,63

DICIEMBRE	3,55	109,96
-----------	------	--------

Fuente: Espoch-Geaa

Elaborado por: Carlos López

- **Consumo Energético**

Carga mensual de energía para suministrar al agua líquida a pasteurizar 700L/día de leche entera y a su vez entre en funcionamiento el equipo de refrigeración solar por absorción.

Determinación del Volumen de agua de alimentación al pasteurizador

Para determinar el volumen de alimentación necesaria para pasteurizar 700L/h de leche entera se tomó referencia la capacidad promedio de una caldera a abastecimiento máximo de agua en galones.

La capacidad promedio de una caldera es expresada en Caballos Vapor Caldera (BHP). Por cada BHP de requiere alimentarse 4,25 galones de agua por hora.

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

Se considera 15 BHP de referencia a la estación Tunshi de la ESPOCH

$$\text{Agua de alimentación} = 1689,06 \text{ L de Agua/día}$$

Tabla 12-3 Consumo de agua diaria mensual para pasteurizar m

	días/mes	m (L/día)	m (L/mes)
ENERO	31	1689,06	52360,86
FEBRERO	28	1689,06	47293,68
MARZO	31	1689,06	52360,86
ABRIL	30	1689,06	50671,8
MAYO	30	1689,06	50671,8
JUNIO	30	1689,06	50671,8
JULIO	31	1689,06	52360,86
AGOSTO	31	1689,06	52360,86
SEPTIEMBRE	30	1689,06	50671,8
OCTUBRE	31	1689,06	52360,86
NOVIEMBRE	30	1689,06	50671,8
DICIEMBRE	31	1689,06	52360,86

Fuente: Espoch-Geaa

Elaborado por: Carlos López

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

$$Q_a = C_e \cdot \dot{m} \cdot (t_{ac} - t_r) \cdot n \cdot \rho$$

Ecuación 5

Donde:

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

\dot{m} : Caudal de agua (L/día)

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

t_r : Temperatura de la red de agua

n : Número de día mes que se considera

ρ : Densidad del agua (1Kg/L)

Tabla 13-3 Consumo mensual de Energía para Pasteurizar

	TEMPERATURA DEMANDA	TEMPERATURA FRIA RED	SALTO TERMICO	NUMERO DE DIAS n	m CAUDAL (L/día)	CONSUMO (J)	CONSUMO (MJ)
ENERO	150	14	136	31	1689,06	29815949232	29815,95
FEBRERO	150	14	136	28	1689,06	26930534790	26930,53
MARZO	150	14	136	31	1689,06	29815949232	29815,95
ABRIL	150	14	136	30	1689,06	28854144418	28854,14
MAYO	150	14	136	30	1689,06	28854144418	28854,14
JUNIO	150	14	136	30	1689,06	28854144418	28854,14
JULIO	150	14	136	31	1689,06	29815949232	29815,95
AGOSTO	150	14	136	31	1689,06	29815949232	29815,95
SEPTIEMBRE	150	14	136	30	1689,06	28854144418	28854,14
OCTUBRE	150	14	136	31	1689,06	29815949232	29815,95
NOVIEMBRE	150	14	136	30	1689,06	28854144418	28854,14
DICIEMBRE	150	14	136	31	1689,06	29815949232	29815,95

Fuente: Espoch-Geaa

Elaborado por: Carlos López

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

	DIA	MENSUAL	ANUAL
MJ	972,5	29174,8	350096,9
BTU	921744	27652320,3	331827843

Fuente: Espoch-Geaa

Elaborado por: Carlos López

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

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

	DIA	MENSUAL	ANUAL
MJ	826,62	24798,53	297582,41
BTU	783482,40	23504472,2	282053666,56

Fuente: EPOCH-Geaa

Elaborado por: Carlos López

- **Metros cuadrados de panel necesarios**

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

La necesidad anual de consumo es el sumatorio de la demanda mensual de energía de cada mes siendo 297582,41 MJ. La energía anual neta disponible es la aportación anual 1437,10 MJ

$$m^2 \text{ necesarios} = 207,07$$

- **Paneles solares necesarios**

Los metros cuadrados del colector está en función al CCP elegido que oferta el mercado.

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

$$\text{Collectores solares necesarios} = \frac{207,07 \text{ m}^2}{14,1 \text{ m}^2}$$

$$\text{Collectores solares necesarios} = 14,69 \cong 15$$

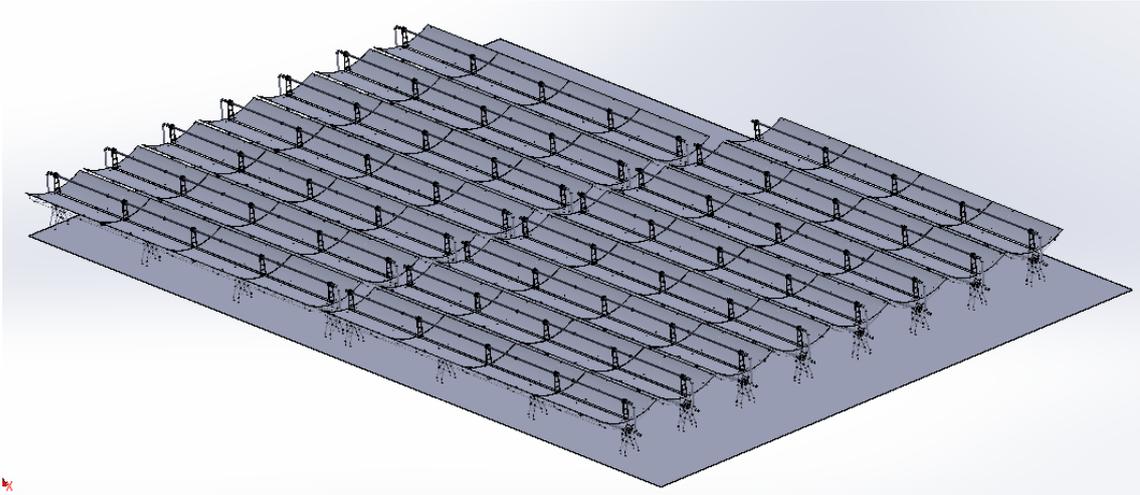


Ilustración 2-3 Colectores CCP arrojados por simulación

Fuente: Autor

En la figura 2-3 se observa a los colectores cilíndricos parabólicos dibujados con especificaciones técnicas de operación dados mediante cálculos realizados en este proyecto técnico de titulación y, una vez elegido en el mercado los CCP se ha complementado el dibujo de simulación con hoja técnica de los mismos dado en el anexo I.

La disposición de los colectores cilíndricos parabólicos, se configura de modo que se haga una distribución uniforme. Se puede configurar combinando dos agrupaciones, de tipo serie y paralelo lo que llamamos agrupaciones o circuitos mixtos. Debido al número grande de colectores elevado se realiza una configuración equilibrada igualando la longitud de los circuitos, es decir, igualar la longitud de tuberías para que el fluido tenga la misma pérdida de carga. (Energía solar, 2015)

La simulación se ha realizado en Solidworks dado a la facilidad de modelado de piezas mecánicas en 3D además de extraer toda la información necesaria para la producción, detallar diseños sin cometer errores y comprobar el diseño industrial para trabajar de una forma rápida y económica.

3.2.2 Dimensionamiento del Intercambiador de Calor en Contracorriente

- **Balance de Masa y Energía en el Intercambiador**

Tomando temperatura como dato real arrojada de simulación de aceite térmico y el resto de datos a condiciones iniciales de operación.

Tabla 16-3 Datos en el intercambiador de calor

		Temperatura (°C)	Capacidad calorífica (J/Kg °C)
Entrada	Aceite Térmico	180	2000
	Agua de Red	14	4187
Salida	Vapor de Agua	150	4187
	Aceite Térmico	15,85	2000

Fuente: Simulación SolidWorks 2016

Elaborado por: Carlos López 2017

Con flujo de caudal necesario de agua a pasteurizar 1689,06 L/día, con datos de densidad 1000 Kg/m³ tenemos un flujo másico de 1689,06 Kg/día.

$$\dot{m}_{Af} = \dot{m}_{Va}$$

Ecuación 6

Donde:

\dot{m}_{Af} = flujo másico del agua fría

\dot{m}_{Va} = flujo másico del vapor de agua

Convirtiendo flujo volumétrico a flujo másico.

$$1689,06 \frac{L}{día} * \frac{1m^3}{1000L} * \frac{1000Kg}{m^3} = 1689,06 \frac{Kg}{día}$$

$$\begin{aligned} & \dot{m}_{Acc} \cdot Cp_{Acc} \cdot (T_{Acc} - T_{Af}) + \dot{m}_{Af} \cdot Cp_{Af} \cdot (T_{Af} - T_{Af}) \\ & = \dot{m}_{Va} \cdot Cp_{Va} \cdot (T_{Va} - T_{AcF}) + \dot{m}_{AcF} \cdot Cp_{AcF} \cdot (T_{AcF} - T_{Af}) \end{aligned}$$

Ecuación 7

Donde:

\dot{m}_{Acc} : Flujo másico aceite caliente

Cp_{Acc} : Capacidad calorífica aceite caliente

T_{Acc} : Temperatura aceite caliente

T_{Af} : Temperatura agua fría

Cp_{Af} : Capacidad calorífica agua fría
 Cp_{Va} : Capacidad calorífica vapor de agua
 T_{Va} : Temperatura vapor de agua
 T_{AcF} : Temperatura Aceite frío
 \dot{m}_{AcF} : Flujo másico aceite frío
 Cp_{AcF} : Capacidad calorífica aceite frío

$$\dot{m}_{ACC} = \dot{m}_{AcF} = \dot{m}_{Ac}$$

Ecuación 8

Donde:

\dot{m}_{Ac} : Flujo másico del aceite

$$\dot{m}_{Ac} = \frac{\dot{m}_{Va} \cdot Cp_{Va} \cdot (T_{Va} - T_{AcF}) - \dot{m}_{Af} \cdot Cp_{Af} \cdot (T_{Af} - T_{AcF})}{Cp_{AcC} \cdot (T_{AcC} - T_{AcF}) - Cp_{AcF} \cdot (T_{AcF} - T_{AcF})}$$

$$\dot{m}_{Ac} = \frac{1689,06(561686,05) - 1689,06(0)}{272000 - 3700}$$

$$\dot{m}_{Ac} = 2889,80 \frac{Kg}{día}$$

Con densidad de aceite térmico 0,88 L/Kg y 5 horas de operación para generación de vapor, se necesita 684L de aceite térmico que sería 180 galones necesarios. Los CCP utilizan un fluido de transferencia de calor que generalmente es aceite térmico (HTF) que circula a través del tubo receptor que es el encargado de absorber la energía radiante procedente del Sol y entregado al bloque de potencia que es el intercambiador de calor en contracorriente. (Sistema HTF, 2013)

- **Cálculo eficiencia térmica del Intercambiador de Calor**

Conociendo ecuación de calor y con datos de operación de intercambiador de calor dados en la tabla 15-3 se calcula el flujo de calor, considerando como variación de temperatura únicamente la temperatura de entrada o a su vez la de salida del intercambiador de calor. (Holman, 1999)

$$Q = \dot{m}Cp\Delta T$$

Ecuación 9

Donde:

Q: Flujo de calor

ΔT : Variación de temperatura

Balance con flujo de calor

$$Q_{AcE} + Q_{AE} = Q_{AcS} + Q_{AS}$$

Ecuación 10

Donde:

Q_{AcE} : Flujo de calor de aceite a la entrada del intercambiador

Q_{AE} : Flujo de calor de agua a la entrada del intercambiador

Q_{AcS} : Flujo de calor de aceite a la salida del intercambiador

Q_{AS} : Flujo de calor de agua a la salida del intercambiador

$$Q_{AcE} = 2889,80 \frac{Kg}{día} \cdot 2000 \frac{J}{Kg^{\circ}C} \cdot 180^{\circ}C$$

$$Q_{AcE} = 1,04 * 10^9 \frac{J}{día}$$

$$Q_{AE} = 1689,06 \frac{Kg}{día} \cdot 4187 \frac{J}{Kg^{\circ}C} \cdot 14^{\circ}C$$

$$Q_{AE} = 99 * 10^6 \frac{J}{día}$$

$$Q_{AcS} = 2889,80 \frac{Kg}{día} \cdot 2000 \frac{J}{Kg^{\circ}C} \cdot 15,85^{\circ}C$$

$$Q_{AcS} = 91,60 * 10^6 \frac{J}{día}$$

$$1,04 * 10^9 \frac{J}{día} + 99 * 10^6 \frac{J}{día} = 91,60 * 10^6 \frac{J}{día} + Q_{AS}$$

$$Q_{AS} = 1,03 * 10^9 \frac{J}{día}$$

Calculando temperatura de agua a la salida del intercambiador de calor.

$$Q_{AS} = \dot{m}_{Va} \cdot Cp_{Va} \cdot T_{Va}$$

Ecuación 11

$$T_{Va} = \frac{1,03 * 10^9 J / día}{1689,06 J / día \cdot 4187 J / Kg^{\circ}C}$$

$$T_{Va} = 145,64^{\circ}C$$

Tomando en cuenta temperatura ideal de 150°C en relación con temperatura mediante cálculo de salida de 145,64°C. Se obtuvimos eficiencia térmica.

$$Eficiencia\ térmica = 97\%$$

3.2.2.1 *Diseño del Intercambiador de Calor en Contracorriente*

Cálculo de la diferencia de temperatura media logarítmica con datos reales de simulación con la planta termosolar pasteurizadora en total operación.

Tabla 17-3 Datos de Temperatura arrojados en simulación a tiempo real

	Temperatura (°C)
Aceite entrada del intercambiador	180
Aceite salida del intercambiador	80
Agua a la entrada del intercambiador	60
Agua a la salida del intercambiador	150

Fuente: Simulación SolidWorks 2016

Elaborado por: Carlos López 2017

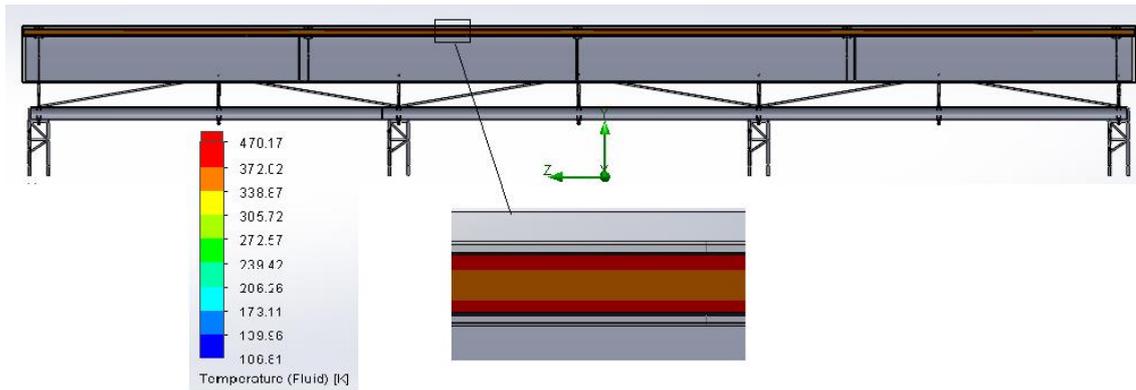


Ilustración 3-3 Aceite Térmico arrojado por simulación

Fuente: Simulación SolidWorks

En la Figura 3-3 se observa el incremento de temperatura puesta en marcha los colectores cilíndricos parabólicos, con datos arrojados de simulación dimensionemos el intercambiador en contracorriente.

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

Ecuación 12

Indicado verbalmente es la diferencia de temperatura en un extremo del intercambiador menos la diferencia de temperatura del otro extremo, dividido entre el logaritmo natural del cociente de las dos diferencias. (Holman, 1999)

Donde:

MLDT: Diferencia de temperatura media logarítmica.

ΔT_A = Diferencia temperatura de entrada de aceite y temperatura de salida de aceite en el intercambiador de calor.

ΔT_B = Diferencia temperatura de salida de aceite y temperatura de salida de aceite en el intercambiador de calor.

$$MLDT = \frac{(180 - 80)^{\circ}\text{C} - (80 - 60)^{\circ}\text{C}}{\ln \frac{(180 - 80)^{\circ}\text{C}}{(80 - 60)^{\circ}\text{C}}}$$

$$MLDT = 49,71^{\circ}\text{C}$$

- **Cálculo del área para flujo transversal**

Se calculó el área para flujo transversal considerando el factor de corrección de temperatura para un paso por la coraza y dos o más pasos por el tubo así también como el coeficiente global de transferencia de calor dados en tablas del anexo II. Y el flujo de calor del aceite en el intercambiador de calor. (Holman, 1999)

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

Ecuación 12

Donde:

Q_i : Calor de entrada al intercambiador en operación

T_{hi} : Temperatura de entrada del aceite

T_{ho} : Temperatura de salida del aceite

$$Q_i = 6600W$$

- **Cálculo del área**

Se calculó el área de flujo transversal aplicando la siguiente ecuación. (Holman, 1999)

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

Ecuación 13

Donde:

A_s : Área para el flujo transversal

U : Coeficiente global de transferencia de calor, 350 W/m²C

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

$$A_s = 0,35 m^2$$

- **Cálculo del área del tubo**

Para el cálculo del área del tubo se tomó como dato al diámetro exterior dado como dato de hoja técnica del tubo con el que se sugiere se construya el intercambiador de calor, siendo el mismo Acero inoxidable AISI 304 en anexo III. Y la longitud del tubo se encontró con el gráfico en anexo VI, entrando con datos de área y diámetro interno. (Holman, 1999)

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

Ecuación 14

Donde:

A_t : Área del tubo

d_o : Diámetro exterior del tubo, 0,334m

L : Longitud del tubo, 0,9m

$$A_t = 0,094m^2$$

- **Cálculo número de tubos**

Los números de tubos son los componentes fundamentales en un intercambiador de calor, proporcionando superficie de transferencia entre el fluido y la carcasa (Holman, 1999)

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

Ecuación 15

Donde:

N_t : Número de tubos

$$N_t = 3,75 \cong 4$$

Se tiene calculado el número de tubos para una sección de entrega de vapor a máquina de absorción, considerando que se necesita entregar vapor para pasteurizar y desinfección de varios equipos se triplica su potencia para no perder caudal másico. Por tal motivo se necesita 12 tubos.

3.2.3 *Balance en Pasteurizador*

Sabiendo la producción máxima diaria de leche de la planta de ordeño de la estación Tunshi que es 700L/día, calculamos el flujo másico de leche. Se considera 150°C de vapor de agua de ingreso al intercambiador de placas, pero se reduce a 70°C de temperatura de pasteurización automáticamente.

$$\dot{m}_{leche} = 700 \frac{L}{día} * 1,032 \frac{g}{mL} * 1 \frac{Kg}{1000g} * 1 \frac{1000mL}{1L}$$

Ecuación 16

Donde:

\dot{m}_{leche} : Flujo másico de leche

$$\dot{m}_{leche} = 722,4 \frac{Kg}{día}$$

Con datos de operación del pasteurizador obtenidos mediante simulación y medidos experimentalmente detallados en la siguiente tabla:

Tabla 18-3 Datos temperatura operación del pasteurizador

Pasteurizador	Temperatura Leche (°C)	Temperatura de vapor de agua (°C)	Temperatura de refrigeración (°C)
Entrada	12	150	3
Salida	5	60	14

Fuente: Simulación SolidWorks

Elaborado por: Autor

Balance en el pasteurizador:

$$Entrada - Salida = Acumulación$$

$$E_{VaporA} + E_{Arefrigeración} + E_{leche} - E_{Vsat} - E_{Asalida} - E_{Lpasteurizada} = E_{ac}$$

Ecuación 17

Donde:

E_{VaporA} : Energía de vapor de agua

$E_{Arefrigeración}$: Energía agua de refrigeración

E_{leche} : Energía de leche entera

E_{Vsat} : Energía de vapor saturado

$E_{Asalida}$: Energía agua refrigeración salida del pasteurizador

$E_{Lpasteurizada}$: Energía leche pasteurizada

E_{ac} : Energía acumulación

$$\begin{aligned}
& 1,001 * 10^9 \frac{J}{\text{día}} - \left(\dot{m}_{\text{Refrigeración}} \cdot 4187 \frac{J}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \cdot 3^\circ\text{C} \right) + 34,06 * 10^6 \frac{J}{\text{día}} - 424,32 * 10^6 \frac{J}{\text{día}} \\
& - \left(\dot{m}_{\text{Refrigeración}} \cdot 4187 \frac{J}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \cdot 14^\circ\text{C} \right) - 14,19 * 10^6 \frac{J}{\text{día}} \\
& = V d_{(v)\text{leche}} \frac{dT_{\text{salLeche}}}{dt}
\end{aligned}$$

Resolviendo en la acumulación sabiendo que el peso molecular de leche entera es 107,232Kg/Kmol y con la capacidad calorífica de la leche a volumen constante.

$$C_{p\text{leche}} = 3937,5 \frac{J}{\text{kgKmol}^\circ\text{C}} \cdot \frac{107,232 \text{ Kgleche/Kmol}}{1 \text{ Kgleche}}$$

$$C_{p\text{leche}} = 422226 \frac{J}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$$

$$596,55 * 10^6 \frac{J}{\text{día}} - \left(722,4 \frac{\text{Kg}}{\text{día}} \cdot 422226 \frac{J}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \cdot 5^\circ\text{C} \right) = \dot{m}_{\text{Refrigeración}} \cdot 4187 \frac{J}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (-11)^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_{\text{Refrigeración}} = \frac{-923,45 * 10^9 \text{ J/día}}{4187 \text{ J/Kg}^\circ\text{C} (-11)^\circ\text{C}}$$

$$\dot{m}_{\text{Refrigeración}} = 20050,15 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

Donde:

$\dot{m}_{\text{Refrigeración}}$: Flujo másico de agua de refrigeración

3.2.4 Máquina de Absorción

Calculando el coeficiente de operación de la máquina de absorción, en función de datos de temperatura de entrada y salida para poder elegir según el mercado ofertante.

$$\text{COP}_R = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1}$$

Ecuación 18

Donde:

T_H : Temperatura alta de entrada a la máquina de absorción

T_L : Temperatura baja de salida de máquina de absorción

$$\text{COP}_R = \frac{1}{\frac{150^\circ\text{C}}{3^\circ\text{C}} - 1}$$

$$\text{COP}_R = 0,02$$

El alto consumo de energía fósil ha incrementado la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero declarando la necesidad de incorporar energías limpias, lo cual justifica la política adoptada para la diversificación de la matriz energética en el país. En el Ecuador no se encuentra evidencia de empleo de energía solar como fuente renovable de energía aplicando el sistema de refrigeración por absorción. (Romero, y otros, 2014)

La máquina de absorción es una bomba de calor que permite entregar energía de una fuente a baja temperatura a otra a alta temperatura con un consumo de energía, que en este caso es aportada por energía térmica. Su funcionamiento se basa en la capacidad del sistema para absorber un fluido refrigerante. Las máquinas de absorción se dividen en simple y doble efecto según condiciones de operación, la primera requiere agua caliente entre 80-95 °C y la segunda con agua saturada 120-190 °C y 3-10 bar. (Romero, y otros, 2014). Con 180 °C de temperatura de vapor saturado se tiene 500KPa o 5bar de presión de vapor, por lo que se considera la elección de una máquina de absorción de doble efecto. (Cengel, 2012)

- **Simulación basada en CFD (Dinámica de Fluidos Computacional)**

La representación del fluido en 3D se denomina dominio computacional en el cual consiste en dividir el mismo en diferentes secciones por medio del método de mallado, en esta malla se resolverán las ecuaciones de transporte y energía. Para un correcto análisis utilizando este método se necesita realizar tres pasos: El pre proceso, proceso y el post proceso.

El pre proceso consiste en la programación de los campos en el programa q es la selección del fluido a condición ambiental y condiciones de frontera, colocación de magnitudes físicas presión, velocidad a la entrada y salida del fluido. La programación de la malla, se va resolviendo en cada nodo las ecuaciones de transporte y energía el mismo software SolidWorks FlowSimulation utiliza una malla cubica la misma que mientras más pequeña sea esta malla más precisa es el cálculo. Proceso es la solución le programa. Post proceso se refiere al muestreo de resultados ya calculados del CCP y del Intercambiador.

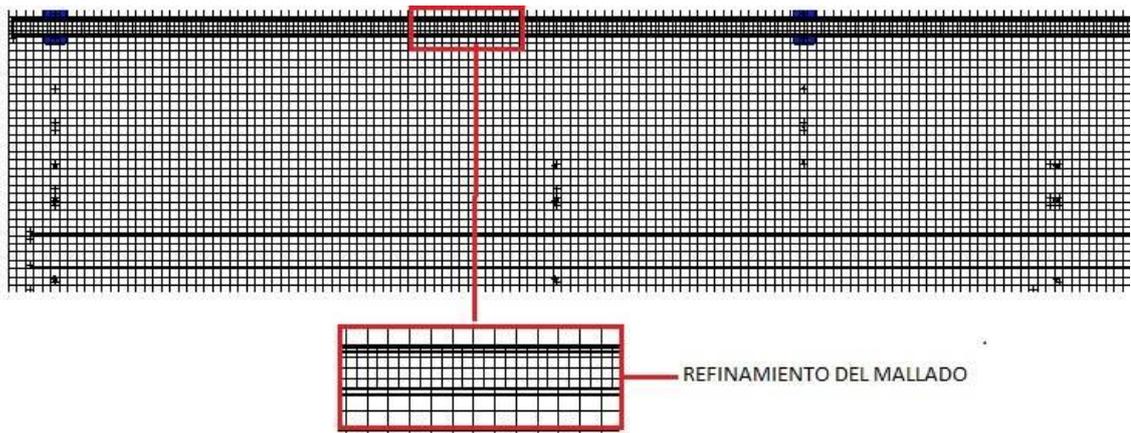


Ilustración 4-3 Mallado CFD

Fuente: Simulación SolidWorks

3.2.5 Resultados

a. Colector Cilíndrico Parabólico

Tabla 19-3 Colector Cilíndrico Parabólico

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Área	A	m ²	207,07
Potencia	P	W	9567,33

Realizado por: Carlos López 2017

b. Intercambiador de Calor Contracorriente

Tabla 20-3 Dimensionamiento intercambiador calor contracorriente

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Calor entrada	Q _i	W	6600
Área de transferencia	A _s	m ²	0,35
Área de los tubos	A _t	m ²	0,094
Número de tubos	N _t	U	4

Realizado por: Carlos López 2017

c. Máquina de absorción

Tabla 21-3 Máquina de absorción doble efecto

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Temperatura de entrada	T	°C	180
Presión de vapor	P_v	<i>bar</i>	5
Coefficiente de operación	COP	–	0,02

Realizado por: Carlos López 2017

d. Intercambiador de placas

Tabla 22-3 Intercambiador de placas

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal de entrada	\dot{m}_{leche}	<i>Kg/día</i>	722,4
Temperatura de ingreso	T	°C	150
Temperatura de pasteurización	T	°C	70
Temperatura de refrigeración	T	°C	3

Realizado por: Carlos López 2017

e. Fluido calor portador

Tabla 23-3 Aceite térmico

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal de aceite	\dot{m}_{Ac}	<i>Kg/día</i>	2889,80

Realizado por: Carlos López 2017

Dispositivos auxiliares en función a los caudales, considerando el material ANSI 304 por ser acero inoxidable con aplicación para alimentos y alta resistencia a la corrosión.

f. Tanques de almacenamiento

Tabla 24-3 Tanques de almacenamiento

Parámetros	Símbolo	Unidad	Valor
Tanque para condensado ANSI 304, espesor 3mm	<i>V</i>	m^3	3,02
Tanque para agua de refrigeración, espesor 3mm	V	m^3	3,02
Tanque para agua de refrigeración, espesor 3mm	V	m^3	2,5

Realizado por: Carlos López 2017

3.3 Proceso de producción

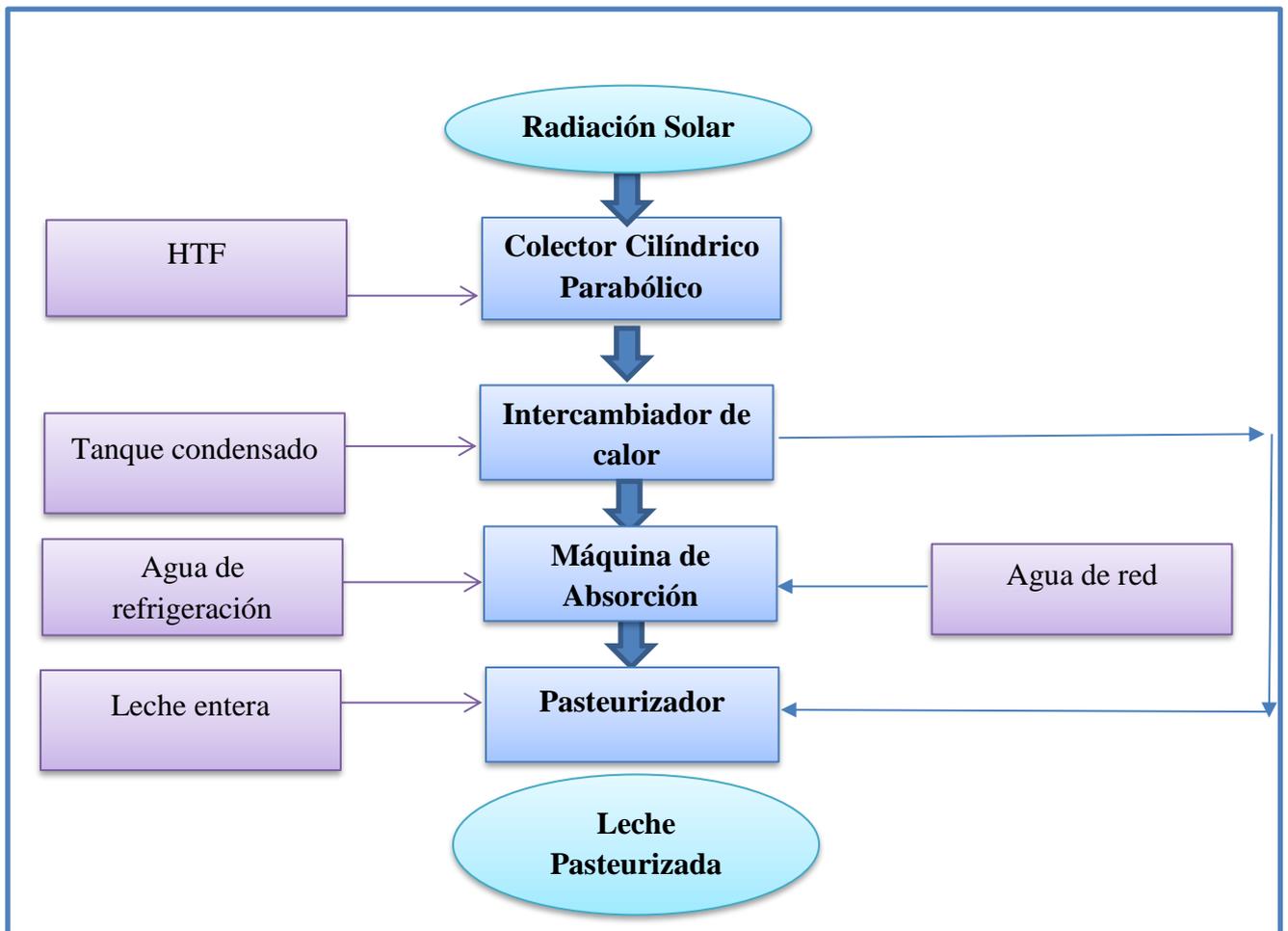


Ilustración 5-3 Planta solar pasteurizada

Realizado por. Carlos López 2017

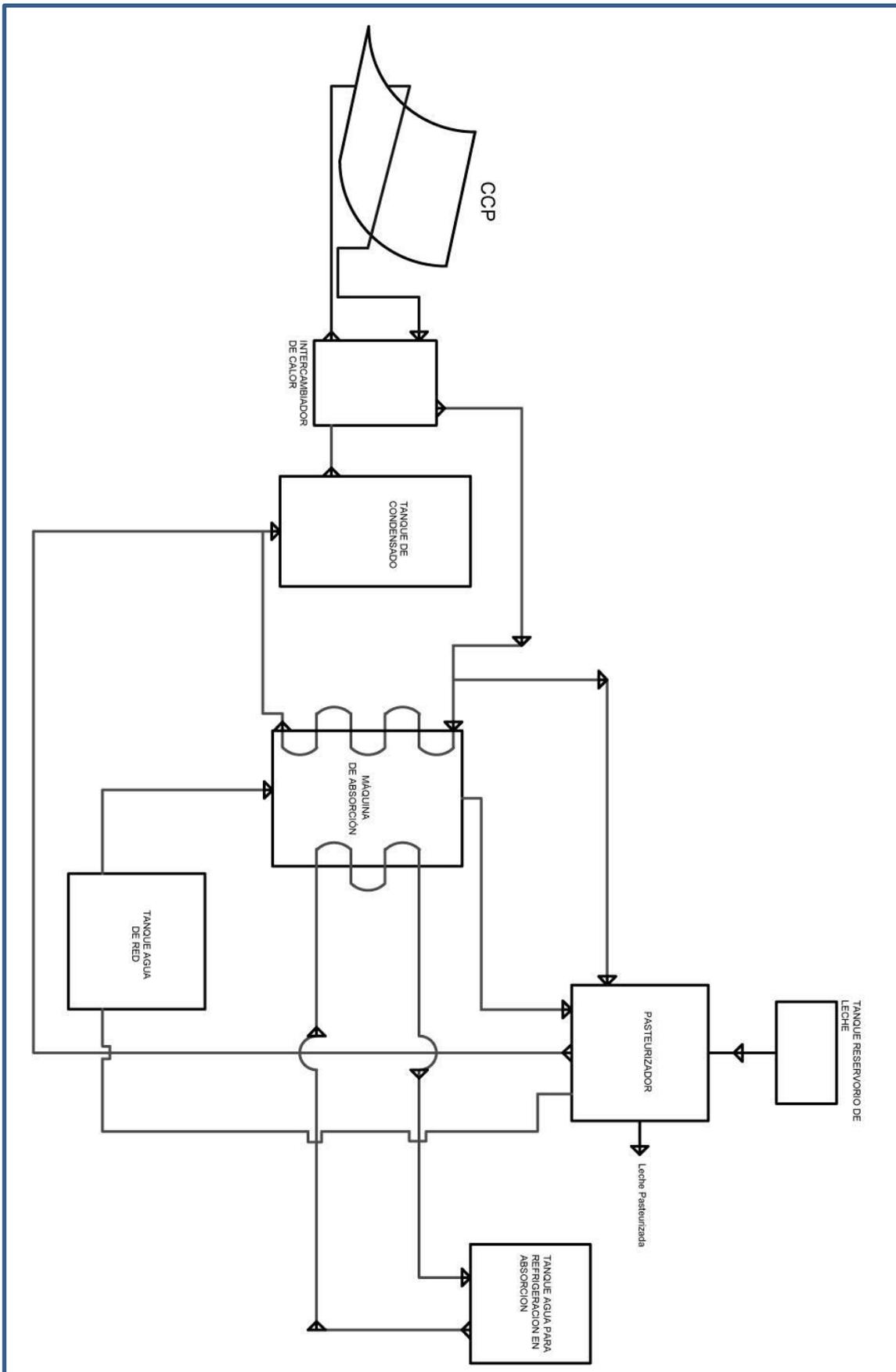


Ilustración 6-3 Aceite Térmico arrojado por simulación
 Fuente: Carlos López

3.4 Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

3.4.1 *Requerimiento de materiales y equipos para el muestreo y medición en estación meteorológica Tunshi para cálculo de número de CCP.*

Tabla 25-3 Materiales de muestreo y recolección de información

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

Fuente: Espoch-Geaa

Realizado por: Carlos López 2017

3.4.2 *Requerimiento de equipos para la simulación de la planta termosolar pasteurizadora*

Los equipos necesarios para la simulación en base a cálculos de ingeniería y elección de máquinas con hojas técnicas entradas por el proveedor.

Tabla 26-3 Equipos para simulación

Fundamento	Equipos
Cálculos de ingeniería para dimensionamiento y crear criterio de elección de equipos y máquinas para la simulación de la planta termosolar pasteurizadora.	<ul style="list-style-type: none"> • Computador • Software SolidWorks 2016

Realizado por: Carlos López 2017

3.5 Análisis de Costo/beneficio del proyecto

Tabla 27-3 Determinación de los costos de la Planta Solar Pasteurizador

Rubro/Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario(\$)	Precio Global(\$)
COLECTOR CILÍNDRICO PARBÓLICO				
Panel Solar Cilíndrico Parabólico, 151,771 ft ²	U	15	13956,00	209.340,00
ACEITE TÉRMICO				
Aceite Térmico, envase 25 L	U	27	10,11	435,00
INTERCAMBIADOR DE CALOR CONTRACORRIENTE				
Tubo C40, 1/4 plg	U	12	12,69	152,28
Espejos y cuerpo	U	1	820,00	820,00
Coraza 1 y coraza 2	U	1	500,00	500,00
Arandelas 5/8-3/4 plg, base 6 plg	U	1	1108,71	1.108,71
Perno 2 1/2``, bridas, seguros 5/8``	U	1	5711,60	5.711,60
MÁQUINA DE ABSORCIÓN				
Planta enfriadora de agua doble efecto accionada por vapor saturado	U	1	28469,00	28.469,00
INTERCAMBIADOR DE PLACAS				
Intercambiador de placas, capacidad 500L, Acero inoxidable ANSI 304	U	1	22569,36	22.569,36
TANQUES				
Tanque para condensado, 1200L	U	1	3600,00	3600,00
Tanque para agua de refrigeración	U	1	7500,00	7500,00
Tanque frío para reservorio de leche	U	1	6000,00	6000,00
			Total	286.205,95
			14% IVA	40.068,83
PRECIO TOTAL DE LA PLANTA TERMOSOLAR PASTEURIZADORA				326.274,78

Realizado por: Carlos López 2017

- **Comparación del costo vapor planta de lácteos Tunshi, con la Planta Termosolar Pasteurizadora.**

Tomamos como referencia la potencia que tiene el caldero de Tunshi siendo de 15 Hp, sabiendo que 1 Hp=34,4 lb/h y 1 lb=0,45 Kg se halla que el caldero produce 234,54 Kg vapor/hora, en las 5 horas que trabaja el caldero la producción de vapor al día es 1172,72 Kg de vapor/día. Para producir 234,54 Kg vapor/h la cadera consume 5 galones de diésel por hora, el consumo diario es de 25 galones, cada galón de diésel tiene un costo de 1,03 USD, por consiguiente, el costo diario es de 25,75 USD (Oprimización de la Planta de Lácteos en la Producción de Leche Pasteurizada de la Estación Experimental Tunshi, 2014). Entonces el costo de vapor en la planta de lácteos de Tunshi es:

$$\text{Costo de vapor} = \frac{\text{Costo de combustible/día}}{\dot{m}_{\text{vapor}}/\text{día}}$$

Ecuación 10

Dónde:

\dot{m}_{Ac} : masa de vapor al día; 1172,72 Kg de vapor/día.

$$\text{Costos de vapor} = \frac{25,75 \text{ USD/día}}{1172,72 \text{ Kg de vapor/día.}}$$

$$\text{Costo de vapor} = 0,022 \text{ USD/Kgdevapor}$$

La propuesta de implementación de una Planta Termosolar Pasteurizadora:

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

Considerando que se necesita 180 galones para 5 años se tiene que por un año precisamos 36 galones. En comparación con el caldero de Tunshi trabaja 3 días por semana, al año son 144 días, para los galones por año se tiene 0,25 galones por día en 5 horas de generación de vapor. El coste por 6,6 galones que ofrece el mercado es de 10,11 USD, para 0,25 galones que se necesita equivale a 0,38 USD.

Con referencia a la potencia de los 15 CCP se tiene 12,84 HP, realizando los mismos cálculos anteriores se tiene una producción de 200 Kg vapor/hora, en 5 horas de trabajo para la producción de vapor al día es 1000 Kg de vapor/día. Para producir 200 Kg vapor/hora el costo diario de aceite térmico es de 0,38 USD. Así es costo de vapor es:

$$\text{Costos de vapor} = \frac{0,38 \text{ USD/día}}{1000 \text{ Kg de vapor/día.}}$$

$$\text{Costo de vapor} = 0,38 \times 10^{-3} \text{ USD/Kgdevapor}$$

Tabla 28-3 Determinación de vapor

Detalle	USD /Kgdevapor
Caldero Planta Lácteos Tunshi	0,022
Planta Termosolar Pasteurizadora	$0,38 \times 10^{-3}$

Realizado por: Carlos López 2017

3.5.1 Análisis

La obtención de los resultados se basó considerando que la parroquia de Tunshi posee un clima variado y es monitoreado por la estación meteorológica de la Facultad de Ciencias - Espoch, los resultados recogidos de la misma están especificado en las Tabla 1-3 - Tabla 10-3, los cuales mediante cálculos matemáticos de estableció el área de metros cuadrados necesarios para pasteurizar 700 L/d que se recolecta de la planta de ordeño de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo aprovechando el recurso energético solar que sobrepasa los 200 W/m² que se recomienda para poder instalar este tipo de CCP siendo viable la posible instalación de los mismos en Chimborazo.

Con efectos de transferencia de calor y parámetros de operación arrojados mediante simulación en software SolidWorks fue posible dimensional el intercambiador en contracorriente que primeramente se obtuvo el flujo másico de aceite térmico de 2889,80 Kg/día y el volumen necesario de éste para poder realizar una supuesta compra que durará el aceite térmico cinco años trabajando normalmente 144 días por cada año para producción de vapor saturado.

Mediante balance de materia y energía de pudo seleccionar los demás equipos en función a los existentes en el mercado, intercambiador de placas con temperatura de ingreso de 150 °C considerando que según norma NTE INEN 10:2012 Leche Pasteurizada requisitos, no puede sobrepasar los 100 °C de temperatura para pasteurización por que puede perder sus propiedades alimenticias, pero al momento de ingreso al intercambiador de placas incluye un sistema automático de temperatura para regular la temperatura y llegar a temperatura de pasteurización de 72 °C.

De la misma manera se seleccionó la máquina de absorción en la cual se realizó refrigeración solar aprovechando la alta temperatura arrojada por el intercambiador de calor y su presión de

vapor de 5 bar, lo cual conllevó a seleccionar una máquina de absorción accionada por vapor saturado de doble efecto entregando agua fría de 3 °C para ingreso al pasteurizador.

3.5.2 Conclusiones

- Mediante cálculos matemáticos en función de la producción de leche entera entregada por la planta de ordeño de estación experimental Tunshi y mediante discernimiento de colectores existentes en el mercado para producir vapor saturado a 150 °C se seleccionó implementar colectores cilíndricos parabólicos en función al recurso solar del sector siendo necesario 207,07 m² de CCP. No se considera ningún impacto operativo ya que, al momento de operación de la planta, no se genera emisiones a la atmosfera ya que no se produce la quema ni utilización de ningún combustible de tipo fósil.
- Se dimensionó un modelo térmico de acuerdo al recurso energético solar gratuito disponible para dimensionar y pasteurizar 700L/d de leche entera recogidos de la planta de ordeño de la estación experimental Tunshi, evaluando cada una de las variables de transferencia de calor, como temperaturas y calor de entrada de agua y aceite respectivamente $99 * 10^6 J/día$ y $1,04 * 10^9 J/día$ para dimensionar un dispositivo de producción de vapor de área de transferencia de 0,35 m² y seleccionar equipos auxiliares existentes en el mercado tanto para pasteurización como refrigeración solar para operar la planta termosolar pasteurizadora sin ningún inconveniente.
- Mediante simulación en software SolidWorks FlowSimulation 2016 se determinó la factibilidad técnica mediante cálculos de ingeniería con la cual fue puesta en operación la planta termosolar pasteurizadora, demostrando que es factible técnicamente el montaje de la misma. Se realizó la factibilidad económica en la tabla 25-3 comparando el costo de vapor de producción de 200 Kg de vapor/hora a un costo de 0,38 USD, siendo la planta termosolar pasteurizada 98.50% más económica el momento de generar vapor.

3.5.3 Recomendaciones

- Realizar una matriz de mantenimiento a largo, mediano, y corto plazo.
- Se puede continuar con el proyecto analizando toda la obra civil para el montaje de la planta.
- Se recomienda hacer todo el análisis económico de los accesorios que no se considera internamente de los rubros de presupuesto dentro de este proyecto.
- Equipo para automatización e implementación de un software de control, así como un manual de operación de para la planta termosolar pasteurizadora.

3.6 Cronograma de actividades

ACTIVIDAD	TIEMPO																												
	1° mes				2° mes				3° mes				4° mes				5° mes				6° mes								
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4					
Revisión bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Desarrollo del modelo térmico mediante todas las resistencias que integran el problema			■	■	■	■	■	■																					
Identificación de las variables de diseño para una PTSP					■	■	■	■																					
Análisis de resultados									■	■	■																		
Efectuar los cálculos de ingeniería										■	■	■	■	■															
Validar el diseño propuesto														■	■	■													
Pruebas de simulación															■	■	■												
Determinación de la factibilidad económica del proyecto técnico																		■	■	■									
Elaboración de borradores											■	■	■	■	■	■	■	■	■										
Corrección de borradores																		■	■	■									
Redacción del trabajo final											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
Empastado y presentación del trabajo final																						■	■						
Auditoria Académica																							■	■					
Defensa del trabajo																											■		

BIBLIOGRAFÍA

1. **CENGEL, YANUS A.** *Termodinámica*. México : McGraw-Hill, 2012.
2. **DE JUANA J Ma.** *Energías Renovables para el desarrollo*; Madrid, España, 2002. Pp. 7, 8, 9, 27-44.
3. **ENERGÍA SOLAR.** Energía solar. *Captadores solares térmicos*. [En línea] 28 de Septiembre de 2015. [Citado el: 09 de Febrero de 2017.] <https://solar-energia.net/energia-solar-termica/captadores-solares-termicos>.
4. **ENERGIZA.** Energiza. *Procedimiento de operación sistema HTF*. [En línea] Renovetec, 01 de Septiembre de 2013. [Citado el: 14 de Febrero de 2017.] <http://www.energiza.org/termosolar/115-especial-sistema-htf/217-procedimiento-de-operaci%C3%B3n-sistema-de-htf>.
5. **FERNANDEZ DIEZ P.** *Termodinámica Técnica Universidad de Cantabria*, 2004. Pp. 410, 411.
6. **GUAÑO, Y.** *Oprimización de la Planta de Lácteos en la Producción de Leche Pasteurizada de la Estación Experimental Tunshi. (En línea) (Tesis Ing. Químico)*. Riobamba. Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ciencias. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2014. Pp. 47, 52. (Enero 2017). Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3420/1/96T00254.pdf>
7. **HOLMAN, J.P.** *Transferencia de Calor*. [aut. libro] J.P. Holman. *Transferencia de Calor*. México : Continental, S.A, 1999.
8. **JIMENES, A. PORTALANZA, M.** *Estandarización de Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar en la ciudad de Riobamba. (En línea) (Tesis Ing. Mecánica)*. Riobamba. Escuela de Ingeniería Mecánica. Facultad de Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2009. Pp. 28, 29. (Febrero 2017). Disponible en <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/269/1/15T00417.pdf>
9. **LARREA, G. BAYA, H.** *Diseño de un Sistema Solar Térmico para la Producción de Quesos en las Comunidades: Chimborazo, Santa Isabel-San Juan-Chimborazo. (En línea)*

(Tesis Ing. Biotecnología Ambiental). Riobamba. Escuela de Ciencias Químicas. Facultad de Ciencias. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2011. Pp. 30, 32. (Febrero 2017). Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/751/1/236T0039.pdf>.

10. **LIÑAN, FRANCISCO RODRÍGUEZ..** La energía del cambio. *ABENGOA*. [En línea] 3 de Noviembre de 2014. [Citado el: 25 de Enero de 2017.] <http://www.laenergiadelcambio.com/como-funciona-una-planta-termsolar-cilindroparabolica>.
11. **LÓPEZ CÓZAR J.** *Energía Solar Térmica. Manuales de Energías Renovables*; Madrid, España. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2006. Pp. 13, 31-45, 65-73.
12. **MINISTERIO DE COORDINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN, EMPLEO Y COMPETITIVIDAD. ECUADOR.** Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad. *AGENDA-TERRITORIAL-CHIMBORAZO*. [En línea] Mayo de 2011. [Citado el: 23 de Enero de 2017.] <http://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/02/AGENDA-TERRITORIAL-CHIMBORAZO.pdf>.
13. **ORTEGA DRODRIGUEZ M.** *Energías Renovables*: 2da. Ed. Madrid, THOMSON, 2002. Pp. 33,34,35,59-63, 69,73
14. **PUIG P, JOFRA M.** *Energías Renovables para Todos*; Madrid, España, 2003. Pp. 2, 3, 4, 5.
15. **ROBERT PERRY, DON GREEN Y JAMES MALONEY.** *Perry Manual del Ingeniero Químico*. México : McGRAW-HILL, 1994.
16. **ROMERO, JOSÉ A. PAGUAY Y CARBONELL, MORALES TANIA.** Scielo. *Ingeniería Energética*. [En línea] Septiembre de 2014. [Citado el: 10 de Febrero de 2017.] http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012014000300013.
17. **SAN JOSE, C.R.** *Manuales Sobre Energía Renovable. Solar Térmica*; 1ra. Ed. Network. Bun-ca. Pp. 6.
18. **TERÁN, JUAN FERNANDO. 2016.** El Telégrafo. *Economía*. [En línea] 2 de Abril de 2016. [Citado el: 23 de Enero de 2017.] <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/5-4-millones-de-litros-de-leche-se-producen-al-dia>.

19. **VELASCO, CARMEN PAREDES. 2012.** Universidad Politécnica de Madrid. *ad upm es*. [En línea] Septiembre de 2012. [Citado el: 25 de Enero de 2016.] http://oa.upm.es/14011/1/PFC_CARMEN_PAREDES_VELASCO.pdf.

20. **VILLAFUERTE, LUIS MANZANO. 2012.** Escuela de organización industrial. *EIO*. [En línea] Creative Commons, 21 de FEBRERO de 2012. [Citado el: 17 de 01 de 2016.] <http://www.eoi.es/blogs/luisenriquemanzano/2012/02/21/las-centrales-termosolares-en-el-ecuador/>.

ANEXOS

JACOR CIA. LTDA.

www.eductormetalicaecuador.com

PROFORMA: No. 16 EQUIPOS PAS_SOLAR

Quito, a 13 de febrero del 2017

Señor:
Santiago López
Presento. -

REFERENCIA: EQUIPOS PASTEREURIZACION SOLAR

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

1. PROMESA DE SERVICIO:

JACOR CIA LTDA. Pone a su disposición nuestra tecnología para este tipo de productos que son procesados bajo BPM, con lo cual aseguramos calidad y oportunidad de entrega de los proyectos de nuestros clientes.

2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

1. Aceite Térmico

Envase de 25 Lts.

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

Características físico-química

Densidad a 15°C 0,880

Índice de acidez Neutro

Color ASTM D-1500 1,5

Viscosidad cinemática a 50°C 22 cST

Punto de inflamación 196°C

Punto de combustión 223°C

Punto de niebla -40°C Punto

de congelación -45°C

Cenizas Inapreciables

Conductividad 0,117 KCAL/H m2

térmica a 30° (°C/M)

Conductividad 0,110 KCAL/H m2

térmica a 200°C (°C/M)

2. PANEL SOLAR CILÍNDRICO PARABÓLICO

Dirección: Calle Multi 57 -28 y av. Bobosaza

Teléfonos: 02 2612573 0995489724

Quito-Ecuador

JACOR CIA. LTDA.

www.estructurametalfacil.com

Features:

151.771 Square foot Parabolic Solar Trough: (Picture shows 1 section, 2 sections make up 151.771 square feet) Approximately 1.5 kW 10 hr. / clear day of thermal solar heat.

3. TANQUE PARA CONDENSADO
D=800 mm L=1500 mm Acero inoxidable ANSI 304, espesor 3mm
4. TANQUE PARA AGUA DE REFRIGERACION
D=800 mm L=1500 mm Acero inoxidable ANSI 304, espesor 3mm
5. TANQUE PARA AGUA DE REFRIGERACION
CAPACIDAD 2500 LITROS, Acero inoxidable ANSI 304, espesor 3mm
6. TANQUE FRIO PARA RESERVORIO DE LECHE
CAPACIDAD 2000 LITROS, Acero inoxidable ANSI 304, espesor 3mm
7. PLANTA ENFRIADORA DE AGUA DOBLE EFECTO ACCIONADAS POR VAPOR SATURADO
Acero inoxidable ANSI 304, espesor 3mm, CAPACIDAD 421 KW
8. INTERCAMBIADOR DE PLACAS
CAPACIDAD 500 LITROS, Acero inoxidable ANSI 304

3. PRECIO DE PROVISIÓN DE EQUIPOS:

CUADRO 1: PRECIOS

ITEM	RUBRO	UNID	CANT	Dolares/unidad	TOTAL, EN DOLARES
1	Aceite Térmico ENVASE DE 25 L	u	43	10,11	435,00
2	PANEL SOLAR CILINDRICO PARABOLICO	u	15	13956,00	209,340.00
3	TANQUE PARA CONDENSADO 1200 L	u	1	3600,00	3600,00
4	TANQUE PARA AGUA DE REFRIGERACION	u	1	7500,00	7500,00
5	TANQUE FRIO PARA RESERVORIO DE LECHE	u	1	6000,00	6000,00

Dirección: Calle Multi S7 -28 y av. Bobonaza
Teléfonos: 02 2612573 0995489724
Quito- Ecuador

JACOR CIA. LTDA.

www.estructurametallicascuador.com

6	PLANTA ENFRIADORA DE AGUA DOBLE EFECTO ACCIONADAS POR VAPOR SATURADO	u	1	28469,00	28469,00
7	INTERCAMBIADOR DE PLACAS	u	1	22569,36	22569,36
					\$
			total		277,913.36
			14% IVA		\$ 38,907.87
			SUMA TOTAL		\$ 316,821.23

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

La forma de pago para estos ítems es:

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

4. CONDICIONES DE LA OFERTA:

- LUGAR DE ENTREGA DE PRODUCTOS: MANTA
- TIEMPO DE ENTREGA: 120 días
- FORMA DE PAGO: Indicadas
- VALIDEZ DE LA OFERTA: 20 días

5. CONSIDERACIONES:

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

Azatamente,

Ing. Enrique Jácome

Dirección: Calle Multi 57 -28 y av. Bobonaza
Teléfono: 02 2612573 0995489724
Quito- Ecuador

Anexo B Valores de los coeficientes de transferencia de calor total

<i>Situación física</i>	<i>U</i>	
	<i>Btu/h · pie² · °F</i>	<i>W/m² · °C</i>
Pared exterior de ladrillo, interior enyesado, sin aislante	0.45	2.55
Pared exterior de madera, interior enyesado: sin aislante	0.25	1.42
Ventana con vidrio plano	0.07	0.4
Con fibra de vidrio como aislante	1.10	6.2
Ventana con doble vidrio plano	0.40	2.3
Condensador de vapor	200-1000	1100-5600
Calentador de alimentación de agua	200-1500	1100-8500
Condensador de freón 12 con enfriador de agua	50-150	280-850
Cambiador de calor agua a agua	150-300	850-1700
Cambiador de calor con tubería con aletas, agua en los tubos, aire a través de ellos	5-10	25-55
Cambiador de calor agua a aceite	20-60	110-350
Vapor a aceite combustible ligero	30-60	170-340
Vapor a aceite combustible pesado	10-30	56-170
Vapor a petróleo destilado o gasolina	50-200	280-1140
Cambiador de calor con tubería con aletas, vapor en los tubos y aire sobre ellos	5-50	28-280
Condensador de amoníaco, agua en los tubos	150-250	850-1400
Condensador de alcohol, agua en los tubos	45-120	255-680
Cambiador de calor gas a gas	2-8	10-40

Anexo C Hoja técnica Acero Inoxidable AISI 304



INOXIDABLES

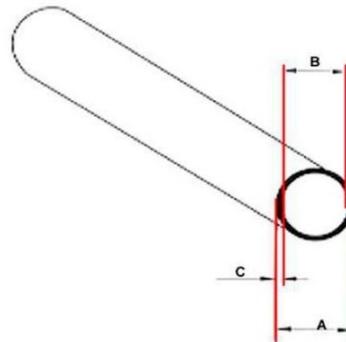
Tubos y Conexiones de Acero Inoxidable

SERIE INDUSTRIAL SCH. 5S / 10S

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

TUBOS CON COSTURA

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

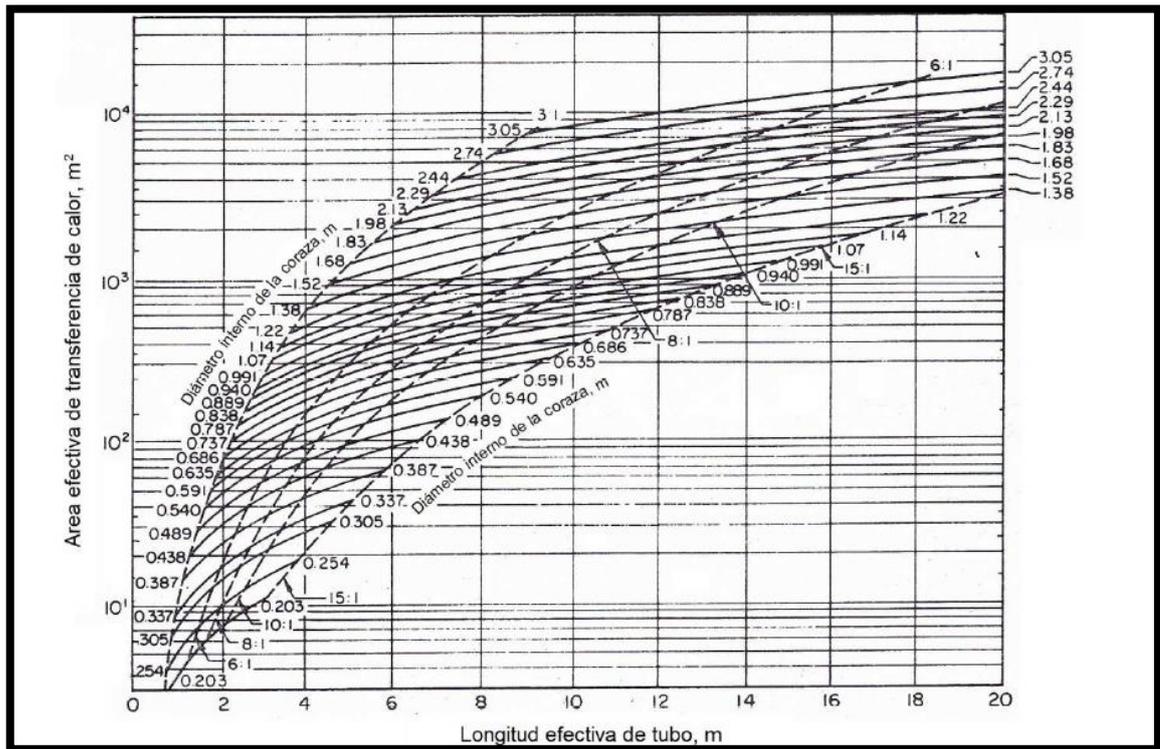


DN (Inch.)	SCHEDULE 5S				SCHEDULE 10S			
	Ø Ext. A (mm.)	Ø Int. B (mm.)	Espesor Pared C (mm.)	Kg. / Metro	Ø Ext. A (mm.)	Ø Int. B (mm.)	Espesor Pared C (mm.)	Peso Kg. / Metro
1/2"	21.30	18.03	1.65	0.80	21.30	17.12	2.11	1.00
3/4"	26.70	23.37	1.65	1.03	26.70	22.45	2.11	1.28
1"	33.40	30.10	1.65	1.30	33.40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

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

WWW.PROVINDUS.COM.PY
provindus@provindus.com.py

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



Anexo E Hoja técnica del aceite térmico

Aceite Térmico [®]

Envase de 25 Lts.



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

Características físico-química

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

Propiedades

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

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

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

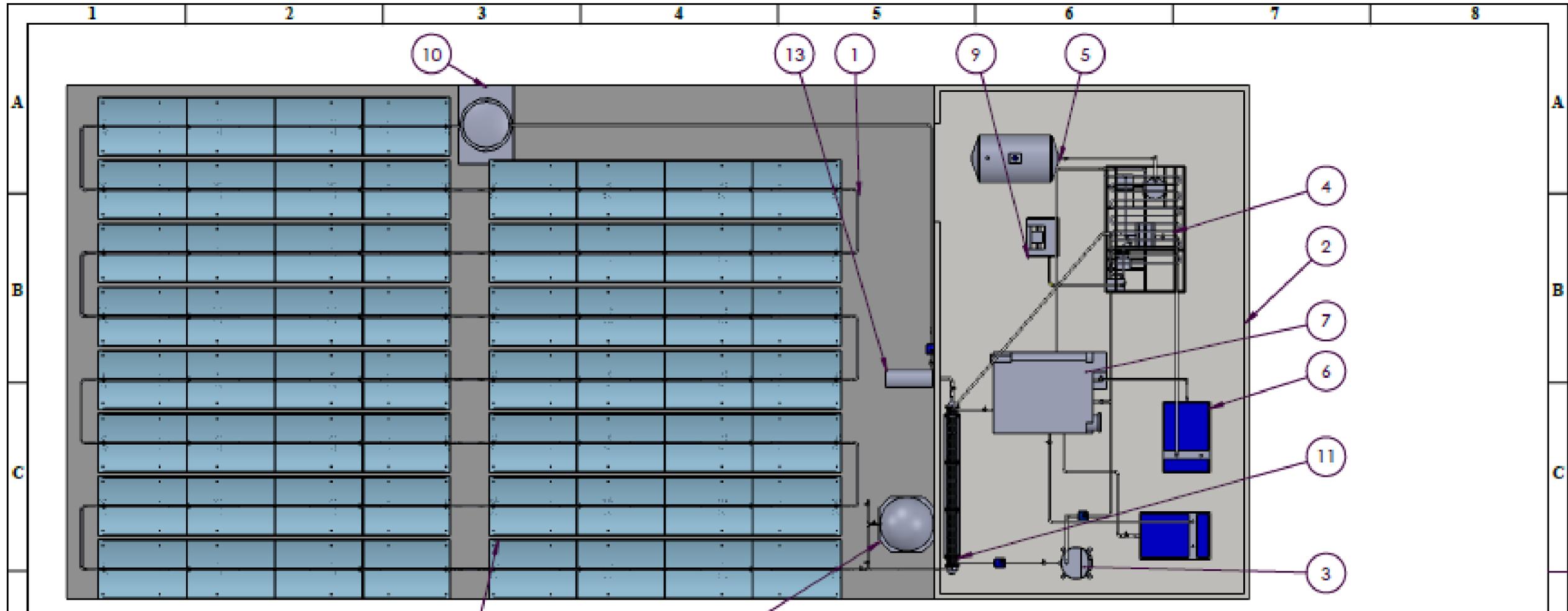
Nuestro aceite no hace humos y es de gran estabilidad química. Es ideal para los circuitos cerrados de resistencias, gran transmisor del calor, resistente a la oxidación y gran protector del óxido y la corrosión.

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

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

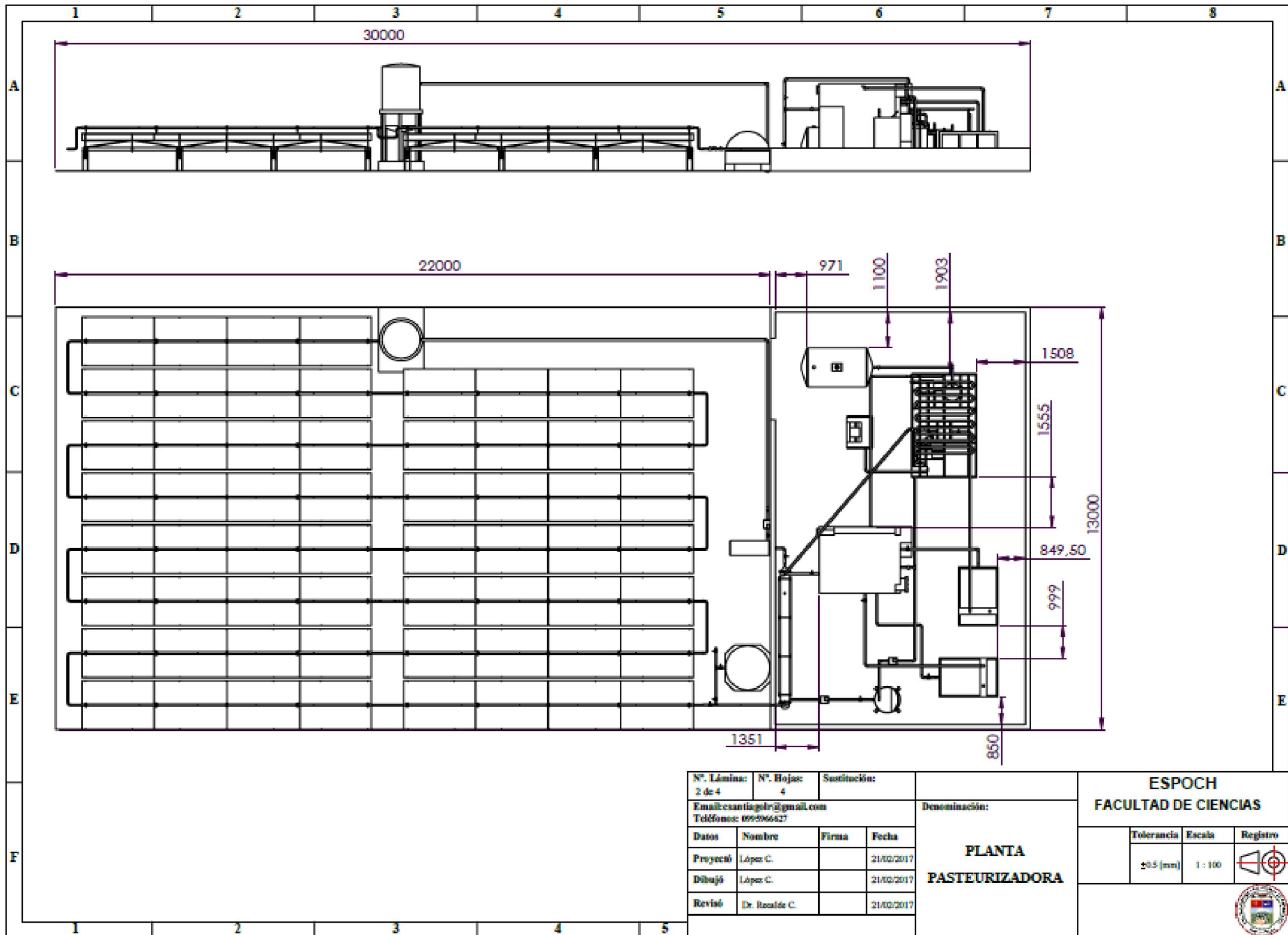


hogar tintorero, s.L.P.I. Pla d'en Coll -o/ Sagra, 16 -08110 Montcada i Reixac
(Barcelona) Spain Telf. 93 575 22 20 Fax 93 575 33 54:
<http://www.hogartintorero.com> - email: hogar@hogartintorero.com



1	TANQUE 3		AISI 430	13			ARMADO
1	TANQUE 2		SEGÚN DISEÑO	12			ARMADO
1	INTERCAMBIADOR DE CALOR		SEGÚN DISEÑO	11			ARMADO
1	TANQUE 1		SEGÚN DISEÑO	10			ARMADO
1	envasadora		SEGÚN DISEÑO	9			SELECCIÓN
1	MAQUINA DE ABSORCIÓN		SEGÚN DISEÑO	7			SELECCIÓN
2	tanque de refrigeración		AISI 430	6			ARMADO
1	tanque de leche		AISI 304	5			SELECCIÓN
1	PAZTEURIZADOR		SEGÚN DISEÑO	4			SELECCIÓN
1	condensador		ASTM A-98	3			ARMADO
1	BASE		SEGÚN DISEÑO	2			SELECCIÓN
1	seccion de los colectores		SEGÚN DISEÑO	1			SELECCIÓN
N.º de Pieza	Denominación	N.º de Norma/Dibujo	Material	N.º de Orden	N.º del modelo semiproducto	Peso Final kg	Observaciones

N.º Lámina: 1 de 4	N.º Hojas: 4	Sustitución:		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS		
Email: csantiago1r@gmail.com Teléfono: 0995966427			Denominación: PLANTA PASTEURIZADORA			
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Tolerancia	Escala	Registro
Proyectó	López C.		21/02/2017	±0.5 (mm)	1 : 100	
Dibujó	López C.		21/02/2017			
Revisó	Dr. Rozado C.		21/02/2017			



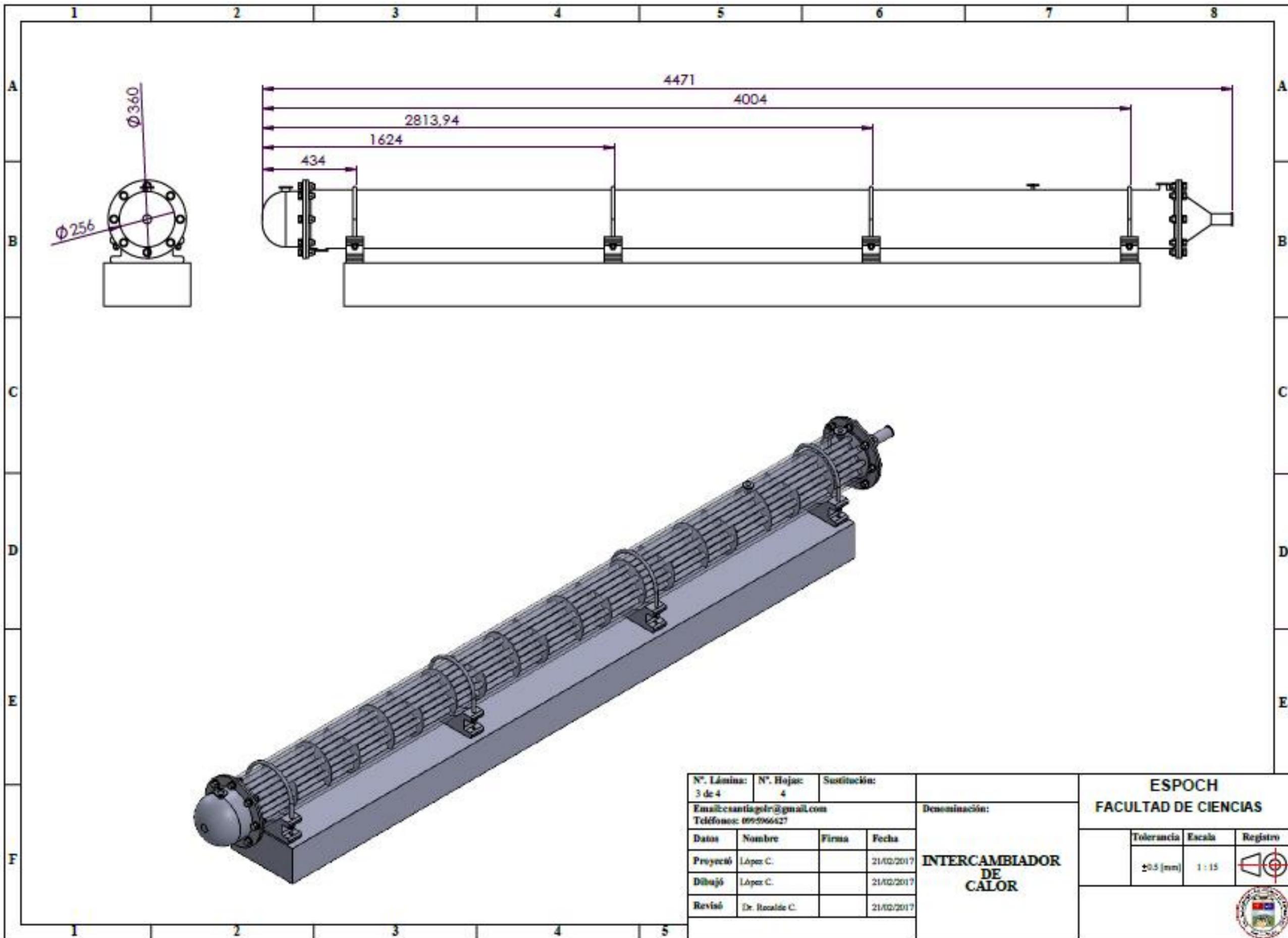
N°. Lámina: 2 de 4	N°. Hojas: 4	Sustitución:	
Email: exantia@r@gmail.com		Teléfono: 0992966627	
Datos	Nombre	Firma	Fecha
Proyectó	López C.		21/02/2017
Dibujó	López C.		21/02/2017
Revisó	Dr. Basalde C.		21/02/2017

Denominación:
**PLANTA
PASTEURIZADORA**

**ESPOCH
FACULTAD DE CIENCIAS**

Tolerancia	Escala	Registro
±0.5 (mm)	1 : 100	





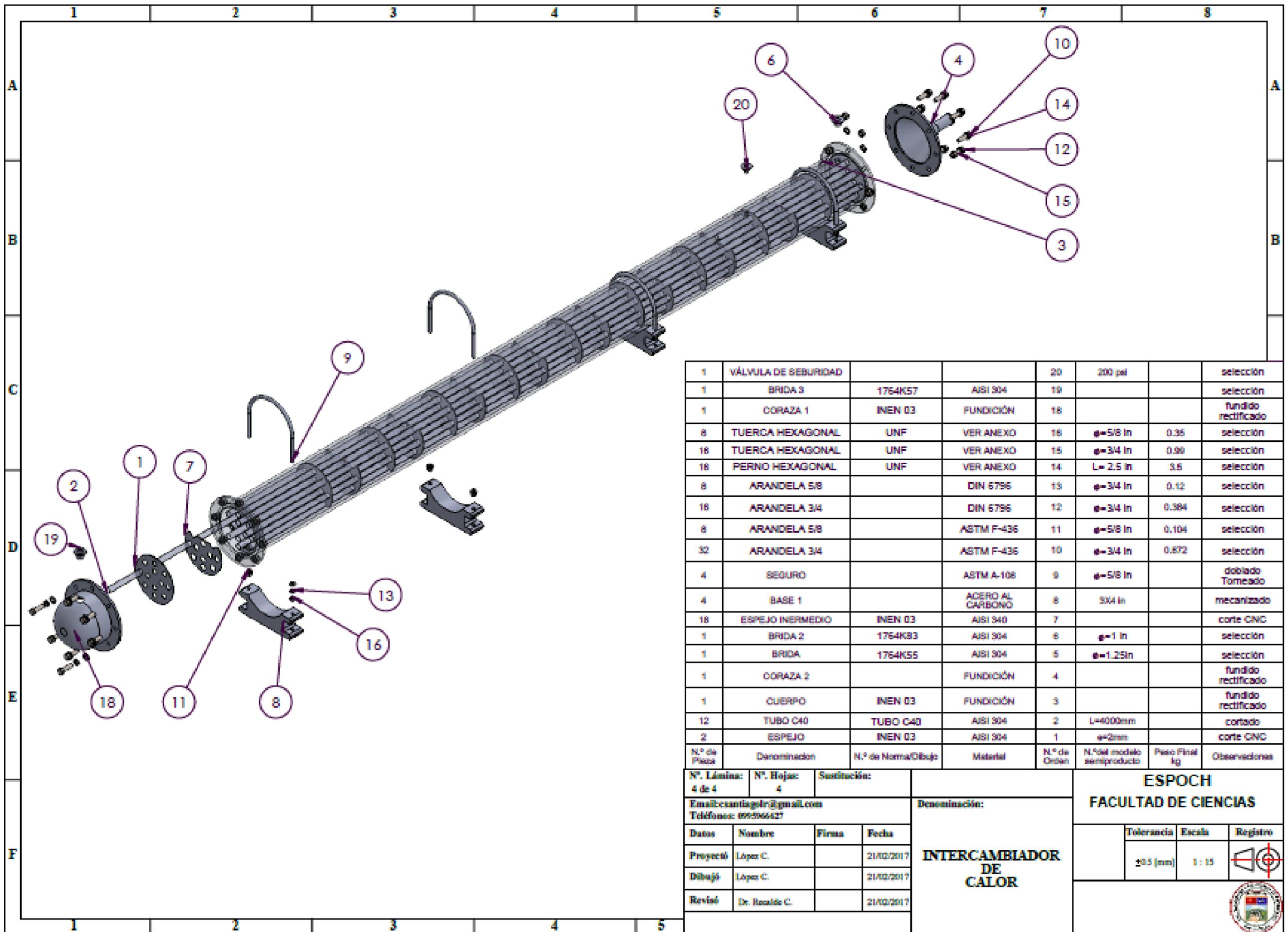
N°. Lámina:	N°. Hojas:	Sustitución:	
3 de 4	4		
Email: csantiago@r@gmail.com			
Teléfono: 0995966427			
Datos	Nombre	Firma	Fecha
Proyectó	López C.		21/02/2017
Dibujó	López C.		21/02/2017
Revisó	Dr. Rocalío C.		21/02/2017

Denominación:

INTERCAMBIADOR DE CALOR

ESPOCH		
FACULTAD DE CIENCIAS		
Tolerancia	Escala	Registro
± 0.5 (mm)	1 : 15	





1	VÁLVULA DE SEGURIDAD			20	200 psi		selección
1	BRIDA 3	1754K57	AISI 304	19			selección
1	CORAZA 1	INEN 03	FUNDICIÓN	18			fundido rectificado
8	TUERCA HEXAGONAL	UNF	VER ANEXO	18	$\phi=5/8$ in	0.35	selección
18	TUERCA HEXAGONAL	UNF	VER ANEXO	15	$\phi=3/4$ in	0.99	selección
18	PERNO HEXAGONAL	UNF	VER ANEXO	14	L= 2.5 in	3.5	selección
8	ARANDELA 5/8		DIN 6796	13	$\phi=3/4$ in	0.12	selección
18	ARANDELA 3/4		DIN 6796	12	$\phi=3/4$ in	0.384	selección
8	ARANDELA 5/8		ASTM F-436	11	$\phi=5/8$ in	0.104	selección
32	ARANDELA 3/4		ASTM F-436	10	$\phi=3/4$ in	0.872	selección
4	SEGURO		ASTM A-108	9	$\phi=5/8$ in		doblado Torneado
4	BASE 1		ACERO AL CARBONO	8	3X4 in		mecanizado
18	ESPEJO INERMEDIO	INEN 03	AISI 310	7			corde CNC
1	BRIDA 2	1754K83	AISI 304	6	$\phi=1$ in		selección
1	BRIDA	1754K55	AISI 304	5	$\phi=1.25$ in		selección
1	CORAZA 2		FUNDICIÓN	4			fundido rectificado
1	CUERPO	INEN 03	FUNDICIÓN	3			fundido rectificado
12	TUBO C40	TUBO C40	AISI 304	2	L=4000mm		cordado
2	ESPEJO	INEN 03	AISI 304	1	$\phi=2$ mm		corde CNC
N.º de Pieza	Denominación	N.º de Norma/Dibujo	Material	N.º de Orden	N.º del modelo semiproducto	Peso Final kg	Observaciones

N.º. Lámina: 4 de 4		N.º. Hojas: 4		Sustitución:		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS						
Email:csantiago1@gmail.com Teléfono: 0995966427				Denominación:					INTERCAMBIADOR DE CALOR			
Datos	Nombre	Firma	Fecha	<table border="1"> <tr> <td>Tolerancia</td> <td>Escala</td> <td>Registro</td> </tr> <tr> <td>±0.5 (mm)</td> <td>1 : 15</td> <td></td> </tr> </table>			Tolerancia	Escala				Registro
Tolerancia	Escala	Registro										
±0.5 (mm)	1 : 15											
Proyectó	López C.		21/02/2017									
Dibujó	López C.		21/02/2017									
Revisó	Dr. Rosaldo C.		21/02/2017									