



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**BALANCE EXÉRGÉTICO EN LA PLANTA DE LÁCTEOS
ESPOCH EN LA COMUNIDAD DE TUNSHI**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: MERCEDES PAOLA ANGAMARCA QUINDE

TUTOR: ING. PAUL GUSTAVO PALMAY

Riobamba-Ecuador

2017

©2017, Mercedes Paola Angamarca Quinde

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 POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

CERTIFICACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo técnico: “**BALANCE EXÉRGÉTICO EN LA PLANTA DE LÁCTEOS ESPOCH EN LA COMUNIDAD DE TUNSHI**”, de responsabilidad de la señorita Mercedes Paola Angamarca Quinde, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Titulación, quedada autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Ing. Paul Palmay

.....

.....

**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Ing. Mónica Andrade

.....

.....

**MIEMBRO DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Yo, Mercedes Paola Angamarca Quinde soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

MERCEDES PAOLA ANGAMARCA QUINDE

DEDICATORIA

Esta tesis le dedico a Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mis pares por su apoyo, consejos, comprensión, ayuda en los momentos difíciles y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia y mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecirme a lo largo de toda la carrera.

A mi padre por estar siempre presente y brindarme su apoyo incondicional, su amor y sus consejos los cuales me encaminaron a ser una mejor persona.

A mi madre por todo el esfuerzo y sacrificio que pudo brindarme, su amor, su comprensión todo el apoyo incondicional y sobre todo la confianza para poder lograr mis estudios universitarios.

A mis hermanos por brindarme su apoyo a su manera por estar siempre presente en las buenas y en las malas en cada momento de mi vida.

A Danny Salas por estar a mi lado en los buenos y malos momentos a lo largo de mi carrera y por seguir acompañándome en los nuevos retos que se viene.

Me gustaría agradecer al Ing. Paúl Palmay y a la Ing. Mónica Andrade por la guía y orientación q me supieron dar en el TRABAJO DE TITULACION.

Paola

TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	II
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
INDICE DE TABLAS.....	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	IX
INDICE DE ABREVIATURAS.....	X
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3 LÍNEA BASE DEL PROYECTO.....	2
1.4 BENEFICIARIOS DIRECTOS E INDIRECTOS	8
1.4.1 <i>Beneficiarios directos</i>	8
1.4.2 <i>Beneficiarios indirectos</i>	8
2 OBJETIVOS.....	9
2.1 OBJETIVO GENERAL	9
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	9
3 ESTUDIO TÉCNICO.....	10
3.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	10
3.1.1 <i>Macrolocalización</i>	10
3.1.2 <i>Microlocalización</i>	11
3.1.3 <i>Características propias del lugar</i>	12
3.2 INGENIERÍA DEL PROYECTO	12
3.2.1 <i>EXERGÍA</i>	13
3.2.2 <i>Entropía configuracional</i>	14
3.2.3 <i>Leche</i>	14
3.3 CÁLCULOS.....	14
3.3.1 <i>Balance exergético en la planta de lácteos ESPOCH</i>	14
3.3.2 <i>Resultados</i>	37

3.4	PROCESO DE PRODUCCIÓN	44
3.5	REQUERIMIENTOS DE TECNOLOGÍA, EQUIPOS Y MAQUINARIA	45
3.6	ANÁLISIS DE COSTO/BENEFICIO DEL PROYECTO.....	45
3.6.1	<i>Materiales</i>	45
3.6.2	<i>Económicos</i>	46
3.7	CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	47
	CONCLUSIONES.....	48
	RECOMENDACIONES	49
	BIBLIOGRAFÍA.....	50
	ANEXOS.....	52

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Generación de Vapor, Sistema de enfriamiento, Estandarización y Pasteurización.....	3
Tabla 2-1. Datos de la línea de Estandarización y Pasteurización	4
Tabla 3-1. Datos de la Línea del Sistema de Generación de Vapor	5
Tabla 4-1. Datos de la Línea del Sistema de refrigeración	6
Tabla 5-1. Densidad de la leche cruda y pasteurizada	6
Tabla 6-1. Resultados bromatológicos de la leche Cruda	7
Tabla 7-1. Resultados bromatológicos de la leche Pasteurizada.....	7
Tabla 8-3. Información Geográfica.....	10
Tabla 9-3. Microlocalización	11
Tabla 10-3. Calor específico de los componentes de la leche.....	15
Tabla 11-3. Datos de operación del pasteurizador	16
Tabla 12-3. Número de gotitas dispersas	22
Tabla 13-3. Línea de estandarización y pasteurización a 16 C.....	38
Tabla 14-3. Línea de Estandarización y Pasteurización a 19 C.....	39
Tabla 15-3. Línea de Generación de Vapor a 16 C.....	41
Tabla 16-3. Línea del Sistema de Generación de Vapor a 19 C.....	41
Tabla 17-3. Línea del Sistema de Refrigeración a 16 C.....	43
Tabla 18-3. Línea del Sistema de Refrigeración a 19 C.....	43
Tabla 19-3. Equipos y Materiales.....	45
Tabla 20-3. Equipos y Materiales.....	45
Tabla 21-3. Presupuesto Total.....	46
Tabla 22-3 Cronograma de actividades.....	47

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-2. Macrolocalización de la Planta de Lácteos ESPOCH.....	11
Figura 2-2. Microlocalización de la Planta de Lácteos ESPOCH.....	12
Figura 3-2. Línea de Estandarización y Pasteurización	37
Figura 4-2. Línea del Sistema de Generación de Vapor	40
Figura 5-2. Línea del Sistema de Refrigeración.....	42

INDICE DE ABREVIATURAS

SUBÍNDICES

P	Presión [KPa]
T	Temperatura [K]
YP[1]	Proteína
YG[1]	Grasa
YC[1]	Carbohidratos
YCe[1]	Cenizas
YA[1]	Agua
R	Constante de los gases [Kj/molK]
KB	Constante de Boltzmann
W	Trabajo [Kj/s]
Xi	Fracción molar
Ei	Exergía química estándar [Kj/s]
M	Número de gotitas dispersas por kg de leche
N	Flujo másico [Kg/s]
O	Fracción de volumen de fase dispersada
EX_fo	Exergía de la formación de grasa
Sconf	Entropía configuracional
n	Rendimiento exergético
V	Volumen específico [m ³ /Kg]
d1	Densidad de la leche cruda [Kg/m ³]
dp1	Densidad de la leche pasteurizada [Kg/m ³]
h	Entalpía [kj/kg]
S	Entropía [kj/kg]
N	Número de moles
qLHV	Calor mínimo
a	Número de carbonos
b	Número de hidrógenos
QL	Calor perdido
V	Volumen específico [m ³ /kg]
O	Factor de calidad del combustible

SUPERÍNDICES

Cp	Capacidad Calorífica a presión constante
EX_ph	Exergía Física [Kj/s]
EX_desA	Destrucción exergética del tanque de recepción [Kj/s]
EX_desB	Destrucción exergética del tanque de almacenamiento [Kj/s]
EX_desC	Destrucción exergética de la bomba [Kj/s]
EX_desD	Destrucción exergética del filtro [Kj/s]
EX_desE	Destrucción exergética del intercambiador de calor [Kj/s]
EX_desF	Destrucción exergética de la centrifuga [Kj/s]
EX_desG	Destrucción exergética del homogenizador [Kj/s]
EX_desH	Destrucción exergética del tanque de almacenamiento [Kj/s]
EX_desI	Destrucción exergética de la bomba [Kj/s]
EX_desJ	Destrucción exergética de la enfundadora [Kj/s]
EX_desK	Destrucción exergética del almacenamiento [Kj/s]
EX_ch	Exergía química [Kj/s]
EX_desN	Destrucción de exergía del caldero [Kj/s]
EX_destO	Destrucción de exergía del condensador [Kj/s]
EX_destE	Destrucción de exergía del intercambiador de calor [Kj/s]
EX_destP	Destrucción de exergía de la bomba [Kj/s]
EX_destL	Destrucción de exergía del banco de hielo [Kj/s]
EX_destM	Destrucción de exergía de la bomba [Kj/s]
EX_destE	Destrucción de exergía del intercambiador de calor [Kj/s]

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue realizar un balance exergético en la Planta de Lácteos Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ubicada en la comunidad Tunshi. La planta consta de tres líneas principales que son: de estandarización y pasteurización, de generación de vapor y del sistema de enfriamiento. Este balance se realizó para obtener información más detallada sobre la exergía destruida en todas las líneas de la planta. Los resultados indicaron que la mayor tasa de destrucción de exergía en toda la planta se produjo en el intercambiador de calor por placas con el 29,42 KW, esto se debe a la transferencia de calor debido a las diferencias de temperatura. En la línea de generación de vapor la mayor tasa de destrucción de exergía se produjo en la caldera debido a las pérdidas de calor (5,14 KW). En la línea del sistema de enfriamiento la mayor tasa de destrucción se dio en el banco de hielo por la transferencia de calor rápida (0,221 KW). La menor eficiencia exergética se dio en la centrifuga con el 8% debido a los glóbulos de grasa que se puedan acumular, seguido con el 12% del homogenizador. Por lo tanto, una pequeña mejora en el rendimiento exergético podría reducir la destrucción exergética. De acuerdo con los resultados del presente estudio, los parámetros de desempeño y sostenibilidad de las plantas procesadoras de productos lácteos pueden ser mejor evaluados y mejorados.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TERMODINÁMICA>, <BALANCES>, <PRESIÓN> <TEMPERATURA> <DESTRUCCIÓN EXERGÉTICA> <EFICIENCIA EXÉRGETICA> <PLANTA DE LÁCTEOS>

ABSTRACT

The study objective was realizing an exergetic balance, in the Dairy plant of the Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, located in the community of Tunshi. The Dairy plant appears with three principal lines, which are: standardization and pasteurization, steam generator, cooling system. This balance was realized to obtain the information more detailed about the destroy exergy in all the lines of the plant. The results indicate the highest rate of exergy destroyed in all the plant was produced in the heat plate exchanger with the 29, 42 KW, the reason is the heat transfer because of the different temperatures. In the line of steam generator, the highest rate of exergy destroyed was produced in the boiler because of the heat lost (5, 14 KW). In the line if the cooling system the highest rate of exergy destroyed gave in the ice bank for the transfer of quickly heat (0, 221 KW). The less efficiency of exergy was given in the centrifuged with the 8% because of fat globule which may accumulate, follow with the 12% of homogenizer. Therefore a little improvement in the exergy efficiency could reduce the destroy exergy. In accordance with the results of the present study, the parameters of performance and sustainability of the process plants of dairy products could be better evaluated and improved.

Clue Words: <TECHNOLOGY AND SCIENCES OF ENGINEERING>, <THERMODYNAMIC>, <BALANCE>, <PRESSURE>, <TEMPERATURE>, <EXERGY DESTROYED>, < EXERGY EFFICIENCY>, < DAIRY PLANT>.

CAPITULO I

1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

La industria láctea es una de las más importantes dentro de la rama alimenticia debido a la elaboración de productos básicos. Como principal producto está la leche entera semidescremada y descremada, así como sus derivados. Hoy en día las industrias lácteas se ven obligadas a cumplir con un producto terminado de alta calidad para el consumidor, debido a la diversidad de productos que existen en el mercado, lo que conlleva que busquen una mejora progresiva para que no signifique riesgos contra la salud humana y sobre el medio ambiente.

La Planta de Lácteos ESPOCH ubicada en la comunidad de Tunshi San Nicolás, de la Parroquia Licto, cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo, consta de tres líneas principales el proceso de pasteurización de la leche que son: Línea de generación de vapor, que está formado por una caldera y sus equipos complementarios, destinados a transformar agua de estado líquido en estado gaseoso a temperaturas y presiones diferentes, Sistema de Refrigeración está destinado a disminuir el calor de un fluido por intercambio calorífico con un refrigerante para reducir su temperatura, y la Línea de Estandarización y Pasteurización de leche.

Por tal razón se realizará un balance exergético porque existe un desperdicio de energía, existiendo equipos que durante el proceso no son muy necesarios, se necesita conocer el consumo energético de la línea de producción y los puntos del proceso en los diferentes dispositivos donde se pueda optimizar el consumo de energía, brindando una solución a la problemática que permitirá un ahorro energético y económico de la misma, mejorando la producción, calidad y aumento de la eficiencia energética global de la planta.

1.2 Justificación del Problema

Las industrias afrontan cada vez mayores exigencias como es mejorar el consumo de energía por lo que se ve en la necesidad de plantear alternativas para el mejoramiento de la misma, sin que existan problemas durante la elaboración de los productos.

Al realizar el balance exergético en la Planta de Lácteos ESPOCH, se va a poder identificar el posible trabajo máximo que se puede tener en cada dispositivo con el fin de mejorar el consumo exergético y disminuir los diferentes tipos de pérdidas de energía en los equipos utilizados por la planta, para conseguir un producto que cumpla con estándares de calidad maximizando los beneficios de la planta brindando un valor confortable al producto y con el fin de disminuir el impacto ambiental a través de una producción más limpia, conforme con las necesidades que requiera la planta.

De acuerdo a los autore, el balance de exergía puede determinar las pérdidas de energía reales con más precisión en comparación con el análisis de energía tradicional. Al presentarse gran cantidad de pérdidas de energía a lo largo de la pasteurización de la leche y tomando como reto minimizar los costes por consumo de energía es importante abordar un análisis exhaustivo de energía y masa que van a dar las herramientas necesarias de identificación de las principales fuentes de perdida de calor, justificando la realización de un estudio técnico sobre un **“Balance exergético de la Planta de Lácteos ESPOCH en la comunidad de Tunshi.”** como un aporte al trabajo de titulación y sobre todo al desarrollo de la Planta de Lácteos.

1.3 Línea Base del proyecto

El creciente conocimiento acerca de que los recursos energéticos mundiales son limitados ha provocado que muchos países reexaminen sus políticas de energía y tomen medidas drásticas para evitar el desperdicio. También ha desatado el interés en la comunidad científica para considerar más de cerca de los dispositivos de conversión de energía y desarrollar nuevas técnicas que permitan utilizar mejor los limitados recursos existentes.

El trabajo se llevó a cabo en la planta de lácteos ESPOCH ubicada en la comunidad de Tunshi, la misma que se encuentra ubicada a 12 km de la ciudad de Riobamba, localizada en las coordenadas 20 o 13' de latitud sur y 78 o 53' longitud oeste y a una altura de 2347 m.s.n.m. El área donde se aplicó el proyecto de tesis es en la producción de leche pasteurizada.

Al realizar el balance exegético en la planta de lácteos ESPOCH se identificó las pérdidas de exergía, con el fin de mejorar los procesos existentes cumpliendo así con las características y propiedades que requiere el producto o para desarrollar nuevos procesos que consuman recursos naturales de manera más eficiente.

La planta de lácteos ESPOCH consta de tres líneas principales que son: la línea de estandarización y pasteurización, la línea de generación de vapor y la línea del sistema de enfriamiento.

Tabla 1-1. Generación de Vapor, Sistema de enfriamiento, Estandarización y Pasteurización

Generación de Vapor	CALDERO
	<p>La planta de lácteos ESPOCH cuenta con un caldero con una potencia de 15 Hp.</p> <p>El control del caldero es automático el cual controla la presión de encendido y de apagado, la presión máxima es de 55 psi y la mínima es de 45 psi.</p> <p>El vapor es dirigido hacia la planta procesadora por una tubería con lana de vidrio con el fin de evitar pérdidas de calor. El caldero consume 5 gal/día de diésel.</p> <p>El agua ingresa al caldero a 40 C y sale vapor de agua a 127 C, por medio del condensador el vapor se hace liquido quedando en una temperatura de 77 C la misma que ingresa al intercambiador de calor por placas para aumentar la temperatura de la leche retornando así al caldero</p>
Sistema de enfriamiento	<p>Para el proceso de pasteurización se necesita de un banco de hielo que permite que la planta tenga agua fría, esta agua es enviada a través de una bomba para después ser retornada al banco de hielo. El agua se encuentra a 17 C llegando a 4 C una vez que pasa por el tanque de hielo.</p>
Pasteurización	<p>El pasteurizador con intercambiador de placas tiene un tanque de expansión de agua, que controla la temperatura del agua que va a ingresar a una de las secciones de las placas, esta es controlada por un censor automatizado con el fin de que la leche logre calentarse para pasar a la centrifugadora con una temperatura de 35 C saliendo a una temperatura de 65 C retornando al pasteurizador para que la temperatura de la leche nuevamente suba para ingresar al homogeneizador con una temperatura de 70 C saliendo la leche a 82 C, la leche regresa para la regeneración donde se mantiene por 10 s a 85 C para posteriormente pasar a la etapa del enfriamiento. El descenso de la temperatura se obtiene con agua muy fría que</p>

	<p>circula por la otra sección de las placas a 4 C. Una vez la leche pasteurizada es trasferida a un tanque de almacenamiento con una capacidad de 2000 litros, este tanque es de acero inoxidable con aislamiento térmico para que la leche se mantenga a la temperatura que sale de la pasteurización.</p> <p>La leche al ser enfundada alcanza a 19 C para ser enviada a su destino.</p>
--	---

Realizado por: Angamarca Paola, 2016

Para los respectivos cálculos se tomaron datos de Temperatura y Presión de la línea de generación de vapor, sistema de refrigeración y de la línea de estandarización y pasteurización de la leche durante un mes con el fin de verificar que los datos tomados sean los correctos.

Tabla 2-1. Datos de la línea de Estandarización y Pasteurización

	TIPO DE FLUIDO	TEMPERATURA		PRESIÓN (kPa)	FLUJO MÁSIICO (kg/s)
		(°C)	(°K)		
1	Leche Entera	17	290,15	74,233	0,041
2	Leche Entera	17	290,15	74,233	0,041
3	Leche Entera	17	290,15	75,233	0,041
4	Leche Entera	16	289,15	600,420	0,041
5	Leche Entera	21	294,15	590,420	0,041
6	Leche Entera	22	295,15	13000	0,041
7	Leche Semidescremada	65	338,15	13000	0,041
8	Leche Semidescremada	70	343,15	700,709	0,041
9	Leche Semidescremada	82	355,15	400	0,041
10	Leche Pasteurizada	85	358,15	400	24,72
11	Leche Pasteurizada	85	358,15	400	24,72
12	Leche Pasteurizada	5	278,15	400	24,72

13	Leche pasteurizada	5	278,15	410	24,72
14	Leche pasteurizada	7	280,15	1100	24,72
15	Leche pasteurizada Enfundada	7	280,15	74,233	24,72
16	Leche pasteurizada (Enfundada)	169	289,15	74,233	24,72
IV	Agua caliente	93	366,15	380,354	0.0136
V	Agua Caliente	79	352,15	340,354	0.0136
VI	Agua helada	4	277,15	85,201	0,080
VII	Agua helada	4	277,15	170,348	0,080

Fuente: Planta de Lácteos ESPOCH en la comunidad de Tunshi

Realizado por: Angamarca Paola

Tabla 3-1. Datos de la Línea del Sistema de Generación de Vapor

	TIPO DE FLUIDO	TEMPERATURA		PRESIÓN (kPa)	FLUJO MÁSICO (kg/s)
		(°C)	(°K)		
I	Agua	40	313,15	74,233	0.0136
II	Vapor de Agua	127	400,15	310,264	0.0136
III	Agua Caliente	87	360,15	870,264	0.0136
IV	Agua Caliente	91	364,15	1090,012	0.0136
V	Agua Caliente	79	352,15	340,354	0.0136

Fuente: Planta de Lácteos ESPOCH en la comunidad de Tunshi

Realizado por: Angamarca Paola

Tabla 4-1. Datos de la Línea del Sistema de refrigeración

	TIPO DE FLUIDO	TEMPERATURA		PRESIÓN (kPa)	FLUJO MÁSIICO (kg/s)
		(°C)	(°K)		
IX	Agua	16	289,15	83,233	0,080
VI	Agua Helada	4	277,15	85,201	0,080
VII	Agua Helada	5	278,15	290,348	0,080
VIII	Agua Helada	5	278,15	250,348	0,080

Fuente: Planta de Lácteos ESPOCH en la comunidad de Tunshi

Realizado por: Angamarca Paola

Para determinar la densidad de la leche cruda como de la leche pasteurizada se tomaron muestras de 100ml, trasladando la leche en un cooler hasta el laboratorio de alimentos de la ESPOCH para mantener las propiedades físico-químicas, evitando así errores al momento de realizar los cálculos. En el laboratorio se utilizó una probeta de 1000ml y un lactodensímetro dándonos los valores de la tabla.

Tabla 5-1. Densidad de la leche cruda y pasteurizada

LECHE CRUDA		
Densidad	g/cm ³	1,031
LECHE PASTEURIZADA		
Densidad	g/cm ³	1,030

Fuente: Planta de Lácteos ESPOCH en la comunidad de Tunshi

Realizado por: Angamarca Paola

Para los análisis bromatológicos tanto de la leche cruda como de la pasteurizada se tomó muestras de 500ml, los mismos que fueron analizados en el laboratorio de Control de Calidad de Leche (AGROCALIDAD) y en el laboratorio de servicios ambientales (UNACH).

Cabe mencionar que la planta de lácteos trabaja con la (4) para los parámetros físico-químicos de la leche, lo cual se mantiene dentro del rango de características físico-químicas que establece la (5), sin embargo, no es distinta de una actualización.

Tabla 6-1. Resultados bromatológicos de la leche Cruda

Requisitos	UNIDAD	RESULTADOS	NORMA
Grasa	%(fracción de masa)	3,47	NTE-INEN 9:2012
Proteína	%(fracción de masa)	2,71	NTE-INEN 9:2012
Sólidos Totales	%(fracción de masa)	10,51	NTE-INEN 9:2012
Sólidos no Grasos	%(fracción de masa)	7,12	NTE-INEN 9:2012
Crioscopia	C	-0,4025	NTE-INEN 9:2012
Agua añadida	%	23,76	NTE-INEN 9:2012
Contaje total de bacterias	ml	---	NTE-INEN 9:2012
Contaje de células somáticas	ml	---	NTE-INEN 9:2012

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad de Leche (AGROCALIDAD)

Realizado por: Angamarca Paola

Tabla 7-1. Resultados bromatológicos de la leche Pasteurizada

Requisitos	UNIDAD	RESULTADOS	NORMA
Grasa	%(fracción de masa)	3	NTE-INEN 9:2012
Proteína	%(fracción de masa)	3,5	NTE-INEN 9:2012
Lactosa	%	4,7	NTE-INEN 9:2012
Minerales	%	0,8	NTE-INEN 9:2012

Fuente: Laboratorio de servicios ambientales (UNACH)

Realizado por: Angamarca Paola

1.4 Beneficiarios directos e indirectos

1.4.1 Beneficiarios directos

El beneficiario directo del trabajo de titulación planteado, Planta de Lácteos ESPOCH en la comunidad de Tunshi quienes avalan la realización del Balance exergético.

1.4.2 Beneficiarios indirectos

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo viene a ser los beneficiarios indirectos, institución encargada del funcionamiento de la Planta de Lácteos de ahí su nombre.

CAPITULO II

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

- Realizar un balance exergético en la Planta de Lácteos ESPOCH en la comunidad de Tunshi.

2.2 Objetivo Específicos.

- Realizar un balance energético total o global.
- Identificar las variables para poder plantear los balances de energía y masa.
- Utilizar ENGINEER EQUATION SOLVER para los cálculos correspondientes dentro los balances tanto de masa como de energía.
- Calcular la variación del consumo de energía con respecto a las temperaturas de entrada de las diferentes líneas en varios escenarios estacionales (verano e invierno).
- Identificar las pérdidas de energía en cada dispositivo para mejorar el proceso de producción.

CAPITULO III

3 ESTUDIO TÉCNICO

3.1 Localización del proyecto

3.1.1 *Macrolocalización*

La planta de lácteos ESPOCH se encuentra ubicada en la comunidad de Tunshi San Nicolás que pertenece a la parroquia de Licto del cantón Riobamba perteneciente a la provincia de Chimborazo-Ecuador.

Tabla 8-3. Información Geográfica

País	ECUADOR
Provincia	CHIMBORAZO
Cantón	RIOBAMBA
Parroquia	LICTO

Realizado por: Angamarca Paola



Figura 1-2. Macrolocalización de la Planta de Lácteos ESPOCH

3.1.2 *Microlocalización*

Tabla 9-3. Microlocalización

Temperatura	12C – 16C
Latitud Sur	0145'00"
Longitud Oeste	7837'00"
Precipitación	417 mm
Humedad Relativa %	64

Realizado por: Angamarca Paola



Figura 2-2. Microlocalización de la Planta de Lácteos ESPOCH

3.1.3 Características propias del lugar

Flora: Básicamente se encuentra cultivos de papas y habas

Fauna: Encontramos las siguientes especies: pájaros, mirlos, aves domésticas como gallinas, patos, palomas y en animales que alberga Tunshi se encuentra: ovinos, bovinos, equinos, porcinos y cuyes.

Clima: por lo general se considera una zona de clima frío con una temperatura que puede variar de 12 a 16 °C. (7)

3.2 Ingeniería del Proyecto

La Planta de Lácteos ESPOCH Tunshi consta de tres procesos: línea de generación de vapor, Sistema de Refrigeración y línea de estandarización y pasteurización de leche. La cantidad de energía que se intercambia y se acumula dentro de esta línea de proceso se determina mediante un balance de energía y éste es un principio físico fundamental al igual que la conservación de masa. Las variables de control que podemos identificar son la temperatura, presión, la superficie disponible para que ocurra el intercambio de calor, y las condiciones de flujo (leche).

La recopilación de datos se realizará mediante un método cuantitativo y cualitativo, así tenemos para la generación de vapor que abastece a toda la línea producción, siguiendo los procedimientos como: La presión del caldero debe estar a 50 bares, el compresor encendido con energía trifásica (220V), las bombas de los fluidos caliente y fría encendidas, verificar que el sistema llegue a una temperatura de 70°C. En el proceso pasteurización se mantiene a 85°C durante 15 segundos y se enfría a 6°C-7°C, con el homogenizador a 1200. PSI. En la producción de quesos se pasteuriza a 70°C sin enfriar la leche de 25-30°C que es la temperatura de salida de la leche y una vez transferida el fluido (leche) se ingresa agua al circuito para el lavado y se apaga el homogenizador,

luego la centrifuga, la bomba de agua caliente y por último la bomba del producto, para proceder a desactivar los paneles electrónicos.

Al conocer el estado actual de la línea de producción se podrá puntualizar las propiedades extensivas (volumen, masa, calor, energía potencial etc.) e intensivas (temperatura, punto de fusión, punto de ebullición, calor específico o concentración), así como las variables de estado (Entalpía, Entropía y Energía Interna) y las variables de trayectoria (Calor y Trabajo son considerados energías de transferencia, es decir alcanzan un equilibrio termodinámico). Una vez considerado estos puntos se evaluará el consumo energético mediante los respectivos cálculos de ingeniería y el programa (Enginner Equation Solver) en condiciones críticas de verano e invierno.

3.2.1 EXERGÍA

La exergía se puede ver como el máximo trabajo aprovechable de un sistema en conjunto con las condiciones de su entorno. La exergía queda definida en términos de un estado de referencia que generalmente es el ambiente.

La exergía se consume por completo cuando la presión y la temperatura se igualan a la del entorno. Una vez que se iguala la temperatura del sistema con la del ambiente (alcanzándose el equilibrio térmico) y se iguala su presión con la del exterior (llegándose al equilibrio mecánico), ya no se puede extraer energía adicional. Se dice que en ese caso el sistema ha alcanzado el estado muerto.

3.2.1.1 Estado Muerto

Dos sistemas en condiciones termodinámicas diferentes, que entren en contacto, evolucionarán espontáneamente, por medio de transferencias de masa y energía, hacia un estado de equilibrio. A este estado de equilibrio se le denomina estado muerto.

3.2.1.2 Exergía Química

Es el trabajo que se puede obtener de una sustancia que se encuentra a la presión y temperatura del entorno, si alcanza un estado de equilibrio termodinámico mediante reacciones químicas.

3.2.1.3 Exergía Física

Es el trabajo que se puede obtener sometiendo a la sustancia a procesos físicos reversibles desde la temperatura y presión iniciales, hasta el estado determinado por la presión y la temperatura del entorno.

3.2.1.4 Eficiencia Exegética

Es una medida del desempeño de un dispositivo real con relación a su desempeño en condiciones reversibles para los mismos estados inicial y final.

3.2.1.5 Exergía Destruída

“La exergía destruida representa el potencial de trabajo perdido y también se denomina irreversibilidad o trabajo perdido. El cambio de exergía de un sistema puede ser positivo o negativo durante un proceso, pero la exergía destruida no puede ser negativa”. (2 pág. 450)

3.2.2 Entropía configuracional

Es la porción de la entropía de un sistema que está relacionado a la posición de sus partículas constituyentes, ya sea por su velocidad o momentun. Esta físicamente relacionada con el número de arreglos posibles en que pueden tenerse todas las partículas mientras se mantienen conjuntos de propiedades del sistema especificado, como la energía.

3.2.3 Leche

Es un líquido de composición compleja, blanco y opaco, de sabor dulce y reacción iónica (pH) próxima a la neutralidad.

3.3 Cálculos

3.3.1 Balance exergético en la planta de lácteos ESPOCH

3.3.1.1 Línea de estandarización y pasteurización

La línea consta de un tanque de recepción, un tanque de almacenamiento, dos bombas, un filtro, una centrifuga, un homogenizador, un intercambiador de calor por placas y una enfundadora.

Se realizó los respectivos cálculos a los diferentes equipos basándose en el artículo científico EXERGETIC PERFORMANCE ASSESSMENT OF A LONG-LIFE MILK PROCESSING PLANT: A COMPREHENSIVE SURVEY, de los autores (8)

Se calculó las exergías de los flujos de entrada y salida de leche en los diferentes puntos de la línea utilizando las siguientes ecuaciones y basándose en el AnexoA.

3.3.1.1.1 Tanque de recepción

La leche que llega a la planta es recogida por unos tanques antes de ser trasladada al tanque de almacenamiento a temperatura ambiente, las diferentes presiones, temperaturas y flujos máxicos se encuentran dadas en la tabla 1-1.3 para los diferentes cálculos.

Para determinar el c_pA , se calculó mediante la tabla 9, y la ecuación 3.1

Tabla 10-3. Calor específico de los componentes de la leche

COMPONENTE	CALOR ESPECIFICO
PROTEINA	$C_p = 2.0082 + \frac{1.2089}{10^3} * T - \frac{1.3129}{10^6} * T^2$
GRASA	$C_p = 1.9842 + \frac{1.4733}{10^3} * T - \frac{4.8008}{10^6} * T^2$
CARBOHIDRATO	$C_p = 1.5488 + \frac{1.9625}{10^3} * T - \frac{5.9399}{10^6} * T^2$
CENIZA	$C_p = 1.0926 + \frac{1.8896}{10^3} * T - \frac{3.6817}{10^6} * T^2$
AGUA	$C_p = 4.1762 - \frac{9.0864}{10^5} * T + \frac{5.4731}{10^6} * T^2$

Realizado por: Angamarca Paola

$$C_pA = \sum Y_i * C_{pi} \quad (\text{Ec 3.1})$$

C_pA = Calor específico del tanque de recepción KJ/Kg K

Y_i = Porcentaje de los diferentes componentes de la leche

C_{pi} = Calor específico de los diferentes componentes de la leche KJ/Kg K

El flujo másico se determinó antes y después de la pasteurización de la leche con la ecuación 3.3 y 3.4, considerando que la pasteurizadora es a base de los siguientes datos ocupando un volumen mínimo de producción de 290 l.

Tabla 11-3. Datos de operación del pasteurizador

Capacidad teórica instalada	9600 l/día
Capacidad efectiva	8000 l/día
Volumen mínimo de producción	290 l
Volumen máximo de producción	350 l
Tiempo de pasteurización	2-3 horas

Fuente: Planta de lácteos ESPOCH

Realizado por: Angamarca Paola

$$Q = V/t \quad (\text{Ec 3.2})$$

$$M1 = Q * d \quad (\text{Ec 3.3})$$

Q= Caudal m^3/s

V= Volumen l

t = tiempo s

M1= flujo másico kg/s

D= densidad kg/m^3

Se calculó la exergía física para el flujo de entrada y de salida del tanque de recepción, tomando como estado de referencia a una Presión y Temperatura ambiente.

$$P_o = 101.325 \text{ KPa}$$

$$T_o = 298.15^\circ\text{K}$$

$$Ex^{ph}1 = M1 \left[C_p A \left(T1 - T_o - T_o \ln \left(\frac{T1}{T_o} \right) \right) \right] \quad (\text{Ec 3.3})$$

$Ex^{ph}1$ = Exergía física a la entrada del tanque de recepción KJ/s

$M1$ = Flujo másico kg/s

$C_p A$ = Calor específico del tanque de recepción KJ/Kg K

T_o = Temperatura ambiente K

$T1$ = temperatura de entrada al tanque de recepción K

La exergía física 1 y la exergía física 2 son las mismas debido a que la temperatura de entrada y de salida son las mismas.

3.3.1.1.1.1 Destrucción de exergía

La destrucción de exergía se deduce de la resta de las exergías físicas del fluido de entrada y de salida.

$$EX_{destA} = Ex^{ph}1 - Ex^{ph}2 \quad (Ec 3.4)$$

EX_{destA} = Destrucción de exergía del tanque de recepción KJ/s

3.3.1.1.1.2 Rendimiento exergético

$$nA = Ex^{ph}2 / Ex^{ph}1 \quad (Ec 3.5)$$

nA = rendimiento exergético del tanque de recepción

3.3.1.1.2 Tanque de almacenamiento

La leche ingresa al tanque primero cerniendo las basuras, para que por medio de una bomba ingrese al filtro donde va a quedar un porcentaje mínimo de grasa.

Las exergía física 3, la destrucción de exergía y el rendimiento exegético se calcula mediante las ecuaciones 3.3, 3.4 y 3.5 respectivamente.

3.3.1.1.3 Bomba

La exergía física de la bomba se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Ex^{ph}4 = M1 \left[c_p C \left(T4 - T_o - \ln \left(\frac{T4}{T_o} \right) + v1(P4 - P_o) \right) \right] \quad (Ec 3.6)$$

$Ex^{ph}4$ = Exergía física a la salida de la bomba KJ/s

$M1$ = Flujo másico kg/s

$C_p C$ = Calor específico de la bomba KJ/Kg K

T_o = Temperatura ambiente K

P_o = Presión ambiente KPa

P_4 = Presión a la salida de la bomba KPa

T_4 = temperatura de salida de la bomba K

v_1 = Volumen específico antes de la pasteurización m^3/Kg

d_1 = Densidad de la leche cruda Kg/m^3

El volumen específico se determina mediante la densidad de la leche cruda.

El valor de la densidad de la leche pasteurizada encontramos en la Tabla 4-1.3.

$$v_1 = 1/d_1 \quad (\text{Ec 3.7})$$

v_1 = Volumen específico antes de la pasteurización m^3/Kg

d_1 = Densidad de la leche cruda Kg/m^3

El trabajo de la bomba se calcula:

$$WB = v_1(P_4 - P_3) \quad (\text{Ec 3.8})$$

P_3 = Presión a la entrada de la bomba KPa

P_4 = Presión a la salida de la bomba KPa

v_1 = Volumen específico antes de la pasteurización m^3/Kg

3.3.1.1.3.1 Destrucción de exergía

La destrucción de exergía se deduce de la resta de las exergías físicas del fluido de entrada, de salida y del trabajo de la bomba.

$$EX_{destC} = Ex^{ph3} + WB - Ex^{ph4} \quad (\text{Ec 3.9})$$

EX_{destC} = Destrucción de exergía KJ/s

WB = Trabajo de la bomba KJ/s

3.3.1.1.3.2 Rendimiento exergético

$$nC = (Ex^{ph4} - Ex^{ph3})/WB \quad (\text{Ec 3.10})$$

nC = rendimiento exergético de la bomba

3.3.1.1.4 Filtro

En el filtro se van a detener el resto de basuras que pasaron al momento de cernir y quedando un porcentaje mínimo de grasa.

La exergía física se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Ex^{ph5} = M1 \left[c_p D \left(T5 - T_o - \ln \left(\frac{T5}{T_o} \right) + v1(P5 - P_o) \right) \right] \quad (\text{Ec 3.11})$$

Ex^{ph5} = Exergía física a la salida de la bomba KJ/s

$M1$ = Flujo másico Kg/s

$C_p D$ = Calor específico del filtro Kj/KgK

T_o = Temperatura ambiente K

P_o = Presión ambiente KPa

$P5$ = Presión a la salida de la bomba KPa

$T5$ = temperatura de salida de la bomba K

$v1$ = Volumen específico antes de la pasteurización m^3/Kg

$d1$ = Densidad de la leche cruda Kg/m^3

3.3.1.1.4.1 Destrucción de exergía

La destrucción de exergía se deduce de la resta de las exergías físicas del fluido de entrada, de salida.

$$EX_{destD} = Ex^{ph4} - Ex^{ph5} \quad (\text{Ec 3.12})$$

EX_{destD} = Destrucción de exergía KJ/s

3.3.1.1.4.2 Rendimiento exergético

$$nD = (Ex^{ph4} - Ex^{ph3}) \quad (\text{Ec 3.13})$$

nD = rendimiento exergético del filtro

3.3.1.1.5 Centrifuga

La centrifuga tiene un motor eléctrico de 1.5 KW con una capacidad de 1200 litros/hora a 1800rpm. En esta máquina se acumula las micro impurezas contenidos en la leche y al mismo

tiempo mantiene el porcentaje de grasa que se requiere para la leche pasteurizadora entera, las impurezas son eliminadas por las alcantarillas cuando se efectúa la limpieza.

Se calcula las exergías tanto del fluido de entrada como del fluido de salida.

$$Ex^{ph}6 = M1 \left[c_p F \left(T6 - T_o - \ln \left(\frac{T6}{T_o} \right) + v1(P6 - P_o) \right) \right] \quad (\text{Ec 3.14})$$

$Ex^{ph}6$ = Exergía física a la entrada de la centrifuga KJ/s

$M1$ = Flujo másico kg/s

$C_p F$ = Calor específico de la centrifuga $KJ/Kg K$

T_o = Temperatura ambiente K

P_o = Presión ambiente KPa

$P6$ = Presión a la entrada de la centrifuga KPa

$T6$ = temperatura de entrada de la centrifuga K

$v1$ = Volumen específico antes de la pasteurización m^3/Kg

$d1$ = Densidad de la leche cruda Kg/m^3

$$Ex^{ph}7 = M1 \left[c_p F \left(T7 - T_o - \ln \left(\frac{T7}{T_o} \right) + v1(P7 - P_o) \right) \right] \quad (\text{Ec 3.15})$$

$Ex^{ph}7$ = Exergía física a la salida de la centrifuga KJ/s

$M1$ = Flujo másico kg/s

$C_p F$ = Calor específico de la centrifuga $KJ/Kg K$

T_o = Temperatura ambiente K

P_o = Presión ambiente KPa

$P7$ = Presión a la salida de la centrifuga KPa

$T7$ = temperatura de salida de la centrifuga K

$v1$ = Volumen específico antes de la pasteurización m^3/Kg

$d1$ = Densidad de la leche cruda Kg/m^3

3.3.1.1.5.1 Destrucción de exergía

La destrucción de exergía se deduce de la resta de las exergías físicas del fluido de entrada, de salida.

$$EX_{destF} = Ex^{ph6} + WC - Ex^{ph7} \quad (Ec 3.12)$$

EX_{destF} = Destrucción de exergía de la centrifuga KJ/s

3.3.1.1.5.2 Rendimiento exergético

$$nF = (Ex^{ph7} - Ex^{ph6})/WC \quad (Ec 3.13)$$

nF = rendimiento exergético de la centrifuga

3.3.1.1.6 Homogenizador

El homogenizador tiene una potencia de 6.7 KW con una capacidad de 1200l/h, la leche pasa a través de una hendidura estrecha bajo una presión para reducir el tamaño de los glóbulos grasos, por esta razón la leche homogenizada se enrancia más rápido que la leche no homogenizada. Por otra parte el homogenizador funciona con un sistema de pistones operados con un motor eléctrico.

$$Ex^{ph8} = M1 \left[c_p G \left(T8 - T_o - \ln \left(\frac{T8}{T_o} \right) + v1(P8 - P_o) \right) \right] \quad (Ec 3.14)$$

Ex^{ph8} = Exergía física a la entrada del homogenizador KJ/s

$M1$ = Flujo másico kg/s

$C_p G$ = Calor específico del homogenizador $KJ/Kg K$

T_o = Temperatura ambiente K

P_o = Presión ambiente KPa

$P8$ = Presión a la entrada del homogenizador KPa

$T8$ = temperatura de entrada del homogenizador K

$v1$ = Volumen específico antes de la pasteurización m^3/Kg

$d1$ = Densidad de la leche cruda Kg/m^3

$$Ex^{ph9} = M1 \left[c_p G \left(T9 - T_o - \ln \left(\frac{T9}{T_o} \right) + v1(P9 - P_o) \right) \right] \quad (Ec 3.15)$$

Ex^{ph9} = Exergía física a la salida del homogenizador KJ/s

$M1$ = Flujo másico kg/s

$C_p G$ = Calor específico del homogenizador KJ/Kg K

T_0 = Temperatura ambiente K

P_0 = Presión ambiente KPa

P_9 = Presión a la salida del homogenizador KPa

T_9 = temperatura de salida del homogenizador K

v_1 = Volumen específico antes de la pasteurización m^3/Kg

d_1 = Densidad de la leche cruda Kg/m^3

Para el homogenizador se necesita conocer el valor de la entropía configuracional que se determina mediante la siguiente fórmula.

$$S_{conf} = -N * KB * (\ln O + \left(\frac{1-O}{O}\right) * \ln(1 - O)) \quad (\text{Ec 3.16})$$

S_{conf} = Entropía configuracional

$-N$ = Numero de gotitas dispersas por kilogramo de leche

KB = Constante de boltzmann

O = Volumen de la fase dispersa

El valor de N se estableció mediante una prueba de laboratorio, para esto se utilizó:

- Un litro de leche
- Una olla grande
- Una jarra

El litro de leche se hizo caer en la olla a una altura de 30 cm, las gotitas que salpicaron se contabilizaron siendo así el número de gotitas dispersas, se realizaron 5 pruebas para eliminar valores atípicos como se muestra en la siguiente tabla siendo el valor de N igual a 77:

Tabla 12-3. Número de gotitas dispersas

NÚMERO DE PRUEBAS	NÚMERO DE GOTITAS DISPERSAS
1	77
2	76
3	77

4	77
5	75

Realizado por: Angamarca Paola

En el homogenizador al quedarse la mayor cantidad de grasa se determinó el valor de la exergía de formación de grasa tanto a la entrada como a la salida del homogenizador.

$$ex^{f08} = T8 * Sconf \quad (\text{Ec 3.17})$$

$$ex^{f09} = T9 * Sconf \quad (\text{Ec 3.18})$$

ex^{f08} = exergía de formación de grasa a la entrada del homogenizador

ex^{f09} = exergía de formación de grasa a la salida del homogenizador

$$Ex^{f08} = M1 * ex^{f08} \quad (\text{Ec 3.19})$$

$$Ex^{f09} = M1 * ex^{f09} \quad (\text{Ec 3.20})$$

Ex^{f08} = Tasa de exergía a la entrada del homogenizador

Ex^{f09} = Tasa de exergía a la salida del homogenizador

3.3.1.1.6.1 Destrucción de exergía

La destrucción de exergía se deduce de la resta de las exergías físicas del fluido de entrada, de salida, de las exergías de la formación de grasa y del trabajo que produce el homogenizador.

$$EXdestG = Ex^{ph8} + Ex^{f08} + WC - Ex^{ph7} - Ex^{f09} \quad (\text{Ec 3.21})$$

$EXdestG$ = Destrucción de exergía del homogenizador KJ/s

3.3.1.1.6.2 Rendimiento exergético

$$nG = (Ex^{ph9} + Ex^{f09} - Ex^{ph8} - Ex^{f08})/WC \quad (\text{Ec 3.22})$$

nG = rendimiento exergético del homogenizador

3.3.1.1.7 Tanque de almacenamiento

Luego de que la leche ha sido pasteurizada pasa al tanque de almacenamiento que cuenta con una capacidad de 2000litros, este tanque es de acero inoxidable con aislamiento térmico para que la leche se mantenga a la temperatura que sale de la pasteurizadora.

Para determinar la exergía física 12 y 13 se debe calcular el volumen específico y el flujo másico después de la pasteurización.

$$Ex^{ph}12 = M2 \left[c_p H \left(T_{12} - T_o - \ln \left(\frac{T_{12}}{T_o} \right) + v_{p1} (P_{12} - P_o) \right) \right] \quad (\text{Ec 3.23})$$

$Ex^{ph}12$ = Exergía física a la entrada del tanque de almacenamiento KJ/s

$M2$ = Flujo másico después de la pasteurización kg/s

$C_p H$ = Calor específico del tanque de almacenamiento $KJ/Kg K$

T_o = Temperatura ambiente K

T_{12} = temperatura de entrada al tanque de almacenamiento K

P_{12} = Presión de entrada al tanque de almacenamiento KPa

$$Ex^{ph}13 = M2 \left[c_p H \left(T_{13} - T_o - \ln \left(\frac{T_{13}}{T_o} \right) + v_{p1} (P_{13} - P_o) \right) \right] \quad (\text{Ec 3.24})$$

$Ex^{ph}13$ = Exergía física a la salida del tanque de almacenamiento KJ/s

$M2$ = Flujo másico después de la pasteurización kg/s

$C_p H$ = Calor específico del tanque de almacenamiento $KJ/Kg K$

v_{p1} = Volumen específico después de la pasteurización m^3/kg

T_o = Temperatura ambiente K

T_{13} = Temperatura de salida al tanque de almacenamiento K

P_{13} = Presión de salida al tanque de almacenamiento KPa

El valor de la densidad de la leche pasteurizada encontramos en la Tabla 4-1.3.

$$v_{p1} = 1/d_{p1} \quad (\text{Ec 3.24})$$

v_{p1} = Volumen específico después de la pasteurización m^3/kg

dp_1 = densidad después de la pasteurización kg/m^3

3.3.1.1.7.1 Destrucción de exergía

La destrucción de exergía se deduce de la resta de las exergías físicas del fluido de entrada y de salida.

$$EX_{destH} = Ex^{ph}12 - Ex^{ph}13 \quad (Ec 3.25)$$

EX_{destH} = Destrucción de exergía KJ/s

3.3.1.1.7.2 Rendimiento exergético

$$nH = Ex^{ph}13 / Ex^{ph}12 \quad (Ec 3.26)$$

nH = rendimiento exergético del tanque de almacenamiento

3.3.1.1.8 Bomba 1

La exergía física de la bomba 1 se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Ex^{ph}14 = M2 \left[c_p I \left(T14 - T_o - \ln \left(\frac{T14}{T_o} \right) + v_{p1} (P14 - P_o) \right) \right] \quad (Ec 3.27)$$

$Ex^{ph}14$ = Exergía física a la salida de la bomba KJ/s

$M2$ = Flujo másico después de la pasteurización kg/s

$C_p I$ = Calor específico de la bomba1 $KJ/Kg K$

T_o = Temperatura ambiente K

P_o = Presión ambiente KPa

$P14$ = Presión a la salida de la bomba1 KPa

$T14$ = temperatura de salida de la bomba1 K

v_{p1} = Volumen específico antes de la pasteurización m^3/Kg

dp_1 = Densidad de la leche cruda Kg/m^3

El trabajo de la bomba se calcula:

$$WB = v_{p1}(P_{14} - P_{13}) \quad (\text{Ec 3.28})$$

P_{13} = Presión a la entrada de la bomba1 *KPa*

P_{14} = Presión a la salida de la bomba1 *KPa*

v_{p1} = Volumen específico después de la pasteurización m^3/Kg

3.3.1.1.8.1 *Dstrucción de exergía*

La destrucción de exergía se deduce de la resta de las exergías físicas del fluido de entrada, de salida y del trabajo de la bomba.

$$EX_{destI} = Ex^{ph}13 + WB1 - Ex^{ph}14 \quad (\text{Ec 3.29})$$

EX_{destI} = Destrucción de exergía *KJ/s*

3.3.1.1.8.2 *Rendimiento exergético*

$$nI = (Ex^{ph}14 - Ex^{ph}13)/WB1 \quad (\text{Ec 3.30})$$

nI = rendimiento exergético de la bomba

3.3.1.1.9 *Enfundadora*

La enfundadora tiene una capacidad de 1500 fundas/hora. La leche pasa al tanque receptor de la leche de la enfundadora en la parte trasera e inferior de esta se coloca el rollo de fundas las mismas que se van esterilizando mediante luz ultravioleta hasta llegar a la parte del chaleco formador de la funda. Las fundas se sellan de manera vertical mediante una resistencia de soldadura eléctrica, una película de teflón cubre la soldadura vertical para impedir que la funda se quemé al contacto con el calor la funda mediante rodillos es llevada a la parte inferior para el sellado horizontal.

Se determina la exergía física mediante la siguiente ecuación:

$$Ex^{ph}15 = 0 \quad (\text{Ec 3.31})$$

$Ex^{ph}15$ = Exergía física a la salida de la enfundadora *KJ/s*

3.3.1.1.10 Almacenamiento

El producto terminado se almacena en un cuarto frío el mismo que consta con cámaras frías para que el producto se conserve a una temperatura de 7 C.

Se determina la exergía física mediante la siguiente ecuación:

$$Ex^{ph} 16 = 0 \quad (\text{Ec 3.32})$$

$Ex^{ph} 16$ = Exergía física a la salida del almacenamiento KJ/s

3.3.1.2 Línea de sistema de generación de vapor

La línea consta de una caldera, de un condensador, de una bomba, según el plano del Anexo II las corrientes a utilizar serían (I, II, III, IV, V).

Los datos para los respectivos cálculos se encuentran en la Tabla 1.3-2.

3.3.1.2.1 Caldera

Para las corrientes de agua y de vapor del sistema se utiliza la siguiente ecuación:

$$Ex^{ph} I = M3 * (h1 - h0 - T0 * (S1 - S0)) \quad (\text{Ec 3.33})$$

Para determinar el flujo másico de la caldera se toma como referencia la potencia que es de 15 Hp y se sabe que 1 Hp es igual a 34,4 lb/h así como 1 lb es igual a 0,435 Kg, se encuentra que la caldera produce 234,5454 kg vapor/hora, en las 5 hora que trabaja la caldera la producción de vapor al día es 1172,7272 Kg vapor/día quedándonos el flujo másico de la caldera 0,0136 kg vapor/s.

$Ex^{ph} I$ = Exergía física a la entrada de la caldera KJ/s

$M3$ = Flujo másico del sistema de generación de vapor Kg/s

$T0$ = Temperatura ambiente K

h_1 = Entalpia a la entrada de la caldera se determinó mediante interpolación de la tabla A.4 en el Apéndice I KJ/Kg

h_o = Entalpia a la temperatura ambiente KJ/Kg

S_1 = Entropía a la entrada de la caldera se determinó mediante interpolación de la tabla A.4 en el Apéndice I KJ/Kg

S_o = Entropía a la temperatura ambiente KJ/Kg

$$Ex^{phII} = M3 * (h_2 - h_o - T_o * (S_2 - S_o)) \quad (\text{Ec 3.34})$$

Ex^{phII} = Exergía física a la salida de la caldera KJ/s

$M3$ = Flujo másico del sistema de generación de vapor Kg/s

T_o = Temperatura ambiente K

h_2 = Entalpia a la salida de la caldera se determinó mediante interpolación de la tabla A.4 en el Apéndice I KJ/Kg

h_o = Entalpia a la temperatura ambiente KJ/Kg

S_2 = Entropía a la salida de la caldera se determinó mediante interpolación de la tabla A.4 en el Apéndice I KJ/Kg

S_o = Entropía a la temperatura ambiente KJ/Kg

La exergía química del combustible que ingresa a la caldera se determina con la siguiente ecuación:

$$Ex^{chI} = Md_3 * O_1 * qLHV \quad (\text{Ec 3.35})$$

Ex^{chI} = Exergía química del combustible a la entrada de la caldera KJ/s

Md_3 = Flujo másico del combustible Kg/s

O_1 = Factor de calidad de los combustibles Kg/s

$qLHV$ = Calor inferior mínimo del combustible Apéndice III

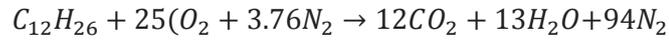
El combustible que se utiliza es el diésel ($C_{12}H_{26}$).

El diésel se emplea para la producción de vapor es de 5 gal/h, se sabe que 1 galón es igual a 3,7854 litros y un kilogramo es igual a 1 litro entonces el flujo másico del diésel es $5.25^{-3} Kg/s$.

El factor de calidad (O_1) de los combustibles de hidrocarburos como $CaHb$ puede ser aproximado usando la siguiente ecuación empírica:

$$O1 = 1.003 + \left(0.0169 * \frac{b1}{a1}\right) - \frac{0.0698}{a1} \quad (\text{Ec 3.36})$$

Los porcentajes molares que salen de la caldera se determinaron en base a reacción química de combustión con aire con el fin de determinar su exergía química:



Basándose en la reacción química mencionada anteriormente, se determina la exergía química a la salida de la caldera con la siguiente ecuación:

$$Ex^{chII} = Md3 * N1 * (\sum Xi + Ei + R * To \sum Xi \ln Xi) \quad (\text{Ec 3.37})$$

Ex^{chII} = Exergía química a la salida de la caldera KJ/s .

$Md3$ = Flujo másico del diesel

$N1$ = Número total de moles

Xi = Fracción molar

Ei = Exergía química estándar se encuentran los valores en el Apéndice IV

R = Constante universal de los gases $kJ/molK$

To = Temperatura ambiente K

3.3.1.2.1.1 Destrucción de exergía

La destrucción de exergía se deduce de la resta de las exergías físicas, químicas del fluido de entrada, y de salida.

$$EXdestN = Ex^{phI} + Ex^{chI} + WC - Ex^{phII} - Ex^{chII} \quad (\text{Ec 3.38})$$

$EXdestN$ = Destrucción de exergía de la caldera KJ/s

3.3.1.2.1.2 Rendimiento exergético

$$nN = (Ex^{phII} + Ex^{chII}) - (Ex^{phI} + Ex^{chI}) / WC \quad (\text{Ec 3.39})$$

nN = rendimiento exergético de la caldera

3.3.1.2.2 Condensador

Determinamos la exergía física y la exergía perdida causada por la transferencia de calor al ambiente.

$$Ex^{ph III} = M3 * (h3 - h_o - T_o * (S3 - S_o)) \quad (\text{Ec 3.40})$$

$Ex^{ph III}$ = Exergía física a la salida del condensador KJ/s

$M3$ = Flujo másico del sistema de generación de vapor Kg/s

T_o = Temperatura ambiente K

$h3$ = Entalpía a la salida del condensador se determinó mediante interpolación

h_o = Entalpía a la temperatura ambiente KJ/Kg

$S3$ = Entropía a la entrada de la caldera se determinó mediante interpolación.

S_o = Entropía a la temperatura ambiente KJ/Kg

$$QL = M3 * CpH2O * (T_{III} - T_{II}) \quad (\text{Ec 3.41})$$

QL = Calor perdido kJ/s

$M3$ = Flujo másico del sistema de generación de vapor Kg/s

$CpH2O$ = Capacidad Calorífica del agua KJ/KgK

T_{II} = Temperatura a la entrada del condensador K

T_{III} = Temperatura a a la salida del condensador K

$$EXQL = QL * \left(1 - \left(\frac{T_o}{T_{III}}\right)\right) \quad (\text{Ec 3.42})$$

QL = Calor perdido kJ/s

T_{III} = Temperatura a a la salida del condensador K

3.3.1.2.2.1 Destrucción de exergía

La destrucción de exergía se deduce de la resta de las exergías físicas, químicas del fluido de entrada, y de salida.

$$EX_{destO} = Ex^{phII} - Ex^{phIII} - EX_{QL} \quad (\text{Ec 3.43})$$

EX_{destO} = Destrucción de exergía del condensador KJ/s

3.3.1.2.2 Rendimiento exergético

$$nO = Ex^{phIII} - Ex^{phII} \quad (\text{Ec 3.44})$$

nO = rendimiento exergético del condensador

3.3.1.2.3 Bomba

Calculamos el volumen específico con la densidad del agua para poder calcular la exergía IV.

$$v2 = 1/d2 \quad (\text{Ec 3.45})$$

$v2$ = Volumen específico m^3/kg

$d2$ = Densidad del agua kg/m^3

$$Ex^{phIV} = M3 \left[c_p H2O \left(TIV - T_o - \ln \left(\frac{TIV}{T_o} \right) + v4 * (PIV - P_o) \right) \right] \quad (\text{Ec 3.46})$$

Ex^{phIV} = Exergía física a la salida de la bomba KJ/s

$M3$ = Flujo másico del sistema de generación de vapor Kg/s

$c_p H2O$ = Calor específico del agua KJ/KgK

T_o = Temperatura ambiente K

P_o = Presión ambiente KPa

PIV = Presión a la salida de la bomba KPa

TIV = temperatura a la salida de la bomba K

$v2$ = Volumen específico del sistema de generación de vapor m^3/Kg

$$WB = (v2 * (PIV - PIII)) * M3 \quad (\text{Ec 3.47})$$

$v2$ = Volumen específico del sistema de generación de vapor m^3/Kg

PIV = Presión a la salida de la bomba KPa

$PIII$ = Presión a la entrada de la bomba KPa

3.3.1.2.3.1 Destrucción de exergía

La destrucción de exergía se deduce de la resta de las exergías físicas del fluido de entrada, de salida.

$$EX_{destP} = Ex^{phIII} + WB - Ex^{phIV} \quad (\text{Ec 3.48})$$

EX_{destP} = Destrucción de exergía de la bomba KJ/s

3.3.1.2.3.2 Rendimiento exergético

$$n_P = (Ex^{phIV}/Ex^{phIII})/WB \quad (\text{Ec 3.49})$$

n_P = rendimiento exergético de la bomba

3.3.1.2.4 Intercambiador de calor

$$Ex^{phV} = M3 \left[c_p H_2O \left(TV - T_o - \ln \left(\frac{TV}{T_o} \right) + v_2 * (PV - P_o) \right) \right] \quad (\text{Ec 3.50})$$

Ex^{phV} = Exergía física a la salida del intercambiador de calor KJ/s

$M3$ = Flujo másico del sistema de generación de vapor Kg/s

$c_p H_2O$ = Calor específico del agua KJ/KgK

T_o = Temperatura ambiente K

P_o = Presión ambiente KPa

PV = Presión a la salida del intercambiador de calor KPa

TV = temperatura a la salida del intercambiador de calor K

3.3.1.2.4.1 Destrucción de exergía

La destrucción de exergía se deduce de la resta de las exergías físicas del fluido de entrada, de salida.

$$EX_{destE} = Ex^{phIV} - Ex^{phV} \quad (\text{Ec 3.51})$$

EX_{destE} = Destrucción de exergía del intercambiador de calor KJ/s

3.3.1.2.4.2 Rendimiento exergético

$$nE = Ex^{phV}/Ex^{phIV} \quad (\text{Ec 3.52})$$

nE = rendimiento exergético del intercambiador de calor

3.3.1.3 Línea del sistema de refrigeración

La línea consta de un banco de hielo y una bomba, como los equipos fundamentales en el proceso.

Se realizó los respectivos cálculos a los diferentes equipos basándose en el artículo científico EXERGETIC PERFORMANCE ASSESSMENT OF A LONG-LIFE MILK PROCESSING PLANT: A COMPREHENSIVE SURVEY, de los autores (8).

Se calculó las exergías de los flujos de entrada y salida de leche en los diferentes puntos de la línea utilizando las siguientes ecuaciones y basándonos en el Anexo III y en la Tabla 3-1.3. Según el plano del Anexo III del sistema las corrientes a utilizar serían (IX y VI, VII y VIII).

3.3.1.3.1 Banco de Hielo

El banco de hielo funciona con un motor monofásico de 7.5 Hp, permite que la planta de lácteos ESPOCH tenga agua fría. El agua pasa a través de un evaporador de cobre por el cual circula un refrigerante freón 32, esta agua es enviada a través de una bomba y luego es retornada al banco de hielo.

La exergía física se determina mediante la fórmula:

$$Ex^{phIX} = M4 \left[c_p H_2O \left(T_{IX} - T_o - \ln \left(\frac{T_{IX}}{T_o} \right) + R * T_o * \ln(P_{IX} - P_o) \right) \right] \quad (\text{Ec 3.53})$$

El flujo másico se calculó con la capacidad que tiene el banco de hielo que es de 75 tn y con la densidad del agua que es de 1000 Kg/m³.

Ex^{phIX} = Exergía física a la entrada del banco de hielo KJ/s

$M4$ = Flujo másico del sistema de refrigeración Kg/s

$c_p H_2O$ = Calor específico del agua KJ/KgK

T_o = Temperatura ambiente K

P_o = Presión ambiente KPa

R = Constante universal de los gases $0.008314kJ/molK$

P_{IX} = Presión a la entrada del banco de hielo KPa

T_{IX} = temperatura a la entrada del banco de hielo K

El volumen específico para poder determinar la Exergía física VI se calcula con la siguiente fórmula:

$$v_4 = 1/d_3 \quad (\text{Ec 3.54})$$

v_4 = Volumen específico del sistema de refrigeración m^3/Kg

d_3 = Densidad del agua Kg/m^3

$$Ex^{phVI} = M_4 \left[c_p H_2O \left(TVI - T_o - \ln \left(\frac{TVI}{T_o} \right) + v_4 * (PVI - P_o) \right) \right] \quad (\text{Ec 3.55})$$

Ex^{phVI} = Exergía física a la salida del banco de hielo KJ/s

M_4 = Flujo másico del sistema de refrigeración Kg/s

$c_p H_2O$ = Calor específico del agua KJ/KgK

T_o = Temperatura ambiente K

P_o = Presión ambiente KPa

PVI = Presión a la salida del banco de hielo KPa

TVI = temperatura a la salida del banco de hielo K

v_4 = Volumen específico del sistema de refrigeración m^3/Kg

3.3.1.3.1.1 Destrucción de exergía

La destrucción de exergía se deduce de la resta de las exergías físicas del fluido de entrada, de salida.

$$EX_{destL} = Ex^{phIX} - Ex^{phVI} \quad (\text{Ec 3.56})$$

EX_{destL} = Destrucción de exergía del banco de hielo KJ/s

3.3.1.3.1.2 Rendimiento exergético

$$nL = (Ex^{phVI}/Ex^{phIX}) \quad (\text{Ec 3.57})$$

nL = rendimiento exergético del banco de hielo

3.3.1.3.2 Bomba

$$Ex^{phVII} = M4 \left[c_p H2O \left(TVII - T_o - \ln \left(\frac{TVII}{T_o} \right) + v4 * (PVII - P_o) \right) \right] \quad (Ec 3.58)$$

Ex^{phVII} = Exergía física a la salida de la bomba KJ/s

$M4$ = Flujo másico a la salida de la bomba Kg/s

$C_p H2O$ = Calor específico del agua KJ/KgK

T_o = Temperatura ambiente K

P_o = Presión ambiente KPa

$PVII$ = Presión a la salida a la salida de la bomba KPa

$TVII$ = temperatura a la salida de la bomba K

$v4$ = Volumen específico del sistema de refrigeración m^3/Kg

$$WB = (v4 * (PVII - PVI)) * M4 \quad (Ec 3.59)$$

3.3.1.3.2.1 Destrucción de exergía

La destrucción de exergía se deduce de la resta de las exergías físicas del fluido de entrada, de salida más el trabajo de la bomba.

$$EXdestb = Ex^{phVI} + WB - Ex^{phVII} \quad (Ec 3.60)$$

$EXdestb$ = Destrucción de exergía de la bomba KJ/s

3.3.1.3.2.2 Rendimiento exergético

$$nM = (Ex^{phVII} - Ex^{phVI}) / WB \quad (Ec 3.61)$$

nM = rendimiento exergético de la bomba.

3.3.1.3.3 Intercambiador de calor

$$Ex^{phVIII} = M4 \left[c_p H2O \left(TVIII - T_o - \ln \left(\frac{TVIII}{T_o} \right) + v4 * (PVIII - P_o) \right) \right] \quad (Ec 3.62)$$

Ex^{phVIII} = Exergía física a la salida del intercambiador de calor KJ/s

$M4$ = Flujo másico a la salida del intercambiador de calor /s

$C_p H2O$ = Calor específico del agua KJ/KgK

T_o = Temperatura ambiente K

P_o = Presión ambiente KPa

P_{VIII} = Presión a la salida a la del intercambiador de calor KPa

T_{VIII} = temperatura a la salida del intercambiador de calor K

$v4$ = Volumen específico del sistema de refrigeración m^3/Kg

3.3.1.3.3.1 *Destrucción de exergía*

La destrucción de exergía se deduce de la resta de las exergías físicas del fluido de entrada, de salida.

$$EX_{destE} = Ex^{phVII} - Ex^{phVIII} \quad (Ec\ 3.63)$$

EX_{destE} = Destrucción de exergía del intercambiador de calor KJ/s

3.3.1.3.3.2 *Rendimiento exergético*

$$nE = (Ex^{phVIII} - Ex^{phVII}) \quad (Ec\ 3.64)$$

nE = rendimiento exergético del intercambiador de calor.

3.3.2 Resultados

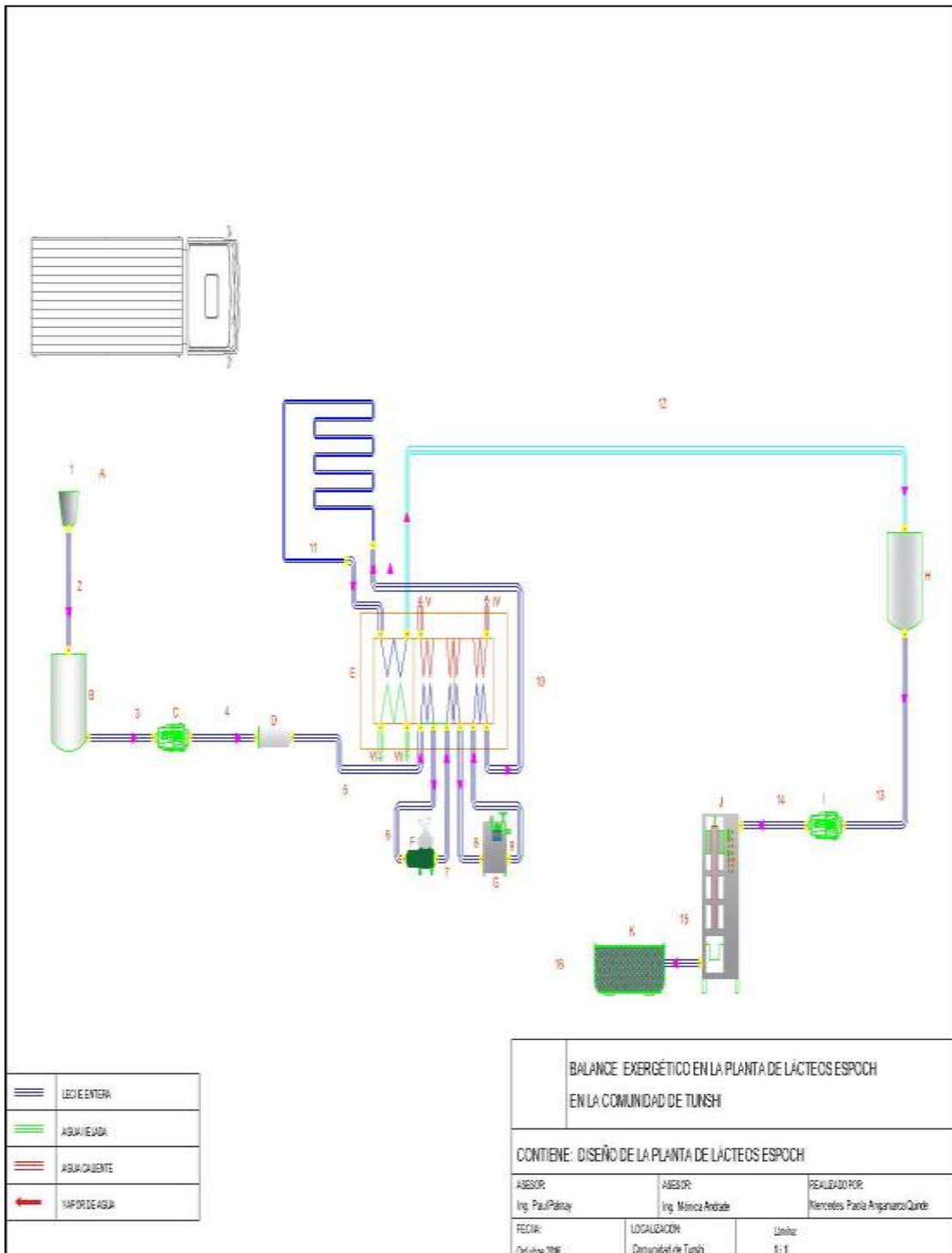


Figura 3-2. Línea de Estandarización y Pasteurización

Realizado por: Angamarca Paola

Tabla 13-3. Línea de estandarización y pasteurización a 16 C

CAPACIDAD CALORÍFICA DE LA LECHE	
Cp_A	1.314 [Kj/KgK]
Cp_B	1.314 [Kj/KgK]
Cp_C	1.316 [Kj/KgK]
Cp_D	1.317 [Kj/KgK]
Cp_F	1.381 [Kj/KgK]
Cp_G	1.359 [Kj/KgK]
Cp_H	3.3.3 1.328 [Kj/KgK]
Cp_I	1.329 [Kj/KgK]

COMPONENTES	EXERGÍA FÍSICA (Kj/s)	DESTRUCCIÓN EXERGÉTICA (Kj/s)	RENDIMIENTO EXERGÉTICO
Tanque de recepción	EX_ph1=0.007467 EX_ph2=0.007467	EX_destA=0	nA=1
Tanque de almacenamiento	EX_ph3=0.007467	EX_destB=0	nB=1
Bomba	EX_ph4=0.02315	EX_destC=0.005204	nC=0.7508
Filtro	EX_ph5=0.02091	EX_destD=0.002237	nD=0.9034
Centrifuga	EX_ph6=0.5138 EX_ph7=0.6525	EX_destF=1.56	nF=0.08163
Homogenizador	EX_ph8=0.1959 EX_ph9=0.2815	EX_destG=0.5834	nG=0.128
Tanque de almacenamiento	EX_ph12=27.93 EX_ph13=26	EX_destH=1.932	nH=0.9308
Bomba	EX_ph14=29.6	EX_destI=12.96	nI=0.2174
Enfundadora	EX_ph15=0	EX_destJ=0	nJ=1
Almacenamiento	EX_ph16=0	EX_destK=0	nK=1

Intercambiador de Calor		EX_destE=29.42	nE= 0.33
-------------------------	--	----------------	----------

Realizado por: Angamarca Paola

Tabla 14-3. Línea de Estandarización y Pasteurización a 19 C

COMPONENTES	EXERGÍA FÍSICA (Kj/s)	DESTRUCCIÓN EXERGÉTICA (Kj/s)	RENDIMIENTO EXERGÉTICO
Tanque de recepción	EX_ph1=0.007467 EX_ph2=0.007467	EX_destA=0	nA=1
Tanque de almacenamiento	EX_ph3=0.007467	EX_destB=0	nB=1
Bomba	EX_ph4=0.02315	EX_destC=0.0020	nC=0.9018
Filtro	EX_ph5=0.02091	EX_destD=0.0012	nD=0.9447
Centrifuga	EX_ph6=0.5138 EX_ph7=0.6525	EX_destF=1.56	nF=0.08163
Homogenizador	EX_ph8=0.1959 EX_ph9=0.2815	EX_destG=0.5834	nG=0.128
Tanque de almacenamiento	EX_ph12=27.93 EX_ph13=26	EX_destH=1.932	nH=0.9308
Bomba	EX_ph14=29.6	EX_destI=12.96	nI=0.2174
Enfundadora	EX_ph15=0	EX_destJ=0	nJ=1
Almacenamiento	EX_ph16=0	EX_destK=0	nK=1
Intercambiador de Calor		EX_destE=29.42	nE= 0.32

Realizado por: Angamarca Paola

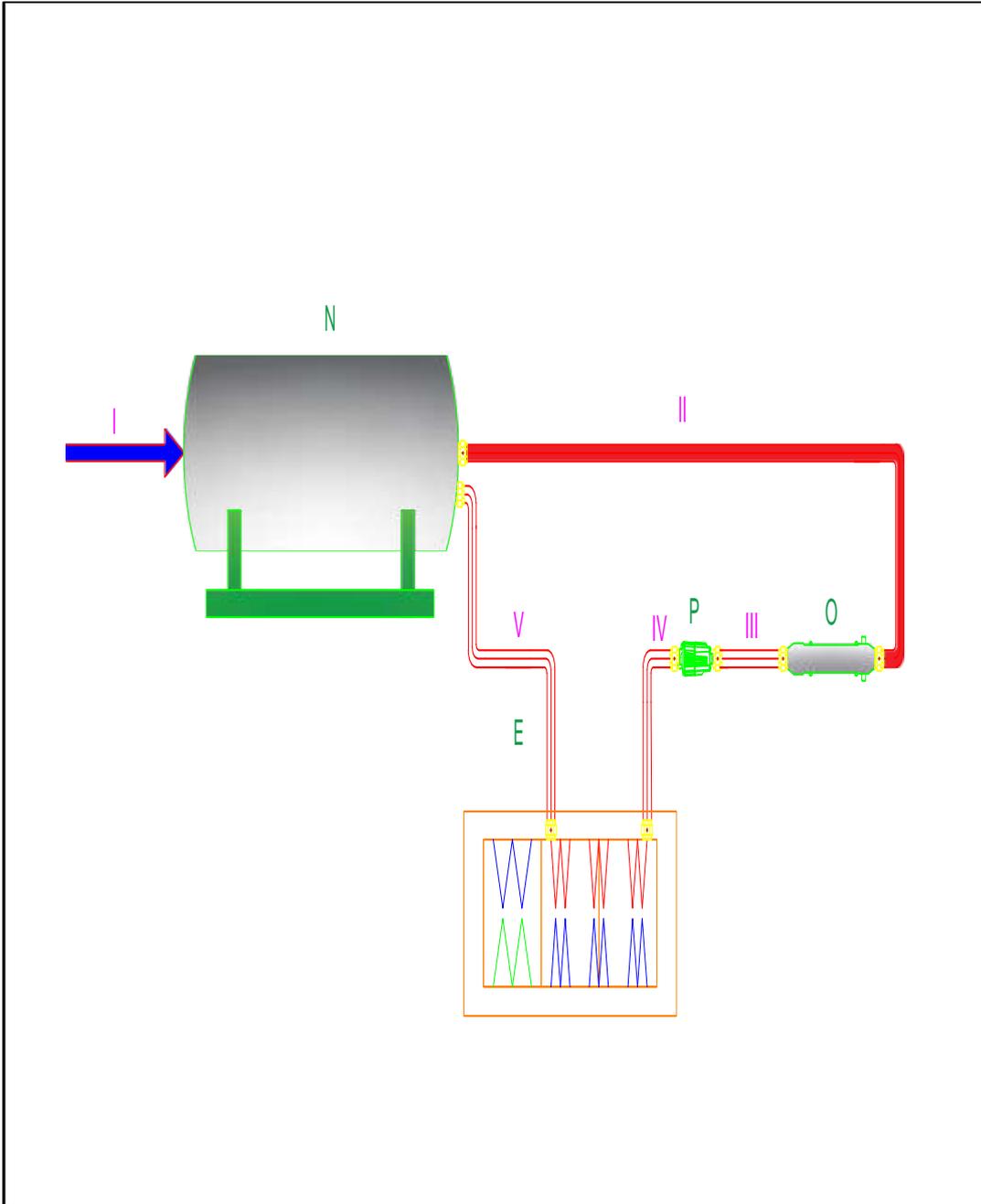


Figura 4-2. Línea del Sistema de Generación de Vapor

Realizado por: Angamarca Paola

Tabla 15-3. Línea de Generación de Vapor a 16 C

Componentes	EXERGÍA FÍSICA (Kj/s)	EXERGÍA QUÍMICA (Kj/s)	DESTRUCCIÓN EXERGÉTICA (Kj/s)	RENDIMI ENTO EXERGÉT ICO
Caldera	EX_phI=0.01296 EX_phII=0.4325	EX_chI=240.2 EX_chII=245.9	EX_destN=5.14	nN=0.540 5
Condensador	EX_phIII=0.3764		EX_destO=0.4479	nO=0.870 4
Bomba	EX_phIV=0.3768		EX_destP=0.002632	nP=0.1199
Intercambiador de Calor	EX_phV=0.2523		EX_destE=0.1245	nE=0.6695

Realizado por: Angamarca Paola

Tabla 16-3. Línea del Sistema de Generación de Vapor a 19 C

Componentes	EXERGÍA FÍSICA (Kj/s)	EXERGÍA QUÍMICA (Kj/s)	DESTRUCCIÓN EXERGÉTICA (Kj/s)	RENDIMIE NTO EXERGÉTI CO
Caldera	EX_phI=0.01195 EX_phII=0.4315	EX_chI=240.2 EX_chII=245.9	EX_destN=5.14	nN=0.5405
Condensador	EX_phIII=0.3754		EX_destO=0.4479	nO=0.8704
Bomba	EX_phIV=0.3768		EX_destP=0.001625	nP=0.1199
Intercambiado r de Calor	EX_phV=0.2523		EX_destE=0.1245	nE=0.6695

Realizado por: Angamarca Paola

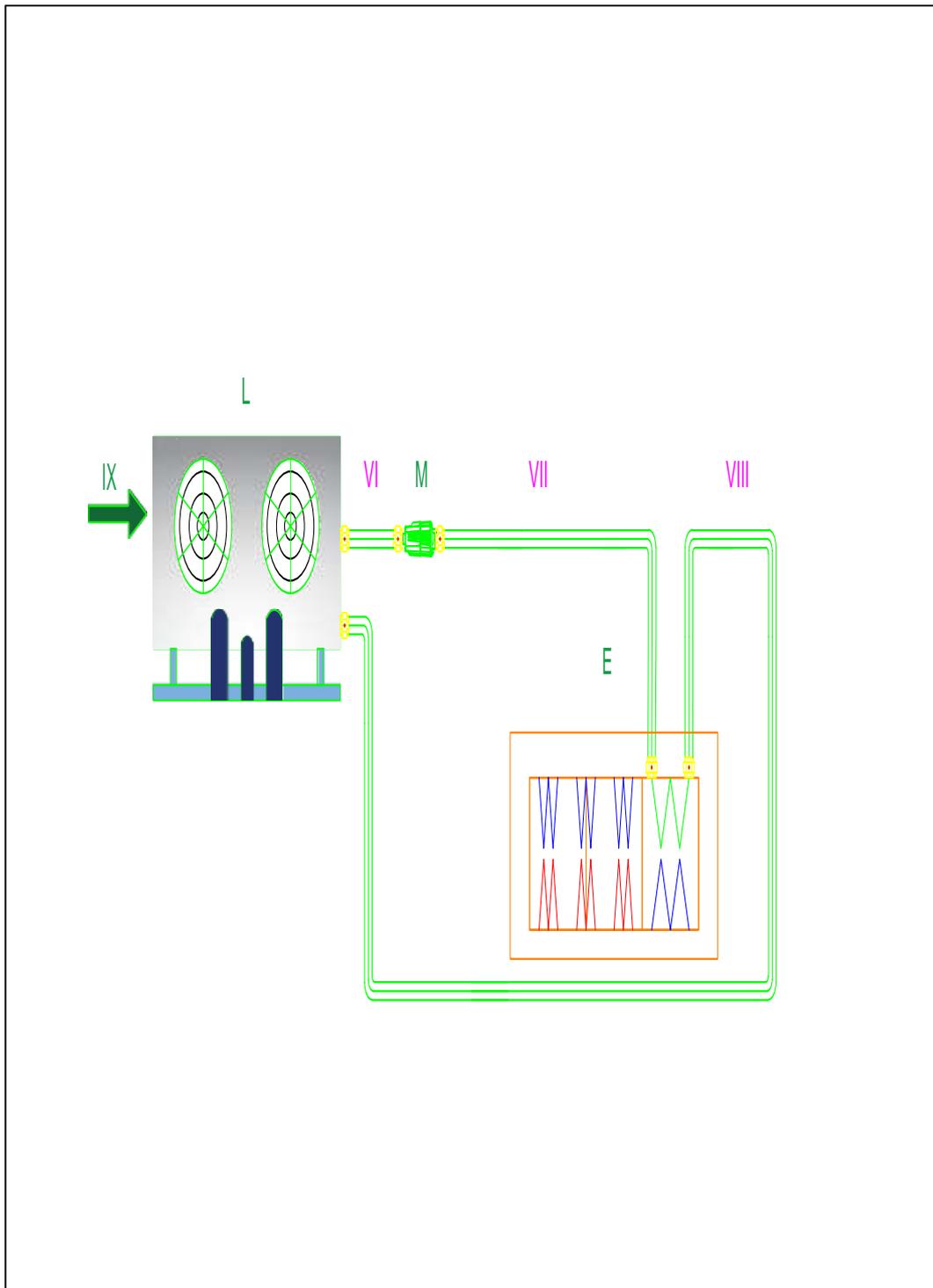


Figure 5-2. Línea del Sistema de Refrigeración

Realizado por: Angamarca Paola

Tabla 17-3. Línea del Sistema de Refrigeración a 16 C

Componentes	EXERGÍA FÍSICA (Kj/s)	DESTRUCCIÓN EXERGÉTICA (Kj/s)	RENDIMIENTO EXERGÉTICO
Banco de Hielo	EX_phIX=0.4821 EX_phVI=0.2607	EX_destL=0.2214	nL=0.5408
Bomba	EX_phVII=0.2524	EX_destM=0.02471	nM=-0.5059
Intercambiador de calor	EX_phVIII=0.2492	EX_destE=0.0032	nE=0.9873

Realizado por: Angamarca Paola

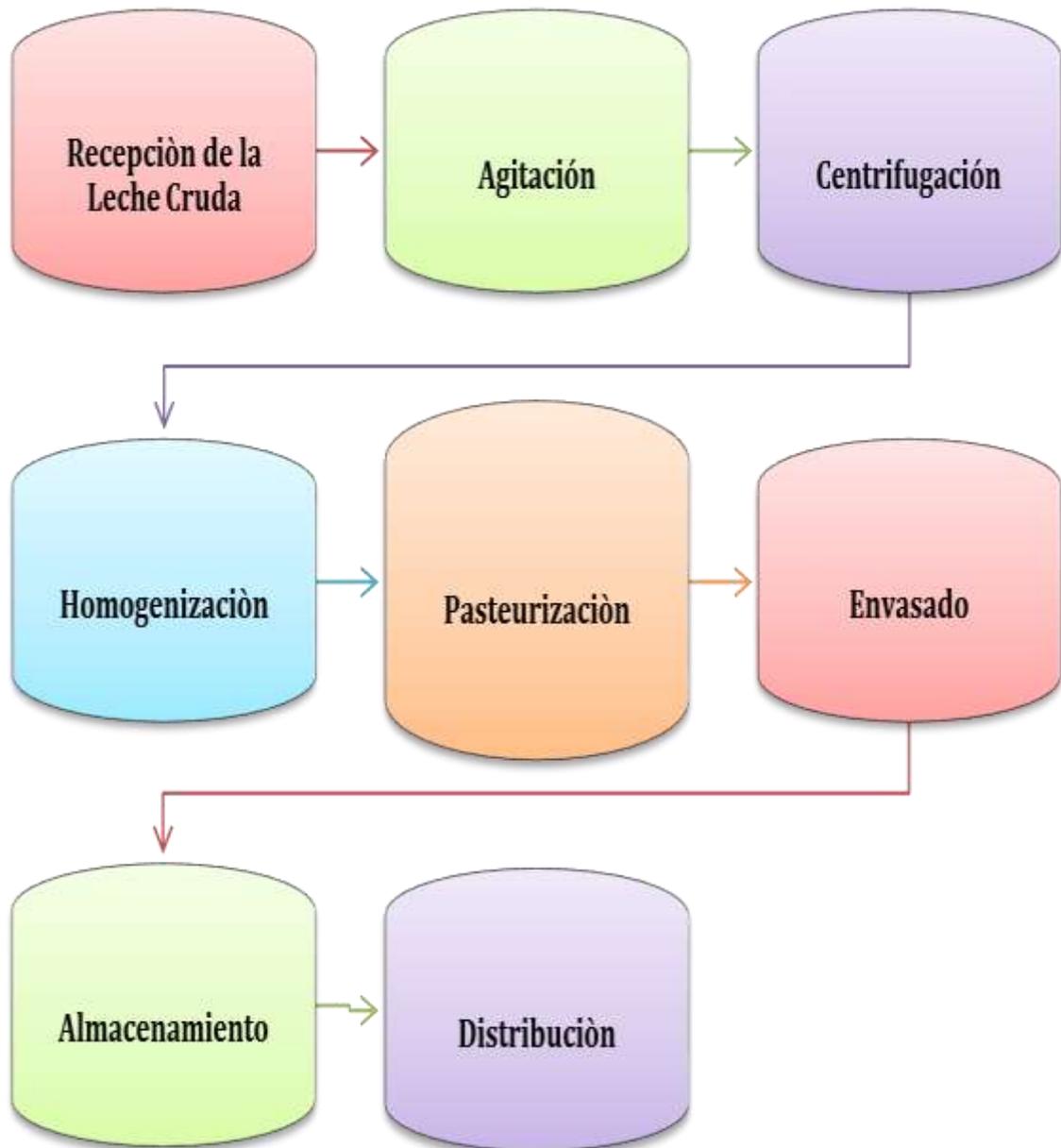
Tabla 18-3. Línea del Sistema de Refrigeración a 19 C

Componentes	EXERGÍA FÍSICA (Kj/s)	DESTRUCCIÓN EXERGÉTICA (Kj/s)	RENDIMIENTO EXERGÉTICO
Banco de Hielo	EX_phIX=0.4821 EX_phVI=0.2607	EX_destL=0.1955	nL=0.5715
Bomba	EX_phVII=0.2524	EX_destM=0.02471	nM=-0.5059
Intercambiador de calor	EX_phVIII=0.2492	EX_destE=0.0032	nE=0.9873

Realizado por: Angamarca Paola

Se anexa los cálculos y resultados utilizando el programa ENGINEER EQUATION SOLVER

3.4 Proceso de Producción



Fuente: Planta de Lácteos ESPOCH en la comunidad de Tunshi

Realizado por: Angamarca Paola

3.5 Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

Tabla 19-3. Equipos y Materiales

NOMBRE DE EQUIPOS	CANTIDAD	FUNCIÓN
Termómetros	2	Tres líneas principales
Vasos de precipitación	3	Toma de muestras
Manómetro	1	Toma de presión atmosférica
Barómetro	1	Presiones
Probetas	2	Muestra de la leche para la determinación de la densidad de la leche
Lactodensímetro	1	Determinación de la densidad de la leche
Hielo	1	Disminución de la temperatura de la leche
Guantes de látex	2	Toma de la muestra
Libreta	1	Toma de datos
Cámara fotográfica	1	Equipos
Calculadora	1	Realización de los cálculos
Envases plásticos	3	Toma de la muestra

Fuente: Planta de Lácteos ESPOCH en la comunidad de Tunshi

Realizado por: Angamarca Paola

3.6 Análisis de Costo/beneficio del proyecto

3.6.1 Materiales

Tabla 20-3. Equipos y Materiales

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL(USD)
MATERIAL DE OFICINA			

Copias	600	0,03	18,00
Impresiones	500	0,25	125,00
Anillados	8	2,50	20,00
Empastados	5	12,00	60,00
SUBTOTAL			223
LOGÍSTICA			
Transporte	40	1	40,00
Internet	1	50	50,00
Recargas	10	10	100,00
SUBTOTAL			190,00
MATERIALES			
Guantes	2	1,00	2,00
Envases de plásticos	3	1,00	3,00
Libreta	1	200	2,00
SUBTOTAL			7,00
Análisis de laboratorio			
Análisis bromatológico de la leche cruda	1	6,00	6,00
Análisis bromatológico de la leche pasteurizada	1	8,00	8,00
SUBTOTAL			434

Realizado por: Angamarca Paola

3.6.2 Económicos

Tabla 21-3. Presupuesto Total

RECURSOS	COSTO
Total de recursos	434
Imprevistos (10%)	43,40
TOTAL	477,40

Realizado por: Angamarca Paola

3.7 Cronograma de ejecución del Trabajo de Titulación

Tabla 13 Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	TIEMPO																							
	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6			
	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	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Recopilación de información	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
Identificación del estado actual del proceso					■	■	■	■																
Visitas a la Planta de Lácteos ESPOCH							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
Toma de muestras													■	■	■	■								
Toma de datos									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Determinar las variables de proceso.													■	■	■	■								
Cálculos																■	■	■	■	■	■	■	■	■
Elaboración del trabajo final																					■	■	■	■
Correcciones del trabajo final																					■	■	■	■
Defensa del trabajo final																								■

Realizado por: Angamarca Paola

CONCLUSIONES

- Después de realizar un balance energético total, se pudo conocer el balance energético actual, en donde se evidenció la exergía destruida en toda la planta y sus principales subcomponentes.
- Se identificaron las variables y las líneas principales del proceso, siendo primordial la presión y la temperatura de entrada y de salida de cada uno de los componentes del proceso, la planta de lácteos ESPOCH consta de tres líneas principales que es la línea de estandarización y pasteurización, la línea de generación de vapor y la línea del sistema de refrigeración
- Mediante el programa Enginner Equation Solver se pudieron realizar los cálculos correspondientes dentro los balances de exergía, determinando la exergía de entrada, la exergía de salida, la destrucción de exergía y la eficiencia exergética. En la línea de estandarización y pasteurización tuvimos en el intercambiador de calor por placas la destrucción de exergía mas alta (29.42Kj/s) por la transferencia de calor con una gran diferencia de temperatura, la destrucción baja del homogenizador es porque se reduce el tamaño de los glóbulos de grasa con el fin de estabilizar la leche (0.5834Kj/s), la eficiencia exergética del homogenizador podría mejorarse si se pudiera mantener la calidad de homogenización al caudal más bajo posible de la corriente de leche. En la línea de generación de vapor se tuvo la mayor destrucción exergética en la caldera (5.14 Kj/s) debido a la irreversibilidad del proceso y a la perdida de calor. En la línea del sistema de refrigeración la mayor destrucción exergética fue en el banco de hielo (0.2214Kj/s) por la transferencia de calor rápida y grande ocurrida en este componente. Se realizó los cálculos para dos estaciones en verano e invierno siendo las temperaturas de 19 y 16 C respectivamente notando que no existe mayor variación en los resultados.
- Después de identificar las pérdidas de energía en cada dispositivo se podrá proponer un proceso de mejorar de la producción, siendo este un proceso que parte desde la recepción de la leche cruda, agitación, centrifugación, homogenización, pasteurización, envasado, almacenamiento y distribución siendo la línea principal del proceso.

RECOMENDACIONES

- Los futuros estudios en este campo deben orientarse hacia una mejor comprensión y optimización de las plantas de lácteos, para encontrar los procesos de producción lechera más rentables y evitando en lo posible daños con el medio ambiente
- Establecer revisiones continuas en los equipos con el fin de que se pueda detectar las posibles fallas futuras y se pueda emplear un mantenimiento preventivo asegurando con esto el adecuado funcionamiento de cada equipo, para de esta manera tomar datos exactos para que la información obtenida para los cálculos sea precisa, y de este modo se pueda dar confiabilidad los resultados.
- Es recomendable que además del uso del programa Enginner Equation Solver, se utilicen otras alternativas que ayuden a corroborar si la información obtenida de dicho programa es o no verídica, y confiable a la hora de realizar la propuesta.
- Es importante que se creen nuevos e innovadores procesos de producción que ayuden a deshacer los problemas o dificultades presentes, acogiendo medidas innovadoras que ayuden al proceso de producción apto y que garantice calidad en su producto.

BIBLIOGRAFÍA

Abriata, J. *Acerca de la energía, la entropía y la estabilidad de los materiales*. México : Academia Nacional de Ingeniería, 2005.

Cengel, Y. y Boles, M. *Termodinámica*. México : Mc Graw Hill, 2012, págs. 2-13..

Darquea, J. Climate - Data.org. *Tunshi*. [En línea] 2015. <https://es.climate-data.org/location/775762/>.

Guaño, Y. *Optimización de la planta de lácteos en la producción de leche pasteurizada de la estación experimental Tunshi*. Riobamba : (Tesis Prerado). Escuela Superior Politecnica de Chimborazo., 2014.

GoogleMaps. Solorecursos. *Mapa de Tunshi (Provincia de Chimborazo)*. [En línea] 2016. <http://www.solorecursos.com/pueblos/ecuador/mapa1.php?id=8232>.

Henley, M., y otros. Cálculos de Balance de masa y energía. [En línea] 2016. https://books.google.com.ec/books?id=gMQ_1pSwu6AC&pg=PA76&dq=balance+de+energia&hl=es&sa=X&ved=0ahUK.

Hougen y Watson. Principios de los proceso químicos “Balance de materia y energía” [. [En línea] 2016. <https://books.google.com.ec/books?id=ZngDt>.

Holman, J. *Experimental methods for engineers* . Singapore : Mcgraw-Hill, 2001. págs. pp.48-143.

INEN 10:2003 . *Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria*. Quito : República del Ecuador., 2008.

INEN 9:2012. *Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria*. Quito : Republica del Ecuador, 2012.

Lozano, M. y Valero, A. *Determinación de la exergía para sustancias de interés industrial*. Zaragoza : Universidad de Zaragoza, 1986. págs. 20-35

Morán, S., L., Michael, y Michael, S. *Fundamentos de termodinámica técnica. 2da ed.* . Bogotá : Reverte, 2004. págs. 201-230.

Martínez, I. *Termodinámica básica y aplicada.* Madrid : s.n., s.f. [En línea] 2010.<http://www.fgsalazar.net/html/EXERGIA.htm>.

Mohamad, M., Mortaza, A. y Hossein, M. *Exergetic performance assessment of a long-life milk processing plant: a comprehensive survey.* s.l. : Department of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery., 2015.

Wikimedia. Wikipedia. *Mapa de parroquias de Riobamba.* [En línea] 2016. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b9/Parroquias_del_Cant%C3%B3n_Riobamba.JPG/400pxParroquias_del_Cant%C3%B3n_Riobamba.JPG.

OMS; FAO. *Leche y productos lácteos. Segunda Edición.* Roma : s.n., 2011.

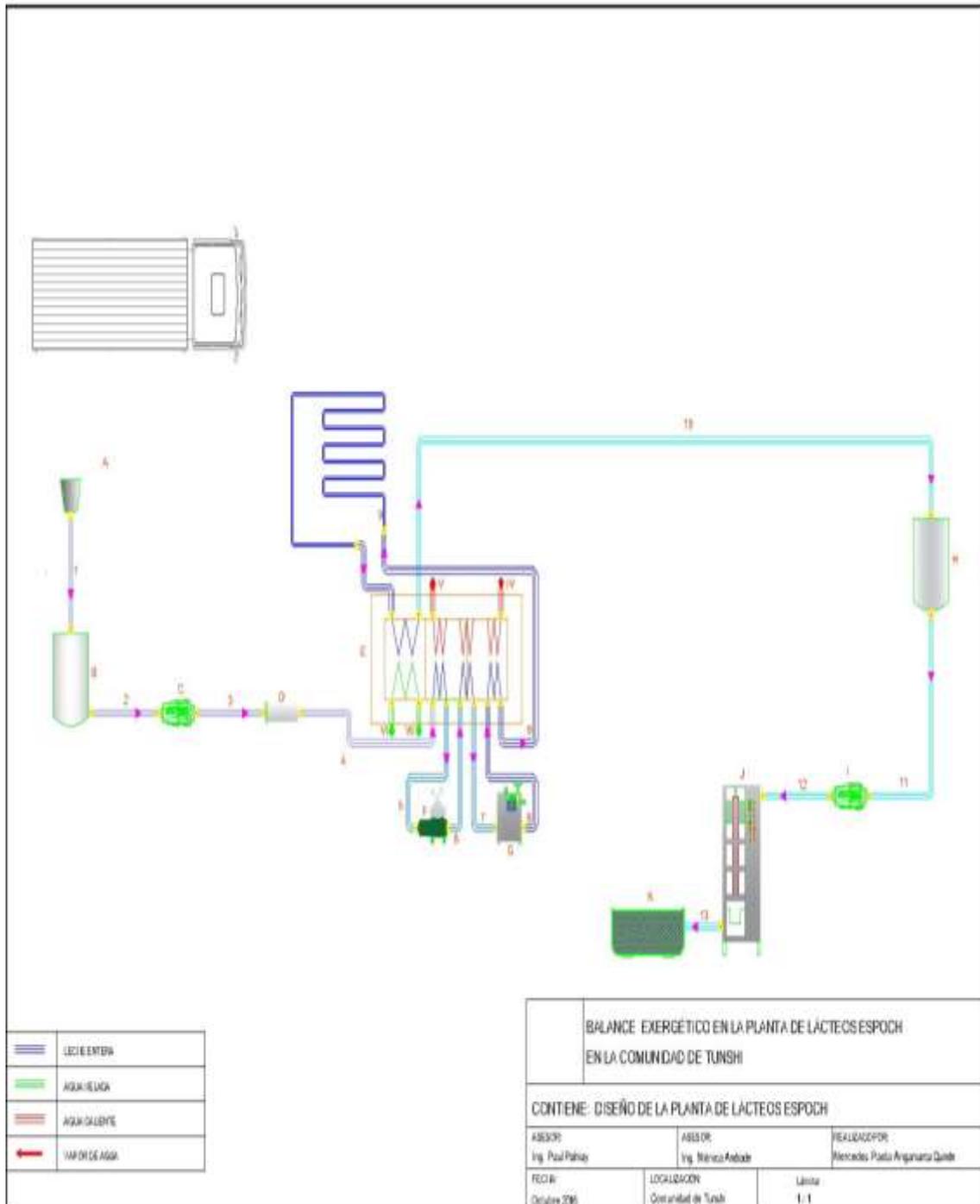
Papaleo, P. É. Alimentación, 2011. págs. 10-13.

Pérez, J. y Merino, M. Definición.de. [En línea] 2010. <http://definicion.de/energia-quimica/>.

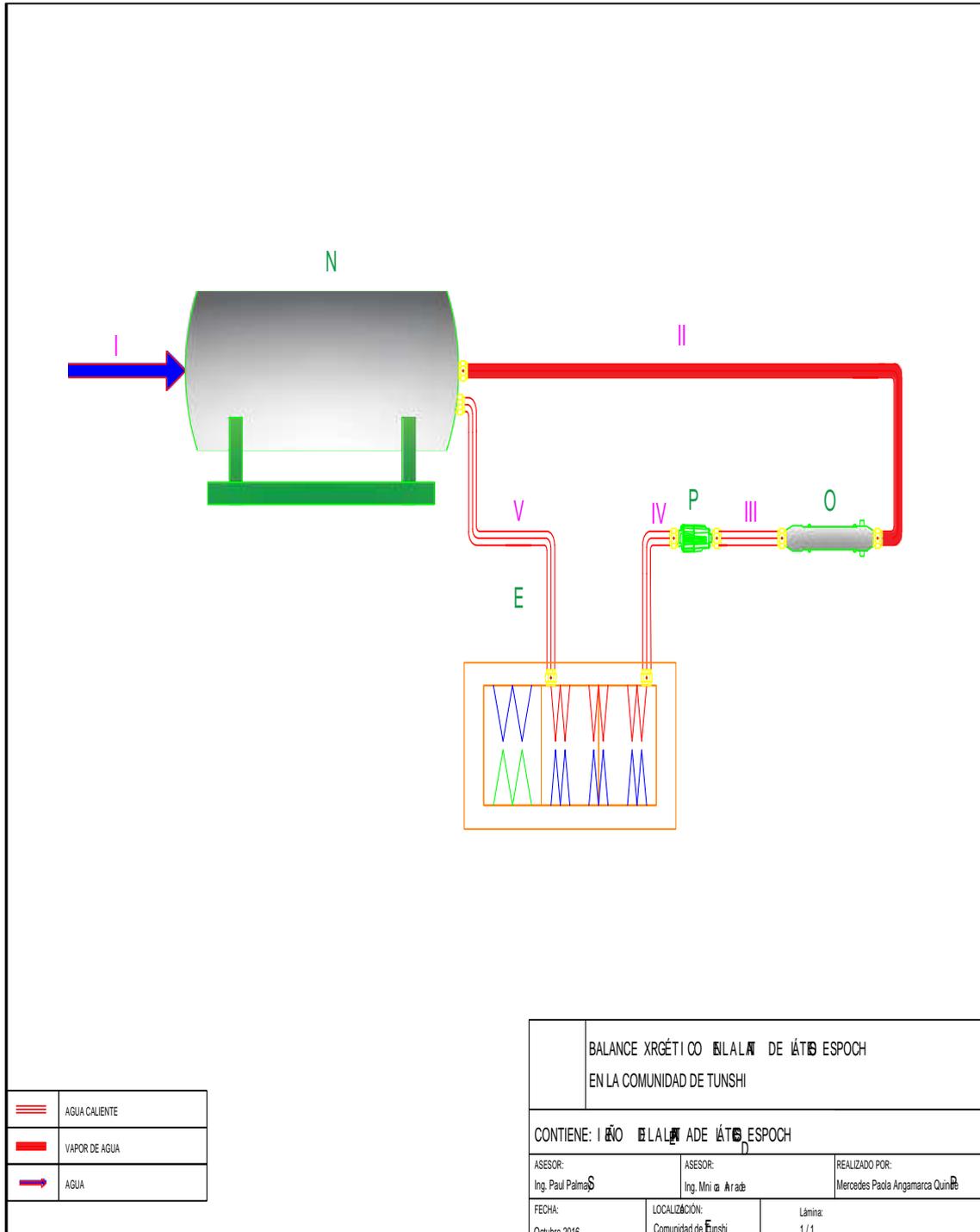
Shapiro, H. y Moran, M. *Fundamentos de Termodinámica Técnica. 4ª ed.* . s.l. : Reverté, 2013. págs. 15-19.

ANEXOS

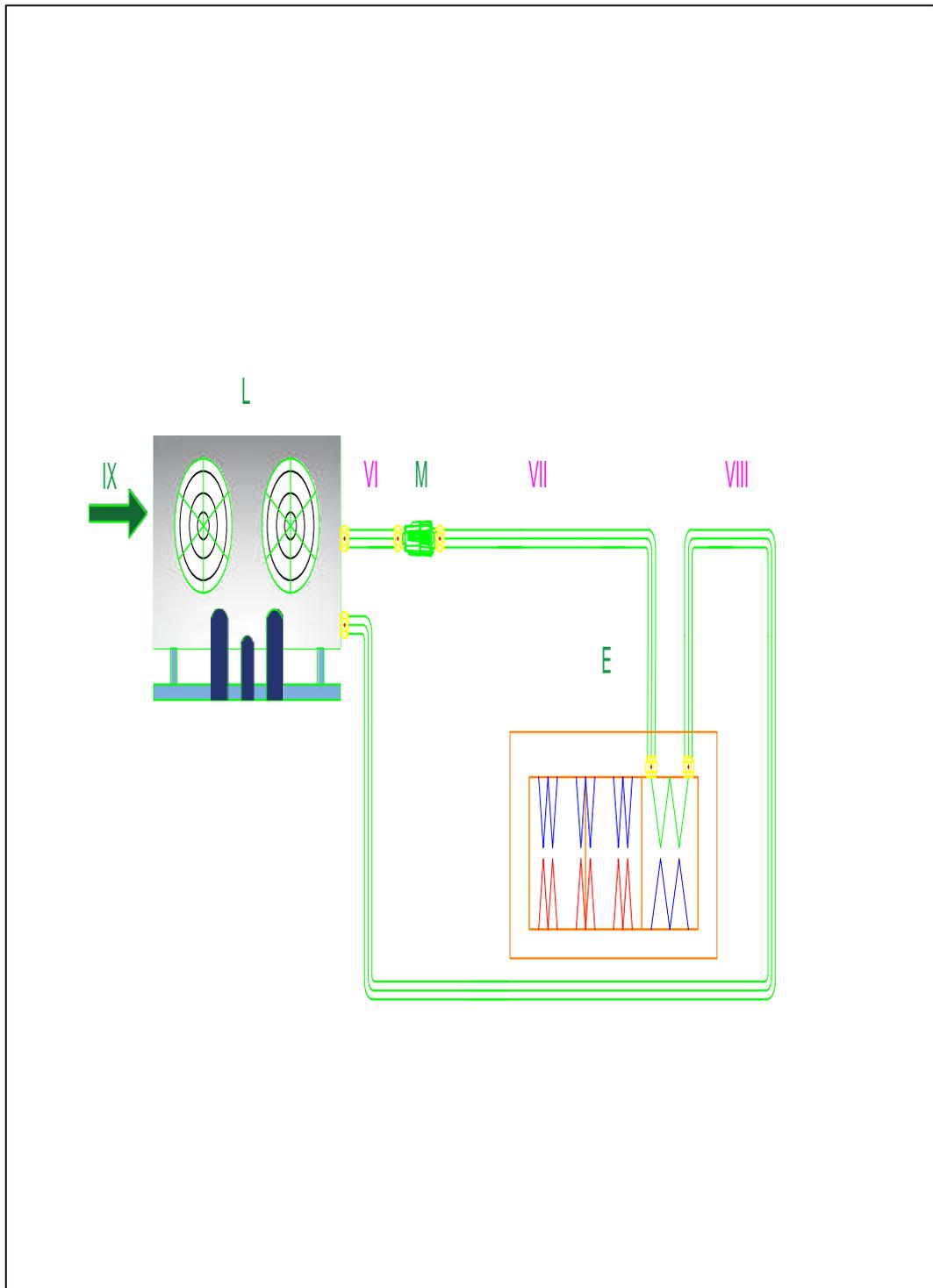
ANEXO A. PLANO DEL SISTEMA DE ESTANDARIZACION Y PASTEURIZACION



ANEXO B. PLANO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR



ANEXO C. PLANO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN



ANEXO D. ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE LA LECHE CRUDA

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LECHE Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-842/2372-844/2372-845	PGT/CL/09-FO01
	INFORME DE ANÁLISIS	Rev. 3
		Hoja 1 de 1

Informe N°: LN-CL E16-367
 Fecha emisión Informe: 20/06/2016

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: Mercedes Paola Angamarca Quinde

Dirección: Ciudadela Los Olivos

Provincia: Chimborazo

Cantón: Riobamba

Teléfono: 0984662007

Correo Electrónico: paos19@hotmail.com

N° Orden de Trabajo: 18-2016-006

N° Factura/Memorando: 007-001-000002699

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Leche Cruda	Conservación de la muestra: Refrigerada
N° de Muestras: 1	Tipo envase: Apropriado
Propietario: Mercedes Angamarca	Predio o Granja: Predio
Provincia: Chimborazo	Coordenadas: X: x
Cantón: Riobamba	Y: x
Parroquia: Lizarzoburu	Altitud: x
Responsable de toma de muestra: X	Temperatura de la muestra: 4.2 °C
Fecha de toma de muestra: X	Fecha de inicio de análisis: 17/06/2016
Fecha de recepción de la muestra: 17/06/2016	Fecha de finalización de análisis: 17/06/2016

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	G (%)	P (%)	ST (%)	SNG (%)	CRIO (°C)	% AGUA AÑADIDA	CCS (X1000/ml)	CBT (X1000/ml)
CL161515	MA	3.47	2.71	10.59	7.12	-0.4025	23.76	--	--
Norma NTE INEN 9:2012: Leche Cruda Requisitos		Min.3	Min.2,9	Min. 11,2	Min.8,2	Min.-0,536 Máx.-0,512	--	Máx. 700.000	--
Métodos		PEE/CL/002			PEE/CL/013		PEE/CL/001	PEE/CL/003	

ABREVIATURAS: ID=identificación; G=grasa; P=proteína; ST=sólidos totales; SNG=sólidos no grasos; CRIO= crioscopia, CCS=contaje de células somáticas; CBT=contaje total de bacterias; ml=mililitros.

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	AC %	AM1 (ppb)	ANT1 (ppb)*	ANT2 (ppb)*	CI	NE	PE	SL
Norma NTE INEN 9:2012: Leche Cruda Requisitos		Min.0,13 Máx. 0,17	<0,5	Establecido en el CODEX CAC/MRL2	Establecido en el CODEX CAC/MRL2	Negativo	Negativo	Negativo	--
Métodos		PEE/CL/012	PEE/CL/005	PEE/CL/010	PEE/CL/011	PEE/CL/014	PEE/CL/05	PEE/CL/08	PEE/CL/20

ABREVIATURAS: AC=ácidez; AM1=afatoxina M1; ANT1=grupo de antibióticos 1: B-LACT-SULF-TETRA; ANT2=grupo de antibióticos 2: AMINOGLUCOSIDOS; CI=cloruro; NE=neutralizantes; PE=peróxidos; SL=suero en leche; ml=mililitros; MRL2= límite máximo permitido.

Analizado por: Ing. Jenny Flores, Quim. A. Paúl Bohórquez

Observaciones: N.A

Anexo Gráficos: N.A.

Anexo Documentos: N.A.



AGROCALIDAD
 AGENCIA ECUATORIANA
 DE ASEGURAMIENTO
 DE LA CALIDAD DEL AGRO
 LABORATORIO DE CONTROL DE
 CALIDAD LECHE
 TUMBACO - ECUADOR
Bioq. Patricio García
Responsable Técnico
Laboratorio de Control de Calidad de Leche

20 JUN 2016

AGROCALIDAD
 AGENCIA ECUATORIANA
 DE ASEGURAMIENTO
 DE LA CALIDAD DEL AGRO
RECIBIDO
 LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD LECHE

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin autorización del laboratorio.

**ANEXO E. ENGINEER EQUATION
SOLVER**