

**PROPUESTA PARA EL MONTAJE DE LA LÍNEA DE RECONSTITUCIÓN DE LECHE
EN POLVO EN FRESKALECHE S.A.S**

**Propuesta presentada en la modalidad de Práctica empresarial para optar el título
de Ingeniero de Alimentos de:**

MARIANA CAROLINA LEÓN CARRASQUILLA

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE ALIMENTOS
PROGRAMA INGENIERÍA DE ALIMENTOS
PAMPLONA
2021**

**PROPUESTA PARA EL MONTAJE DE LA LÍNEA DE RECONSTITUCIÓN DE LECHE
EN POLVO EN FRESKALECHE S.A.S**

MARIANA CAROLINA LEÓN CARRASQUILLA

**Grupo de investigaciones: GIBA
Línea de investigaciones: Optimización de procesos**

Director (a):

MsC. CAROLINA PABON MORA

Codirector (a):

MsC. LUZ ALBA CABALLERO PÉREZ

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE ALIMENTOS
PROGRAMA INGENIERÍA DE ALIMENTOS
PAMPLONA**

2021

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	6
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
2. JUSTIFICACIÓN	10
3. OBJETIVOS	12
3.1. OBJETIVO GENERAL	12
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
4. MARCO REFERENCIAL.	13
4.1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA <i>FRESKALECHE S.A.S</i>	13
a. Misión	13
4.2. ANTECEDENTES	18
4.3. LA LECHE	23
4.3.1. Producción Láctea	25
4.4. PROCESOS INDUSTRIALES.	25
4.4.1. Análisis de procesos industriales	26
4.4.1.2 Importancia de las mediciones.	29
4.4.1.3. Objeto del Análisis de Procesos.	30
4.4.1.4. Reducción del tiempo del proceso.	30
4.5. TRANSFERENCIA DE CALOR.	31
4.5.1. Modos de Transferencia de Calor	32
4.5.2. Intercambiadores de calor	33
4.5.2.1 Tipos de intercambiador según su construcción	34
4.6. MARCO LEGAL	37

5. METODOLOGÍA	39
6. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	45
8. PRESUPUESTO.	46
7. REFERENTES BIBLIOGRAFICOS	47

INDICE DE FIGURAS

	PAG.
Figura 1 Flujograma De Proceso De Leche Uht	16
Figura 2 Flujograma De Yogurt	17
Figura 3 Flujograma De Leche Reconstituida.....	18
Figura 4 Intercambiador De Carcaza Y Tubo ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
Figura 5 Intercambiador De Plato..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
Figura 6 Intercambiador De Flujo Paralelo	35
Figura 7 Intercambiador De Contra Flujo	36
Figura 8 Intercambiador De Flujo Cruzado.....	36
Figura 9 Dimensiones De Un Plato Del Intercambiador De Calor	42

INTRODUCCIÓN

El sector lechero en Colombia es un sector de gran importancia para la economía nacional. Actualmente, representa el 2,3% del (Producto Interno Bruto) PIB nacional y el 24,3% del PIB agropecuario, además genera más de 700.000 empleos directos. Colombia registra más de 395.215 unidades productoras de leche, es decir casi 400.000 fincas o haciendas, el 20% tienen más de 15 animales (ANALAC, 2016). Con respecto al consumo de leche, los colombianos consumieron más de 1.050 millones de litros y de sus derivados, 85.000 toneladas entre queso y leche en polvo. (Pinto, 2017)

Freskaleche S.A.S, en una empresa ubicada en el departamento de Santander, se dedica al procesamiento y comercialización de leche para el consumo y elaboración de productos derivados. La empresa realiza operaciones de industrialización con centros de acopio ubicados en La esperanza, Cimitarra, Socorro, Aguachica, Málaga, Antioquia, Llanos, Sabana, entre otros. Debido a factores ambientales como épocas de lluvia o sequía, el sector lechero sufre momentos de escasez del preciado líquido, sumando la alta demanda del producto, *Freskaleche S.A.S* debe emplear leche en polvo para reconstituirla y someterla a procesos de conservación térmica con el fin de suplir la demanda.

En la operación de reconstitución se emplea agua potable de la zona caliente a 25 °C temperatura adecuada para realizar la reconstitución y seguidamente se debe enfriar a 4°C, para lo cual se emplea el intercambiador de calor. Los intercambiadores de calor, son altamente empleados por las industrias de alimentos para el correcto tratamiento térmico, que garantiza la conservación e inocuidad de los productos alimenticios, en especial para la leche. La transferencia de calor entre dos fluidos (leche-agua) sucede de forma aislada, a través de un sólido (tubo o placa), en acero inoxidable, este método permite aumentar o disminuir la temperatura del producto según la necesidad.

Debido a los problemas presentados por escases de leche cruda, *Freskaleche S.A.S*, requiere implementar la línea de reconstitución de leche en polvo, esto debido a que para enfriar la leche luego de la reconstitución, emplea el intercambiador de calor del área de recepción de leche cruda, lo cual genera un cuello de botella. Por lo tanto, la empresa

quiere emplear un intercambiador de calor de placas que está en desuso y adecuarlo a las condiciones actuales de la empresa en términos de capacidad.

El presente trabajo, tiene como fin proponer el montaje de la línea de la leche en polvo reconstituida e independizar la línea para mejorar la eficiencia en el área de recepción leche cruda en la empresa.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Freskaleche S.A.S es una empresa procesadora de lácteos fundada en 1982, nace de la inquietud de ganaderos del Sur del Cesar y Bolívar, Norte de Santander y Santander. Se ha posicionado en el nororiente colombiano, cubriendo la demanda de consumo de esta región. La empresa desarrolla, produce y comercializa productos lácteos y alimentos procesados que aporten bienestar y nutrición a los consumidores cumpliendo con altos estándares de calidad.

Con el fin de garantizar las condiciones de calidad e inocuidad en la industrialización de los productos lácteos, se debe contar con líneas y equipos destinados para reducir y/o eliminar la carga microbiológica, como son los intercambiadores de calor. La temperatura que deben alcanzar los alimentos para garantizar que cuando se consuman no van a causar daño a los consumidores, es uno de los puntos críticos de las cadenas de producción alimentaria. Los tratamientos térmicos son fundamentales bien sea para conservar la calidad e inocuidad de los alimentos o para realizar adecuados procesos de limpieza o desinfección, pero en exceso se puede llegar a perder las calidades física, nutricionales y organolépticas de la materia prima.

Freskaleche S.A.S se dedica a la comercialización de leche y derivados lácteos y en las temporadas de escasez de la leche líquida, suple las necesidades de la oferta, empleando leche en polvo y posterior reconstitución, pero al no contar con una línea independiente para este fin, emplea para el enfriamiento, un intercambiador de calor que está ubicado en el área de recepción de leche cruda.

Por otra parte; el proceso de reconstitución de la leche en polvo tiene una ventaja, debido a la ubicación geográfica de la empresa, la temperatura del agua potable de salida (25 °C), agiliza la completa disolución del soluto (leche en polvo) con el solvente (agua potable) y hace que la velocidad de difusión sea mayor por lo tanto el tiempo empleado es menor, sin embargo la operación de intercambio de calor oscila entre 5 a 7 horas además, del tiempo que se requiere para la correcta limpieza y desinfección de la línea, éste llega a ser mayor, debido a que la capacidad del equipo es de 10.000 L/h.

Con el uso del intercambiador de recepción de leche cruda, se aumenta la probabilidad de contaminación biológica de la leche reconstituida, del gasto económico innecesario, debido a pausas laborales de un día de trabajo del operario de turno, dificultades de orden logístico por la acumulación de carro tanques en la zona de recepción y en consecuencia aumento de posibles riesgos de accidentes laborales.

2. JUSTIFICACIÓN

El montaje de la línea de leche en polvo reconstituida permitirá poner en marcha el uso del intercambiador de calor marca Alfa Laval y mejorar el funcionamiento de la línea de leche reconstituida de manera independiente de la recepción de leche cruda en el área de producción, evitando demoras y posible contaminación cruzada, así como definir las condiciones de uso del intercambiador de calor que la empresa no está usando.

Por otra parte, se determinarán las condiciones de funcionamiento del proceso actual de los equipos involucrados, y conocer las características de la línea para proponer un plan de mejoramiento que involucre una posterior cotización y análisis de costos para el montaje de la línea. Dicho análisis permitirá evaluar si los equipos existentes en la planta podrán ser involucrados y aprovechados en esta línea, y de esta forma optimizar los recursos.

Los cálculos de transferencia de calor que se realizarán permitirán comprender el sistema, aplicar las leyes de termodinámica, la ley de Fourier para transferencia de calor por conducción y diferentes modelos matemáticos para la predicción de valores acertados de coeficiente de transferencia térmico y capacidad calorífica de la leche reconstituida en función de la temperatura. Así mismo, conocer el número de placas que debe contar el intercambiador para suplir las necesidades de la línea de leche en polvo reconstituida.

En este contexto, nace la necesidad de evaluar una alternativa que permita independizar la línea de leche en polvo reconstituida de la leche cruda disminuyendo los costos de producción, ajustar tiempos de producción, reducir pérdidas en el proceso productivo, garantizar la conservación de la materia prima y mejorar el uso adecuado de los recursos de la empresa.

El desarrollo de la presente propuesta en la modalidad de práctica empresarial como opción de trabajo de grado, permitirá al Ingeniero de alimentos en formación, poner en práctica los conocimientos adquiridos durante 9 semestres académicos de formación, reforzando sus habilidades y competencias al confrontar la realidad de su quehacer

profesional, siendo una oportunidad para una posible vinculación laboral y/o futuros practicantes del programa y la Universidad.

Así mismo, se dará visibilidad a la calidad académica del programa Ingeniería de Alimentos como programa acreditado de alta calidad, al demostrar la pertinencia social en el sector empresarial regional, dando solución a problemas reales que repercuten en la calidad e inocuidad de los productos alimenticios

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer el montaje de la línea de reconstitución de leche en polvo en *Freskaleche S.A.S* con el fin de adecuar el proceso productivo y dar cumplimiento con los estándares de calidad de la empresa.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico de las condiciones actuales en el manejo de la reconstitución de la leche en polvo en la empresa *Freskaleche S.A.S*.
- Elaborar la propuesta del montaje de la línea de reconstitución de leche en polvo en *Freskaleche S.A.S*.
- Establecer los cálculos ingenieriles para el montaje de la línea de reconstitución de leche en polvo de *Freskaleche S.A.S*.

4. MARCO REFERENCIAL.

4.1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA *FRESKALECHE S.A.S*

Freskaleche S.A.S, descende de COOPROLECHE LTDA, Cooperativa de Productores de Leche de Santander y el Magdalena Medio que se fundó en 1982, nació como una inquietud de ganaderos del Sur del Cesar y Bolívar, Norte de Santander y Santander con el fin de conseguir mercado y mejores precios para la leche cruda. En 1991 la cooperativa se transforma en sociedad anónima hasta el año 2016 donde cambia su razón social a *Freskaleche S.A.S*. (*Freskaleche S.A.S*, 2017)

El nombre deriva de una marca inglesa denominada FRESH MILK y fue idea de unos de los fundadores: el Dr. Humberto Polanía. Los colores institucionales al igual que el tricolor patrio cada uno tiene su propio significado, el blanco, es el color de nuestra materia prima principal, la leche; el azul porque para efectos de mercadeo denota, significa fresca y el rojo por ser escogido por los clientes que más amamos, los niños. (*Freskaleche S.A.S*, 2017)

Actualmente, *Freskaleche* hace parte del grupo Alquería productos naturales de la sabana S.A, se encuentra ubicada en Santander, Km 3 vía chimita, en el parque industrial primera etapa y cuenta con 250 empleados entre directos y temporales del área administrativa, mantenimiento y producción; es una empresa líder a nivel nacional en el sector de productos lácteos y alimentos procesados, ofreciendo a sus clientes y consumidores productos como la leche larga vida UHT, productos derivados de la leche y jugos frescos, respondiendo diariamente a niveles de producción entre 140.000 L a 180.000 L de leche cruda y 12.000 litros de Tangelo por semana.

a. Misión

Desarrollar, producir y comercializar productos lácteos y alimentos procesados que aporten bienestar y nutrición a nuestros consumidores cumpliendo con altos estándares de calidad y políticas organizacionales, con el fin de generar beneficios a la sociedad, nuestros proveedores, clientes, colaboradores y rentabilidad para los accionistas. (*Freskaleche S.A.S*, 2017)

b. Política integrada de gestión

Freskaleche S.A.S como compañía dedicada a ofrecer productos lácteos y alimentos procesados, busca garantizar la satisfacción de las necesidades de todas sus partes interesadas, la protección del medio ambiente y la seguridad y salud de todos los colaboradores, contratistas y visitantes, a través de su compromiso de:

- Cumplir los requisitos legales vigentes y de otra índole aplicables de calidad, inocuidad, ambiental, seguridad y salud en el trabajo
- Asegurar que los requisitos del sistema de gestión estén integrados en los procesos de la compañía.
- Identificar los peligros, evaluar y valorar los riesgos y establecer los respectivos controles con el fin de prevenir los accidentes y enfermedades laborales.
- Prevenir la contaminación ambiental
- Asignar los recursos humanos, financieros y tecnológicos de manera eficiente para el fortalecimiento del sistema de gestión
- Gestionar de manera eficaz los procesos, aspectos ambientales significativos y riesgos organizacionales
- Contar con colaboradores comprometidos con la conservación de la infraestructura, los recursos y el autocuidado que fortalezcan la mejora continua y la cultura del sistema de gestión, que contribuyan desde su liderazgo a la eficacia del mismo y al logro de los resultados previstos en cuanto a crecimiento, rentabilidad y sostenibilidad. (*Freskaleche S.A.S, 2017*)

c. Procesos

La planta de Freskaleche sede Bucaramanga, cuenta con dos líneas principales: línea UHT y línea de Derivados lácteos, donde se presentan las siguientes operaciones y procesos importantes:

- **Bactofugación:** Es la primera operación a la cual es sometida la leche cruda, donde por medio de fuerza centrífuga (6900 a 7150 rpm) se limpia la leche,

logrando separar esporas y bacterias, conocido en la empresa como extracción de lodos.

- **Clarificación:** Proceso en el cual la leche pasa por una clarificadora donde por medio de fuerza centrífuga hay separación de grasa o crema y leche descremada, en el caso particular emplean el equipo tetra alfast donde por un panel de control se estandariza la grasa a los niveles deseados.
- **Pasteurización:** Tratamiento térmico para la eliminación de microorganismos patógenos, en este caso particular, la leche pasa por un intercambiador de calor tubular a $70 \pm 1^{\circ}\text{C}$ por una retención de 15 segundos y luego pasa a un intercambiador de placas donde se disminuye la temperatura a $4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$
- **Homogeneización:** Es el proceso donde la leche se hace pasar a una temperatura $68-70^{\circ}\text{C}$ por el cabezal del homogeneizador donde el producto pasa por la válvula de estrangulación a una presión de 90 Bar en la primera Etapa y 40 Bar en la Segunda Etapa, consiguiendo así la disminución de la partícula de glóbulo graso y consecuentemente una emulsión estable.
- **UHT:** Proceso de flujo continuo donde la leche es sometida a 135°C por 3 ± 1 segundo, de tal forma que se compruebe la destrucción eficaz de esporas bacterianas o cualquier forma de vida vegetativa, seguido inmediatamente de enfriamiento a temperatura ambiente ($24 \pm 2^{\circ}\text{C}$) y posterior empacado hermético y aséptico.
- **Acidificación:** En el caso de elaboración de yogurt la leche se somete a un proceso de acidificación, donde ocurre un descenso de pH por la adición controlada de cultivos microbiológicos a una temperatura de $37 \pm 2^{\circ}\text{C}$

d. Línea UHT

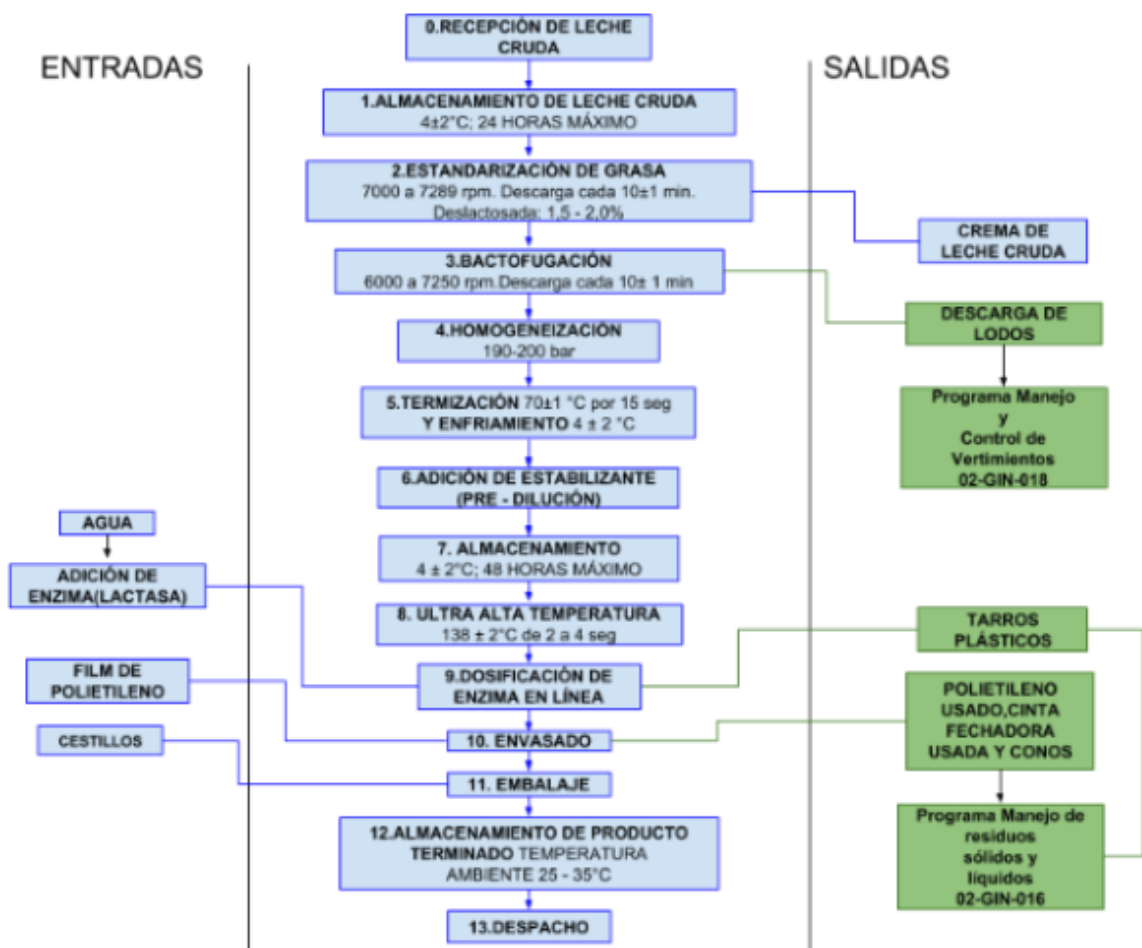
Su denominación corresponde a las siglas en inglés de Ultra High Temperature, lo que significa Ultra Alta Temperatura (UAT), en esta línea se procesan y empacan leche marca Alquería y Freskaleche de diferentes presentaciones, así:

- Leche deslactosada Freskaleche de 400, 900, 1100 y 1200 ml.
- Leche deslactosada Alquería de 400, 900, 1100 y 1300 ml.

- Leche entera Alquería 200, 400, 900, 1100 y 1300 ml
- Leche entera Freskaleche 200, 400, 900, 1100, 1250 ml
- Leche semidescremada Freskaleche 400, 900, 1200 ml
- Leche semidescremada Light Freskaleche 400, 900 y 1200 ml
- Crema de leche Alquería de 200, 220, 450 y 900 ml
- Crema de leche Freskaleche de 190 y 400 ml

En la siguiente figura se presenta el proceso para la elaboración de los productos de la línea UHT:

Figura 1 Flujograma de proceso de leche UHT



Fuente: Documentos *Freskaleche* S.A.S, 2021.

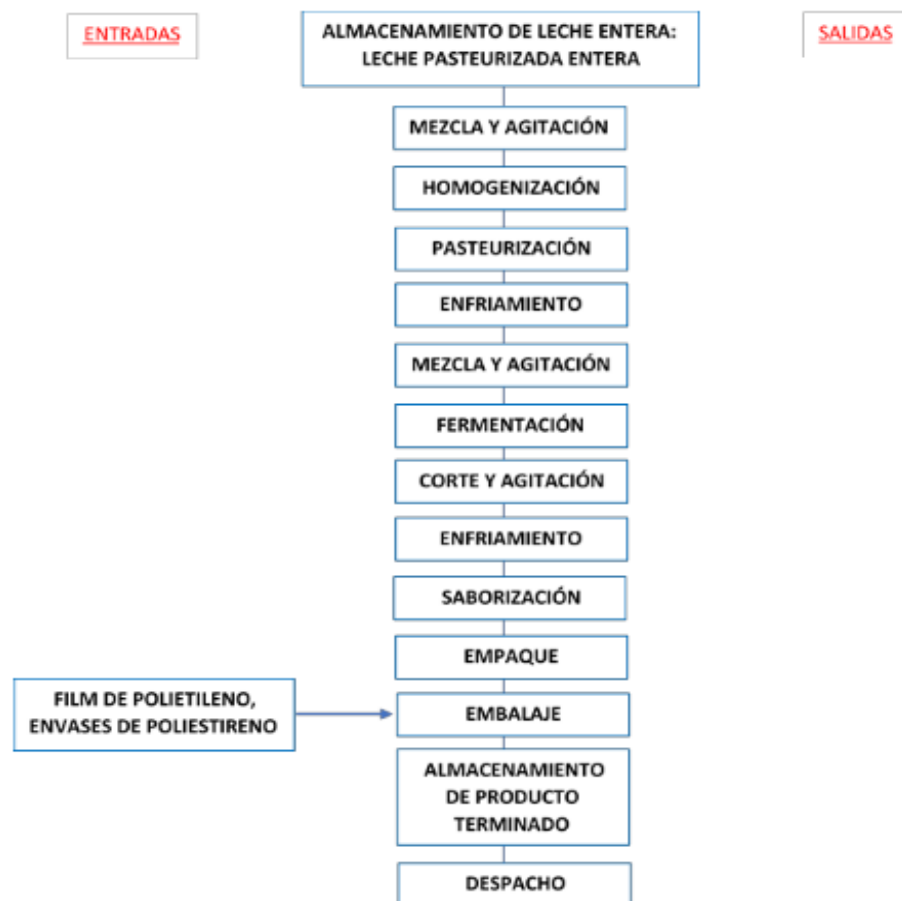
e. Línea de Derivados

En esta línea se realizan los siguientes productos y presentaciones

- Yogurt Flexibles o bolsa sabores fresa, mora, melocotón de 120, 200 y 900 ml
- Yogurt Vaso Cereal 150 ml
- Yogurt Vaso fresa, mora, melocotón 150 ml
- Yogurt en botella sabores fresa, melocotón, uvas pasa y natural 1000L
- Tangelo citrus en bolsa 120, 250 ml

En la figura 2 se presenta el proceso para la elaboración de yogurt.

Figura 2 Flujograma de yogurt



Fuente: Documentos *Freskaleche S.A.S*, 2021

f. Línea de Leche Reconstituida

Esta línea no es de continuo funcionamiento, pese que implica un gasto mayor frente a la leche cruda obtenida de los centros de acopio, sin embargo, se requiere en épocas del año donde las demandas son altas y en la región hay escases de leche cruda, es decir, cuando se debe procesar más de 140.000 L/ día por tanto, los niveles de producción de leche reconstituida oscila entre los 35.000 y 40.000 L/día, los cuales posteriores a su hidratación se almacenan para ser mezclados, estandarizados y procesados con el resto de leche cruda de la línea UHT, como se detalla en la imagen.

Figura 3 Flujograma de leche reconstituida



Fuente: Documentos *Freskaleche S.A.S, 2021*

4.2. ANTECEDENTES

Para el desarrollo del presente trabajo se consultaron trabajos similares sobre diseño, implementación o mejoras en las líneas de producción que se hacen con el fin de reducir costos ya sea en materiales, mano de obra o tiempo, es por esto que para ello no solo se debe hacer una optimización de los equipos implicados en el proceso sino de toda la línea en general.

A continuación, se presentan algunos de los referentes consultados:

En un estudio realizado en la Empresa láctea SCALEA S.A.S se presentaba dificultades en la línea de producción debido a procesos ineficientes en el área de recepción ocasionando alteraciones fisicoquímicos y organolépticos lo que generaba dificultades para el procesamiento y obtención del producto terminado, así que de igual forma se realizó un análisis descriptivo de cada proceso, realizando observación directa con el fin de diseñar una propuesta de mejora, encontrando en el análisis de prioridad de problemas falta de estandarización, sin embargo como los problemas fueron puntuales se desarrolló la metodología “Cinco porque” y el diagrama Ishikawa para identificar las causas reales, encontrando recorridos extensos, falta de tecnología por lo que el plan de mejora incluyo varias áreas, reorganización de la planta, compra de maquinaria, estandarización de procesos entre otras posibles soluciones. (*DISEÑO DE PLAN DE MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE PRODUCCION DE YOGURT, QUESO DOBLE CREMA Y QUESO PASTEURIZADO EN LA EMPRESA SCALEA S.A.S, 2016*)

Por otra parte, se encontraron aspectos relevantes para cuando se quiere diseñar una línea de proceso para productos lácteos, en la que se ha contemplado pasteurización y esterilización con un intercambiador de calor de placas como equipo principal. Considerándose el mismo como uno de los tratamientos térmicos más importantes en el procesado de leche líquida y también como pretratamiento de una determinada línea ya sea en la fabricación de queso y otros productos lácteos fermentados. Existen muchos aspectos a considerar cuando se diseña una línea de proceso. Estos aspectos pueden ser diversos y complejos; en cuanto al Producto: se contempla la materia prima, su tratamiento y la calidad del producto final. Referente al Proceso: Se revisa la capacidad de la planta de proceso, selección de los equipos, accesorios, forma de control del proceso y en referencia a la economía: la selección de equipos, selección de material. Como también se muestra de forma breve los intercambiadores de calor de uso alternativo para su posterior comparación con el diseño propuesto.(Alava Merino, 2002)

Complementando lo anterior, hay estudios donde evalúan modelos de ensuciamiento en Intercambiadores de Calor Tubulares en Sistemas indirectos en Procesos UHT en la Industria Láctea, encontrando que a las temperaturas entre 75°C y 110°C, ocurre la desnaturalización de proteínas y precipitación de sales minerales ocasionando el fenómeno de ensuciamientos, el cual es una capa o costra de ensuciamiento en las

paredes del tubo de calentamiento; destacando en este la proteína sérica llamada - Lactoglobulina, teniendo en cuenta que la velocidad de ensuciamiento es igual a la diferencia de velocidades de acumulación y remisión de los compuestos. Los modelos Kern-Seaton y Fryer-Slater son los más usados, pues son modelos de velocidad de ensuciamiento en función de la energía de activación y la temperatura de película interfacial entre la capa de ensuciamiento y la leche. (Orozco & Urrego, 2007)

Mientras que (Angamarca et al., 2020), determinaron puntos de optimización a través de balance de exergía en la planta de pasteurización de leche “estación experimental Tunshi (Riobamba – Ecuador)”. entendiéndolo que la exergía determina la pérdida de energía real con mayor precisión que un balance de energía tradicional; además, el manejo económico – energético se convierte en un aspecto de gran relevancia, que correlaciona criterios técnicos y de optimización. El objetivo de este estudio fue realizar un análisis exergético de la planta pasteurizadora de leche en la Estación Experimental Tunshi,- Chimborazo para la determinación de puntos de mayor destrucción de exergía en las líneas principales de pasteurización de la estación las que son estandarización y pasteurización, generación de vapor y sistema de frío. Los datos de cada línea del proceso se recolectaron durante un mes en operación normal y sacando las ecuaciones del sistema completo utilizando el programa ingenier equation solver. Los resultados indicaron que la mayor tasa de destrucción de exergía en la línea de pasteurización estuvo en el intercambiador de calor de placas ($29,42 \text{ kJ s}^{-1}$), debido a las diferencias de temperatura en el choque térmico para la pasteurización, en la línea de generación de vapor fue en la caldera debido a las pérdidas de calor ($5,14 \text{ kJ s}^{-1}$) y en la línea del sistema de enfriamiento se dio en el banco de hielo por la transferencia de calor rápida ($0,21 \text{ kJ s}^{-1}$). 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; como se sugiere a través de la utilización de mejor aislante térmico orientado y optimizando los intercambiadores de calor.

Por otra parte, (Guzmán-Zazueta, 2018) evaluaron la simulación y optimización del lavado de pasteurizadores de leche, como solución del ensuciamiento generado en los pasteurizadores, El sistema de lavado CIP (cleaning-in-place) es el más recomendado para pasteurizadores de leche, por tanto, plantean ciclos para calcular la reducción de la

proteína desnaturalizada, reduciendo los costos empleando formulaciones matemáticas para optimizar el sistema CIP.

(Vald et al., 2017) Utilizaron un modelo computacional y metodología de optimización del funcionamiento de un intercambiador de calor de diseño compacto empleado como IHX en HTGR. Los intercambiadores de calor intermedios (IHX) presentes en los reactores nucleares de alta temperatura enfriados por gas (HTGR) presentan condiciones de operación complejas, caracterizadas por valores de temperatura superiores a los 1073 K. Los diseños convencionales de tubos y coraza han mostrado desventajas con respecto a los diseños compactos. En este trabajo se construyeron modelos computacionales de un diseño de intercambiador de calor compacto, el de circuito impreso, bajo condiciones de IHX en una instalación con HTGR. En estos modelos se consideró una geometría detallada en tres dimensiones, correspondientes a una unidad de transferencia del intercambiador de calor. Se emplearon técnicas de Dinámica de Fluidos Computacional y Métodos de Elementos Finitos para estudiar el funcionamiento termohidráulico y mecánico del equipo, respectivamente. Las propiedades de los materiales fueron definidas como funciones de la temperatura. Los resultados termohidráulicos obtenidos fueron establecidos como condiciones de operación en los cálculos estructurales. Se desarrolló una metodología basada en el análisis de los costos capitales y de operación, la cual tiene en cuenta la transferencia de calor, la caída de presión y el comportamiento mecánico de la estructura, en una única variable de optimización. Se obtuvo mediante el análisis de los resultados experimentales de otros autores, una relación entre el tiempo de explotación del equipo y el esfuerzo máximo en la estructura, la cual fue utilizada en el modelo. Los resultados muestran que el modelo que permite una mayor eficiencia térmica difiere del que tiene menor costo total por año.

En estudios relacionados se ha reportado la importancia de la determinación experimental, en caso de que no haya referentes de los coeficientes de transferencia de calor del fluido a tratar para la selección oportuna del intercambiador de calor. Un estudio realizado en Cuba donde se empleó un intercambiador de placas para el enfriamiento de licor amoniacal, determinó dichos coeficientes mediante un procedimiento iterativo donde se estableció la ecuación del número de Nusselt y su relación con el número de Reynolds y Prandtl. (Tamayo et al., 2014)

(Martínez, 2014) Definieron una guía para seleccionar intercambiadores de calor. En dicha guía se describe, en forma general, cómo efectuar la selección del tipo de intercambiador de calor más adecuado, basándose en la superficie de transferencia estimada de un intercambiador de carcasa y tubos ya que éstos son los más importantes y numerosos en la industria. La selección del tipo de intercambiador de calor que mejor se ajusta al servicio de interés, se basa exclusivamente en consideraciones técnicas y económicas, que fijan la opción ganadora en términos de servicio prolongado y satisfactorio con menores costos iniciales y de operación. Hay casi un número ilimitado de alternativas en la selección de equipos de transferencia de calor para un determinado proceso, pero solo uno es el mejor diseño.

Otros estudios afirman que el mal funcionamiento de equipos por incrustaciones, ocasiona incremento en el costo de producción por concepto de energía eléctrica, así como la afectación en la capacidad de la Planta. Bajo estas condiciones, sugieren el mantenimiento periódico del equipo para garantizar, controlar y mejorar su funcionamiento. (Orozco & Urrego, 2007).

Se deben identificar las causas que limitan la eficiencia de la línea como : perdidas por averías, perdidas de paradas menores, defectos de calidad, repeticiones de trabajo entre otras, para lo que se plantea medir indicadores como OEE (rendimiento o eficiencia de la maquina) índice de tiempo y desempeño operacional, capacidad de la máquina, paradas no contempladas, desperdicio de envases y calidad en el productos empleando como Metalogía análisis causa – efecto, análisis DOFA, entrevista no estructurada pues muchos de estos estudios son de tipo descriptivo y documental, encontrando que la eficiencia del proceso de llenado y tapado era de un 60% proponiendo como plan de mejora capacitaciones al personal operativo para la reducción preventiva de desperdicio de polietileno y tapas en el área de empaclado. (Del & Nevex, 2005).

(Bárbara et al., n.d.) Realizaron el diseño de intercambiadores de calor de tubo y coraza mediante el método de eficiencia – número de unidades de transferencia y optimización de los costos usando MATLAB Los intercambiadores de calor pueden tener diversos usos, pero en general, son usados para recuperar calor entre dos corrientes en un proceso. Los intercambiadores del tipo de coraza y tubo constituyen la parte más importante de los equipos de transferencia de calor sin combustión en las plantas de

procesos químicos. Los mismos consisten en una serie de tubos lineales colocados dentro de un tubo muy grande llamado coraza y representan la alternativa a la necesidad de una gran transferencia de calor. La investigación y el desarrollo en la transferencia de calor son de significativa importancia en muchas ramas de la tecnología, en particular de la tecnología energética. Los nuevos desarrollos de intercambiadores incluyen criterios de optimización desde el punto de vista energético, pero sin tener en cuenta las restricciones mecánicas impuestas por las normas. En el presente trabajo primeramente se realiza la modelación térmica de un intercambiador de tubo y coraza industrial, usando el método – NTU y el enfoque Bell –Delaware para estimar el coeficiente de transferencia de calor y la caída de presión del lado de la coraza. Posteriormente el intercambiador fue optimizado maximizando la eficiencia, así como minimizando el costo total usando el software MATLAB R2009. Se comparan los resultados obtenidos por métodos exactos y por métodos heurísticos, se contabiliza el ahorro por concepto de combustible y por concepto de materiales constructivos que presupone la optimización. Se aplicó la técnica Optimización de los algoritmos genéticos para proporcionar un conjunto de Pareto de múltiples soluciones óptimas.

Por lo anteriormente expuesto se evidencia que para realizar el montaje de la línea de reconstitución de leche en polvo se requiere contar con información precisa de la empresa y de conocer detalladamente el funcionamiento con la participación del personal operativo gerencial.

4.3. LA LECHE

Por definición, “Es el producto de la secreción normal de la glándula mamaria de animales bovinos sanos, obtenido por uno o varios ordeños diarios, higiénicos, completos e ininterrumpidos” (Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, 2000).

La leche es una de las sustancias más complejas, con alto contenido de nutrientes, indispensable para las primeras etapas de vida de la cría y por ende de difícil sustitución; Es de sabor dulce y pH neutro, con presencia de los siguientes macronutrientes.

- a) Lípidos
- b) Proteínas (Caseínas, Albúminas y globulinas)

c) Carbohidratos, glúcidos de cadena corta (Lactosa)

d) Las sales

Y en menores proporciones, pero igual de importantes: las vitaminas, enzimas, nucleótidos entre otros.(Alais, 1985), en la siguiente tabla se puede conocer la composición porcentual de la leche de vaca, búfala y humano, permitiendo hacer una comparación.

Tabla 1. Composición general de la leche en diferentes especies

ESPECIE	% MG	% LACTOSA	% PROTEÍNA	% MINERALES	% AGUA
Humana	4.4	6.9	1	0.20	87.5
Vaca	3.5	4.7	3.2	0.72	88
Búfala	6.9	5.2	3.7	0.79	84

Fuente: (Gomez and Mejia, 2005)

Las concentraciones de estos nutrientes están sujeta a grandes oscilaciones, un ejemplo de ello es en la primera etapa de lactancia, donde se obtiene el calostro, el cual posee una extraordinaria riqueza vitamínica, de 5 a 7 veces más vitamina C y de 3 a 5 veces más vitaminas B2, D y E que la leche normal.

También influye la época del año, tiempo atmosférico, ambiente y la alimentación; este último factor repercute especialmente en los carotenos y en la vitamina A como consecuencia de la abundante ingestión de carotenos cuando la base de la alimentación son forrajes frescos.(Gomez & Mejia, 2005)

Lo anterior no solo nos permite conocer la calidad de la materia prima, Leche, para determinado proceso sino, que en el caso particular esta composición será fundamental para el cálculo de calor específico de la misma, como se verá más adelante.

4.3.1. Producción Láctea

La industrialización y procesamiento de las materias primas, tiene como objetivo la prolongación o conservación de la vida útil, la transformación u obtención de derivados con nuevas características, darle valor agregado y buscar siempre la forma de garantizar la inocuidad del producto, con el fin de comercializarlo bajo los requisitos que la norma exija atendiendo a la responsabilidad social y seguridad alimentaria.

La cadena de producción láctea tiene una gran cantidad de productos derivados, al igual que la comercialización de leche ha sido ampliamente diversificada debido a los requerimientos del consumidor, encontrando en el mercado diferentes tipos de leche como: entera, deslactosada, desnatada, semidescremada, light, saborizada, en polvo, vaporizada, enriquecida entre otros y una amplia gama de subproductos que incluye bebidas fermentas, quesos frescos, quesos madurados entre otros.

Dichas transformaciones se encuentran abarcadas fundamentalmente en tres operaciones unitarias: transferencia de calor, transferencia de masa y transferencia de cantidad de movimiento, en este trabajo nos centraremos específicamente en transferencia de energía en forma de calor.

4.4. PROCESOS INDUSTRIALES.

En general un proceso se define como la aplicación de una serie de etapas lógicas y ordenadas que persiguen un objetivo común, si a este término se le agrega la palabra industrial entonces se refiere a cualquier conjunto de actividades o series de trabajos físicos y/o químicos que provoca un cambio físico o químico en la materia prima con la finalidad de generar un producto de valor comercial (Baca Urbina, Gabriel, 2007).

Por tanto, como resultado de un proceso productivo encontramos el bien o servicio, dependiendo de qué es lo que vayamos a transformar, el caso de un bien se obtiene de transformar la materia prima que entra al proceso y en el caso de un servicio cuando hay procesamiento de información. En todo proceso industrial hay empleo de insumos y de suministros que son sometidos a una transformación para generar productos, subproductos, residuos, y algunos productos que no cumplen con los requerimientos establecidos y son introducidos de nuevo al proceso. Para dominar un proceso de transformación se requiere un amplio conocimiento de distintas ciencias, que son

principalmente dominadas por ingenieros industriales, que darán lugar a la formación de nuevos productos que satisfagan necesidades humanas y ayuden a resolver problemas comunes en una sociedad, tales como salud, alimentación, etc.

Como respuesta a esta problemática, existencia de una alta dependencia tecnológica, se requiere la generación de nuevas y propias tecnologías como lo hacen los países desarrollados. En consecuencia, los ingenieros industriales son los responsables de que un país pueda salir de esa dependencia, ya que cuenta con diversos conocimientos tanto en ciencias como en procesos industriales, permitiendo no solo modificar los procesos para mejorarlos, sino también lograr la generación de nuevas tecnologías.

- En las industrias lo que se pretende en un proceso productivo es agregar valor a la materia prima empleada para la generación de un determinado producto, de una forma que se minimicen los costos de operación, optimizando los recursos con el uso de equipos y tecnologías que aumenten la productividad en cada una de las actividades realizadas de forma ordenada, además de ayudarse de los conocimientos y dominio de ingenieros industriales, los que son esenciales para proponer modificaciones en cualquier sentido, siempre con el objetivo de mejorar la eficiencia del proceso.

4.4.1. Análisis de procesos industriales

El análisis de un proceso permite responder algunas preguntas importantes, como las siguientes: ¿Cuántos clientes por hora puede manejar el proceso? ¿Cuánto tiempo tomará prestarle un servicio a un cliente? ¿Qué cambios se necesitarán en el proceso para ampliar la capacidad? ¿Cuánto cuesta el proceso? Un primer paso difícil, pero importante, en el análisis del proceso es definir con claridad el propósito del análisis. ¿El propósito es resolver un problema? ¿Es comprender mejor el efecto de un cambio en la forma en que se harán negocios en el futuro? (Chase, Richard B., 2005).

Para desarrollar el análisis de un proceso se debe, no solo responder a las preguntas planteadas anteriormente, sino realizar una evaluación detallada, que permita la recopilación de información y apoyo con históricos de procesos que se analiza y claramente surgieran nuevos y más cuestionamientos relacionados con los indicadores de las mismas variables.

El tiempo es uno de los principales factores a tener en cuenta en un sistema de producción, Pues las oscilaciones del mismo pueden repercutir en el aumento de los costos al producir una unidad, es decir, si los procesos son muy lentos, los costos de producir una unidad se elevarían y si es muy rápidos también tendrían la misma tendencia, es por eso que en la actualidad se procede aplicar un balance de línea que puede ser ajustado para elegir de la mejor manera las tareas dentro de cada departamento.

Por otra parte, la capacidad del proceso, es el volumen de unidades producido en un tiempo determinado o también llamado tiempo del proceso. No obstante, dicha capacidad está en función de otros indicadores como lo es la fluidez, cuellos de botella, las máquinas, factor ritmo, el grado de mantenimiento de las máquinas, capacidad del personal, Layout, etc., y estas se emplean y tratan para lograr la denominada productividad, la que en consecuencia permitirá aumentar la capacidad de un proceso.

Es entonces cuando surge la pregunta, ¿La productividad afecta la capacidad de un proceso? Esto es interesante, sobre todo si se desea encontrar una relación. En sí, todo proceso posee una productividad, que nunca es constante y tal fluctuación depende de los indicadores que la rigen. De hecho, la productividad de un proceso es la relación entre los insumos y la producción, por lo que esta es una evidente respuesta, pues entre más productivo sea un proceso, mayor es su capacidad para cubrir una demanda específica, aprovechando mejor los recursos y utilizando el mínimo necesario de ellos

Sin embargo, hay que hacer claridad que un volumen elevado de producción, no necesariamente indica productividad, así como tampoco un proceso donde se transforma la materia prima usando los recursos hasta agotarlos en tiempos no óptimos, se deben evaluar todos los indicadores en conjunto, pues el costo del proceso dependerá entonces de la correcta administración y de la eficiente toma de decisiones dentro de la gerencia de operaciones, es por ello que las empresas periódicamente se someten a evaluaciones con el objetivo de ser cada día más productivos y evitar el fracaso por elevados costos de producción.

4.4.1.1. Medición del desempeño del proceso.

La medida del desempeño del proceso le proporciona al administrador de operaciones información de que tan productivamente está operando un proceso en la actualidad o si este debe mejorar su productividad a lo largo del tiempo (Chase, Richard B., 2005).

Con esta información se puede expresar si el sistema productivo está funcionando tal como se había previsto, además se puede controlar y manipular dicha información con la ayuda de ciertas herramientas que permiten un manejo apropiado para el mejoramiento del sistema en base a los resultados obtenidos.

La mayoría de las empresas utilizan una estrategia para encontrar mejoras, el benchmarking o punto de comparación, es una de ellas, en el cual una determinada empresa compara su producto o servicio con los de otra compañía para determinar si poseen o no ventajas competitivas, si han mejorado o no, si se puede mejorar o el producto es totalmente obsoleto. De esta manera, se puede afirmar qué tanto se ha logrado mejorar en el producto, y esta mejora es directamente proporcional con la calidad del proceso y qué tan productivo es.

Algunas de las ventajas competitivas de las empresas vienen determinadas por la mezcla óptima de la mercadotecnia, producto, precio, plaza y promoción. Una buena mezcla de cada uno de estos aspectos proporcionará al producto la calidad requerida y esperada por el cliente, de modo que puede desplazar a los de la competencia, colocando a la empresa en una posición ventajosa.

- Algunas de las ventajas competitivas que puede tener una empresa son:
- Certificaciones de calidad como las normas ISO.
- Aplicación de herramientas de calidad.
- Un buen servicio de atención al cliente.
- Precio menor al de la competencia.
- Puntos de ventas estratégicos donde concurren muchas personas que puedan optar por la compra del producto.
- Control en cada parte del proceso para el aseguramiento de la calidad total.

La productividad es una medida de desempeño que varía en el tiempo dada la correlación existente entre los elementos para su cálculo. También es conocido por muchas empresas el cálculo de la productividad parcial, que suministra una medida del desempeño de una parte del proceso y permite una valoración más detallada.

Por tanto, el análisis y la evaluación mediante diagnóstico de un proceso productivo tienen la finalidad de encontrar un comportamiento óptimo que, de vida a la persona jurídica mediante un alto rendimiento, bajos costos, una productividad muy alta y por supuesto más utilidades. Esto implica que durante toda la evaluación se deberá aplicar cada herramienta de la forma más objetiva posible, sin dejar de perseguir los objetivos planteados como lo afirma Chase 2005: Un primer paso difícil, pero importante, en el análisis del proceso es definir con claridad el propósito del análisis.

4.4.1.2 Importancia de las mediciones.

La importancia de estas mediciones, según James L. Riggs 2009, es que: el análisis de métodos y la medición del trabajo son los pilares que sostienen el diseño de sistemas de trabajo. La finalidad del diseño del trabajo es encontrar las maneras más eficientes de realizar las funciones necesarias. En un contexto de producción, esto implica el análisis de los sistemas de trabajos actuales y propuestos para lograr una transformación óptima de los insumos en productos.

Actualmente las industrias se preocupan por la optimización de los recursos con los que cuentan. Para ello recurren a las mediciones para evaluar el funcionamiento de todos los departamentos de producción y de gerencia en base a los estándares que deberían de estarse cumpliendo. Riggs le da importancia a estas mediciones afirmando que son pilares que sostienen el diseño de los sistemas de trabajo, y que además su objetivo es encontrar las maneras más eficientes de realizar las funciones necesarias, por ende, hoy en día cualquier ente que desee alcanzar mejoras y sustituir un viejo sistema de trabajo por uno nuevo en el que se realicen controles mediante mediciones, tendrá que entender esta importancia e incluirla en el pensamiento de los individuos que conforman toda la empresa.

4.4.1.3. Objeto del Análisis de Procesos.

El objetivo de un análisis de proceso es mejorar el orden sucesivo o el contenido de las operaciones necesarias para realizar una tarea. (Riggs, James L., 2009).

El objeto señalado por Riggs, afirma que el análisis de un proceso tiende a encontrar el mejoramiento del orden sucesivo o el contenido de las operaciones que se necesitan para realizar una determinada tarea. Se puede afirmar entonces que para realizar esta acción se necesita una alta concentración y un vasto conocimiento al respecto.

La persona encargada de realizar esta función deberá conocer muy bien el proceso dentro de las instalaciones a tal grado que pueda ser capaz de aportar recomendaciones para el mejoramiento de las actividades incluidas en el sistema y determinar cuáles deben ser eliminadas.

El estudio de tiempos, la medición y el muestreo del trabajo, son algunas de las herramientas con las que el analista cuenta para la realización de su actividad. Al aplicarlas se debe tener el cuidado de medir bien y utilizar las unidades de medida correctas.

4.4.1.4. Reducción del tiempo del proceso.

Los procesos críticos están sujetos a la bien conocida regla de que el tiempo es dinero. Por ejemplo, cuanto más tiempo espere un cliente, más probabilidad hay que cambie a otro proveedor. Cuanto más tiempo permanezca el material en inventario, mayor es el costo de la inversión. Por desgracia, los procesos críticos a menudo dependen de recursos limitados específicos, lo que da como resultado cuellos de botella. El tiempo de rendimiento puede reducirse en ocasiones sin comprar un equipo adicional (Chase, Richard B., 2005).

Chase 2005, afirma que el tiempo es una variable muy importante que influye en el comportamiento tanto de los ingresos como de los costos en un proyecto. Está confirmado hasta el día de hoy que un proceso puede ser optimizado a un tiempo estándar para lograr una disminución de los costos de producir una unidad y aumentar la probabilidad de que un cliente quede satisfecho con el producto o servicio. A ningún cliente le gusta esperar para recibir un servicio o un producto por el cual ya ha pagado, esto trae como consecuencia que la empresa pierda la oportunidad de vender lo que

ofrece a este cliente en un futuro próximo. Un solo cliente insatisfecho puede llegar a darle mala “fama” a la empresa o producto que posea una marca determinada, eso le costaría muy caro a la empresa proveedora del bien tangible o intangible.

En un proceso, cuando los tiempos entre las actividades no están coordinados, tienden a estancamientos que provocan los llamados cuellos de botella. Cuando los estándares de tiempo no se cumplen, sucede que el proceso se torna más largo y los costos por retraso en el tiempo reportan magnitudes muy altas. Esto no es conveniente para ninguna compañía, y por eso la evaluación de un proceso trata de confirmar si se cumplen o no los estándares.

Los recursos limitados por área de producción influyen en la creación de los cuellos de botella que retrasan el sistema, el cliente queda insatisfecho, no se cumple con la demanda, los costos se elevan, aumentan los tiempos muertos, baja la productividad de la empresa, se agotan los recursos y se pierde dinero por toda esta mala administración y balanceo de las líneas de producción. La situación se torna más preocupante cuando no se logra un control total sobre todos estos problemas, y si no se toman medidas de corrección que se ajusten a esa situación, se vuelve aún más difícil de resolver.

El tiempo de operación del proceso se puede disminuir aplicando estrategias de control. En muchas ocasiones, las compañías invierten en nuevas maquinarias para disminuir los tiempos de producción sin tomar en cuenta que esto también se puede hacer sin necesidad de una nueva máquina. La ingeniería concurrente aporta una solución a este tipo de problemas. Actualmente, las empresas más exitosas no son las que poseen muchas máquinas, sino aquellas que han realizado los estudios analíticos antes de invertir en una sin apartar la posibilidad de aplicar otra opción.

4.5. TRANSFERENCIA DE CALOR.

La transferencia de calor trata de la razón a la que ocurre una transferencia de un sistema a otro, recordemos que el concepto de termodinámica por otra parte trata de la cantidad de transferencia de calor a medida que un sistema pasa por un proceso de un estado de equilibrio a otro y no hace referencia a cuánto durará ese proceso, lo que quiere decir que un análisis termodinámico sencillamente nos dice cuánto calor debe transferirse para

que se realice un cambio de estado específico con el fin de satisfacer el principio de conservación de la energía.(Cengel, 2007)

Por lo tanto, el estudio de la transferencia de calor no puede basarse sólo en los principios de la termodinámica. Sin embargo, las leyes de la termodinámica ponen la estructura para la ciencia de la transferencia de calor. En la primera ley se requiere que la razón de la transferencia de energía hacia un sistema sea igual a la razón de incremento de la energía de ese sistema. En la segunda ley se requiere que el calor se transfiera en la dirección de la temperatura decreciente y el requisito básico para la transferencia de calor es la presencia de una diferencia de temperatura. No puede haber transferencia neta de calor entre dos medios que están a la misma temperatura. La diferencia de temperatura es la fuerza impulsora para la transferencia de calor.

4.5.1. Modos de Transferencia de Calor

Se conocen tres modos de transferencia:

- ✓ por conducción o también llamado por difusión: en este caso el medio por el que se trasfiere la energía se mantiene estacionario o inmóvil respecto a la dirección de la transferencia.
- ✓ por convección: En este caso la transferencia está asegurada por el desplazamiento de una parte de la matriz que transporta una cantidad de calor
- ✓ por radiación: este tipo, se realiza por propagación de una onda electromagnética que no necesita soporte material (Jeantet, Romain; roignant, Michael; Brulé, 2005)

a. Transferencia de calor por conducción

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres, y la rapidez o razón de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y el material de que esté hecho, así como de la diferencia de temperatura a través de él. (Cengel, 2007)

b. Ley de Fourier

“La ley de la conducción térmica de Fourier establece que la tasa de tiempo de transferencia de calor a través de un material es proporcional al gradiente negativo en la temperatura y al área. Ingeniería termal”(Connor, 2020)

los procesos de transferencia de calor se pueden cuantificar en términos de ecuaciones de velocidad apropiadas. La ecuación de velocidad en este modo de transferencia de calor se basa en la ley de conducción térmica de Fourier. Esta ley establece que la tasa de tiempo de transferencia de calor a través de un material es proporcional al gradiente negativo en la temperatura y al área, en ángulo recto a ese gradiente, a través del cual fluye el calor. Su forma diferencial es:

$$q = -K \Delta T \quad (1)$$

Donde: q es el vector de la densidad de flujo de calor, K es el coeficiente térmico de la conductividad del material y ΔT el gradiente de temperatura.

De igual forma, Así como con esta ley se determina el flujo de calor a través de una lámina o pared, también se puede determinar la diferencia de temperatura, cuando se conoce q . (Fennema & Tannenbaum, 1992)

4.5.2. Intercambiadores de calor

Los intercambiadores de calor son dispositivos que permiten transferir calor de un fluido a otro, a través de un metal. Entre las principales razones por las que se utilizan los intercambiadores de calor se encuentran las siguientes:

- Calentar un fluido frío mediante un fluido con mayor temperatura.
- Reducir la temperatura de un fluido mediante un fluido con menor temperatura.
- Llevar al punto de ebullición a un fluido mediante un fluido con mayor temperatura.
- Condensar un fluido en estado gaseoso por medio de un fluido frío.
- Llevar al punto de ebullición a un fluido mientras se condensa un fluido gaseoso con mayor temperatura.

Debe quedar claro que la función de los intercambiadores de calor es la transferencia de calor, donde los fluidos involucrados deben estar a temperaturas diferentes. Se debe

tener en mente que el calor sólo se transfiere en una sola dirección, del fluido con mayor temperatura hacia el fluido de menor temperatura.

4.5.2.1 Tipos de intercambiador según su construcción

Hay dos tipos de intercambiador: carcaza y tubo, plato o placas.

El primero es el tipo de intercambiador con la configuración más simple, Este tipo de intercambiador consiste en un conjunto de tubos en un contenedor llamado carcaza. El flujo de fluido

dentro de los tubos se le denomina comúnmente flujo interno y aquel que fluye en el interior del contenedor como fluido de carcaza o fluido externo. En los extremos de los tubos, el fluido interno es separado del fluido externo de la carcasa por la(s) placa(s) del tubo. Los tubos se sujetan o se sueldan a una placa para proporcionar un sello adecuado. En sistemas donde los dos fluidos presentan una gran diferencia entre sus presiones, el líquido con mayor presión se hace circular típicamente a través de los tubos y el líquido con una presión más baja se circula del lado de la cáscara. (Jaramillo, 2015)

Mientras que el intercambiador de calor de tipo plato, como se muestra en la figura 2 consiste de placas en lugar de tubos para separar a los dos fluidos caliente y frío Los líquidos calientes y fríos se alternan entre cada uno de las placas y los baffles dirigen el flujo del líquido entre las placas. Ya que cada una de las placas tiene un área superficial muy grande, las placas proveen un área extremadamente grande de transferencia de térmica a cada uno de los líquidos. Por lo tanto, un intercambiador de placa es capaz de transferir mucho más calor con respecto a un intercambiador de carcaza y tubos con volumen semejante, esto es debido a que las placas proporcionan una mayor área que la de los tubos. El intercambiador de calor de plato, debido a la alta eficacia en la transferencia de calor, es mucho más pequeño que el de carcaza y tubos para la misma capacidad de intercambio de calor.

4.5.2.2. Tipos de intercambiador según su operación

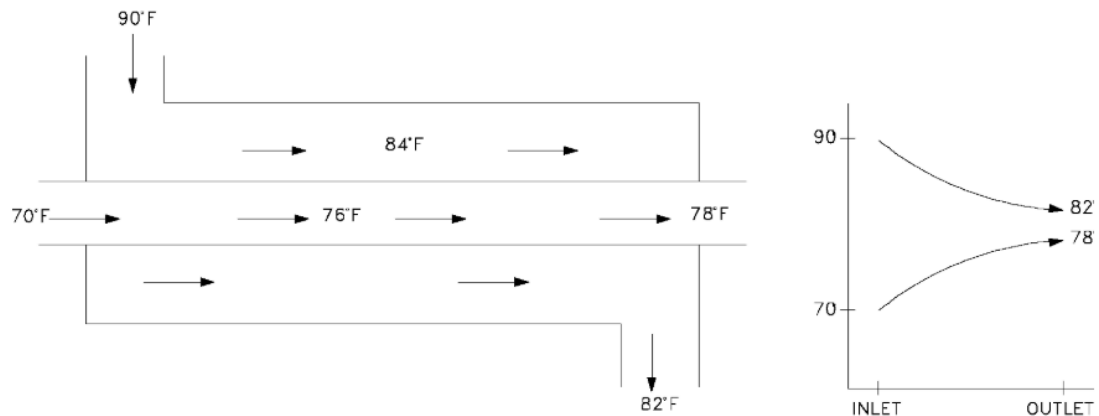
Ya que los intercambiadores de calor se presentan en muchas formas, tamaños, materiales de manufactura y modelos, estos son categorizados de acuerdo con características comunes. Una de las características comunes que se puede emplear es

la dirección relativa que existe entre los dos flujos de fluido. Las tres categorías son: Flujo paralelo, Contraflujo y Flujo cruzado.

a) Flujo paralelo.

Como se ilustra en la figura (3), en el flujo paralelo los dos fluidos entran al intercambiador por el mismo extremo y estos presentan una diferencia de temperatura significativa. Como el calor se transfiere del fluido con mayor temperatura hacia el fluido de menor temperatura, la temperatura de los fluidos se aproxima la una a la otra, es decir que uno disminuye su temperatura y el otro la aumenta tratando de alcanzar el equilibrio térmico entre ellos. Debe quedar claro que el fluido con menor temperatura nunca alcanza la temperatura del fluido más caliente.

Figura 4. Intercambiador de flujo paralelo

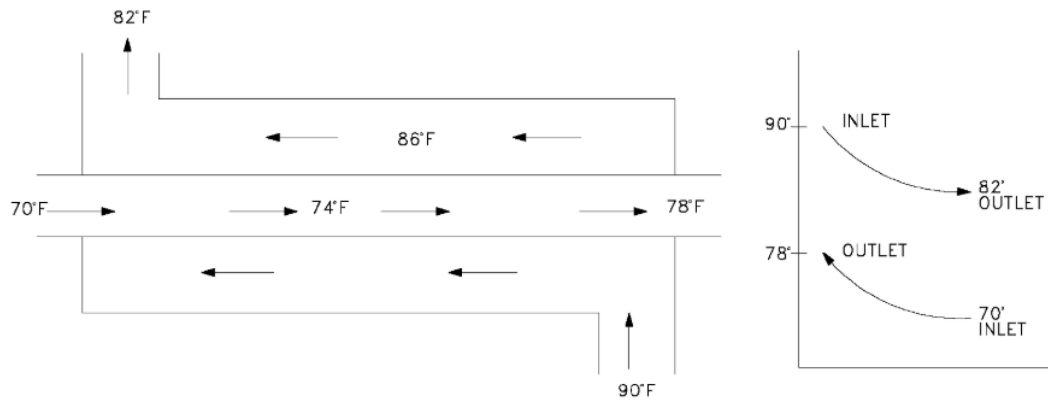


Fuente:(Jaramillo, 2015)

b) Contraflujo

Se presenta un contraflujo cuando los dos fluidos fluyen en la misma dirección, pero en sentido opuesto. Ya que el fluido con menor temperatura sale en contraflujo del intercambiador de calor en el extremo donde entra el fluido con mayor temperatura, la temperatura del fluido más frío se aproximará a la temperatura del fluido de entrada.

Figura 5. Intercambiador de contra flujo

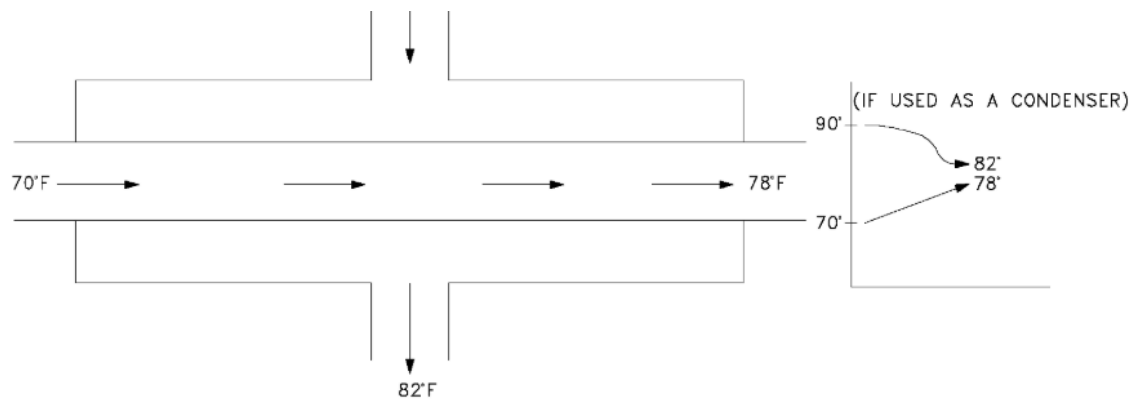


Fuente:(Jaramillo, 2015)

c) Flujo cruzado

En este, uno de los fluidos fluye de manera perpendicular al otro fluido, esto es, uno de los fluidos pasa a través de tubos mientras que el otro pasa alrededor de dichos tubos formando un ángulo de 90°. Los intercambiadores de flujo cruzado son comúnmente usados donde uno de los fluidos presenta cambio de fase y por tanto se tiene un fluido pasado por el intercambiador en dos fases bifásico.

Figura 6. Intercambiador de flujo cruzado



Fuente: (Jaramillo, 2015)

4.6. MARCO LEGAL

Para el desarrollo de la presente propuesta se tendrá en cuenta la siguiente normatividad:

- **Decreto 2838 de 2006.** Donde se modifican parcialmente el Decreto 616 del mismo año las buenas prácticas ganaderas en la producción de leche.
- **Resolución número 02310 de 1986.** Regula lo concerniente a procesamiento, composición, requisitos, transporte y comercialización de los derivados lácteos.
- **Resolución 2674 de 2013.** Esta resolución establece los requisitos sanitarios que debe cumplir toda empresa dedicada a la fabricación, procesamiento, preparación, envasado, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de alimentos y materias primas de alimentos y los requisitos que deben cumplirse para obtener la notificación, permiso o registro sanitario según el riesgo en salud pública (Resolución 2674, 2013).
 - **Resolución 2115 de 2007.** La presente resolución tiene por objeto establecer el sistema de control y vigilancia que debe aplicarse para garantizar la calidad del agua para consumo humano, señalando las características (físicas, químicas, microbiológicas), instrumentos básicos, procesos de control y frecuencias a realizar (Resolución 2115, 2007).
- **Resolución 748 de 2020.** En la cual se establece el protocolo de bioseguridad que deben adoptar las industrias que elaboren productos alimenticios, bebidas y sus relacionados, con el fin de controlar y llevar un adecuado manejo de la pandemia por Covid-19, previniendo su transmisión (Resolución 748, 2020).
- **Resolución 666 de 2020.** En esta resolución se emite el protocolo que se deben adoptar en las actividades económicas, sociales y de administración pública a razón de las medidas de bioseguridad que ayuden a minimizar los factores que puedan generar la transmisión del Covid-19, y los cuales deberán ser implementados (Resolución 666, 2020).
- **ISO 9001.** Esta norma Internacional se enfoca en la obtención de la calidad en organizaciones, mediante la implementación de un Sistema de Gestión de la calidad (SGC). La implementación del SGC basado en esta Norma internacional presenta beneficios potenciales para una organización como la capacidad de proporcionar

regularmente productos y servicios que satisfagan las necesidades del cliente y los requisitos legales y reglamentarios aplicables, abordar los riesgos y oportunidades asociadas con su contexto y objetivos, entre otros (ISO 9001, 2015).

- **ISO 22000.** Por medio de la presente norma se establecen los requisitos para implementar un Sistema de Gestión de Seguridad Alimentaria, que incorpora las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y el Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP), con el fin de garantizar la seguridad e inocuidad durante toda la cadena de suministro pudiéndose demostrar que los productos que se suministran cumplen con los requisitos de sus clientes, así como los requisitos reglamentarios en materia de seguridad alimentaria (ISO 22000, 2005).

5. METODOLOGÍA

A continuación, se describen las actividades a desarrollar para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos planteados:

Para el alcance del primer objetivo: Realizar un diagnóstico de las condiciones actuales en el manejo de la reconstitución de la leche en polvo en la empresa *Freskaleche S.A.S.*

5.1. REALIZAR UN DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES ACTUALES EN EL MANEJO DE LA RECONSTITUCIÓN DE LA LECHE EN POLVO EN LA EMPRESA FRESKALECHE S.A.S.

En esta actividad se realizará según la metodología propuesta por Contreras, (2014), con algunas modificaciones. Se construirá un instrumento para recolectar información referente a: Cantidad de leche reconstituida por mes, seguimiento a la línea de proceso para conocer etapas, movimientos y distancias recorridas por cada operación y se consignará en un flujograma empleando la simbología de ASME.

Con el fin de conocer los flujos que maneja la línea: materias primas, número de operarios, tiempos, movimientos entre otros, se recolectara la información mediante observación directa del proceso en diferentes momentos durante una semana. Registrando en un plano de áreas los recorridos que se hacen en el proceso actual. Con la información recolectada se realizará el análisis respectivo para realizar la propuesta del montaje de la línea de leche en polvo reconstituida.

Los datos recolectados se tabularán, graficaran y analizaran aplicando estadística descriptiva para la toma de decisiones.

Para el alcance del segundo objetivo: “*Realizar cálculos ingenieriles para la línea de reconstitución de leche en polvo de Freskaleche S.A.S.*” de llevará a cabo las siguientes actividades:

5.2. ELABORACIÓN DE LA PROPUESTA PARA EL MONTAJE DE LA LÍNEA DE RECONSTITUCIÓN DE LECHE EN POLVO EN *FRESKALECHE S.A.S.*

Con base en los resultados obtenidos del diagnóstico se plantearán diversas propuestas para el montaje de la línea con la participación de los operarios, jefe de producción y la gerencia como fuente de información primaria a partir del conocimiento y experiencia en el manejo de la línea de recepción de leche cruda.

Se empleará la técnica de Ishikawua para identificar las posibles alternativas de solución y sus causas para las alternativas propuestas.

De otra parte, se evaluarán los costos de las propuestas de montajes que resulten, dejando plasmadas las propuestas de montaje en una matriz, donde se indique la actividad a alcanzar, el costo de inversión, el tiempo de alcance de dicha propuesta (corto, mediano y largo plazo) y el responsable de llevar a cabo dicha actividad.

Se realizará el cálculo del área que ocupará la línea de leche en polvo reconstituida mediante el método de Gerchete.

Finalmente se definirá la propuesta de montaje más viable teniendo en cuenta los costos de inversión, y las distancias de recorrido.

La propuesta será socializada a los directivos de *Freskaleche S.A.S.* mostrando las ventajas del posible montaje de la línea de reconstitución de la leche en polvo, y obtener su aprobación e inicio de la ejecución a corto plazo y proyección de las acciones de mediano y largo plazo.

5.3. ESTABLECIMIENTO CÁLCULOS INGENIERILES PARA LA PROPUESTA DEL MONTAJE LA LÍNEA DE LECHE EN POLVO RECONSTITUIDA

Para elaborar la propuesta del montaje de la línea de leche en polvo reconstituida se realizarán cálculos ingenieriles que abarcarán: Los cálculos de balance energía con el fin de estimar el número de placas que se requerirán para poner en funcionamiento el intercambiador de calor que se encuentra sin uso y adaptarlo a las necesidades de la línea. De otra parte, se incluirá dentro de la propuesta el diseño de la línea con la distribución de equipos y áreas requeridas para su puesta en marcha, estimando costos

para su posterior socialización a la gerencia y jefe de producción de la empresa *Freskaleche S.A.S.*

5.3.1. Cálculos ingenieriles para el intercambiador de calor.

Los cálculos ingenieriles necesarios para la línea de la leche en polvo reconstituida, serán los balances de energía y de materia basados en la primera ley de la termodinámica o conservación de la energía. Se debe obtener datos, según los resultados del diagnóstico, así mismo, se requiere conocer la composición química de la leche en polvo reconstituida.

Para la determinación de la cantidad de calor a remover en la leche reconstituida, se trabajará este proceso como un sistema cerrado estacionario sin trabajo, empleando la siguiente expresión.

$$q = m C_p \Delta T \quad (1)$$

Fuente: (Cengel, 2007)

Donde; m es la masa de la leche, C_p es la capacidad calorífica y ΔT es el diferencial de temperatura de salida y de entrada de la leche al intercambiador

Para la determinación de C_p se empleará el modelo matemático dependiente de la temperatura, para un valor más acertado, para ello se empleará la ecuación de Choi y Okis (1986):

$$C_p = \sum_{i=1}^n C_{pi} X_i \quad (2)$$

Donde X_i es la fracción del componente i-ésimo, n es el número total de componentes, y C_{pi} es el calor específico del componente z-ésimo. Se empleará el calor específico de los componentes puros en función de la temperatura, según la tabla A.2.9. del libro de Fennema, (Introducción a la Ingeniería de Alimentos), dichos coeficientes se programarán en una hoja de cálculo para predecir el calor específico a la temperatura del proceso de Freskaleche (Fennema and Tannenbaum, 1992)

Para la determinación del área necesaria para remover el calor calculado en la ecuación (1), se usará la siguiente ecuación:

$$q = -kA\Delta T \quad (3)$$

$$A = -\frac{q}{k\Delta T} \quad (4)$$

Para determinar K (conductividad térmica) de la leche en función de la temperatura, se emplea el modelo matemático de Choi y Okos (1986):

$$K = \sum_{i=1}^n k_i Y_i \quad (5)$$

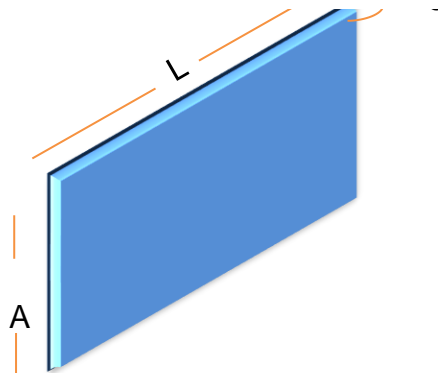
Donde: n indica la cantidad de componentes del alimento, K es la conductividad térmica del componente Z-ésimo, Y_i es la fracción en volumen del componente Z-ésimo, que es determinada así:

$$Y = \frac{X_i/\rho_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{\rho_i}\right)} \quad (6)$$

Donde: X_i es la fracción en peso y ρ es la densidad en (kg/m^3) del componen z-ésimo, los coeficientes de conductividad a emplear, estarán contenido en la tabla A.2.9 del libro Introducción a la ingeniería de alimentos, los cuales se deberá programar en una hoja de cálculo.(Fennema y Tannenbaum, 1992)

Después de determinar el área de transferencia o intercambio de calor, se debe hallará el área de las placas del intercambiador de calor para determinar el número de placas necesarias en el proceso.

Figura 7 Dimensiones de un plato del intercambiador de calor



$$A_{plato} = ((L * e) * 2) + ((L * A) * 2) + ((A * e) * 2) \quad (7)$$

Después, para determinar el número de placas se debe dividir el área requerida para realizar el intercambio de calor (resultado de la ecuación 4) en el área del plato, así:

$$\# \text{ de platos} = \frac{A}{A_{plato}} \quad (8)$$

Finalmente, se calcula la diferencia de temperatura media logarítmica (LMTD), para flujo paralelo y contra flujo, esto determinará la fuerza impulsora de la temperatura para la transferencia de calor en los intercambiadores de calor.

$$LMTD = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln \left(\frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_2} \right)} \quad (9)$$

$$LMTD = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln \left(\frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_2} \right)} \quad (10)$$

Donde: T_1 y T_2 es la temperatura de entrada y salida de la leche y t_1 y t_2 la temperatura de entrada y salida del agua, las ecuaciones 6 y 7 para flujo paralelo y contra corriente respectivamente.

5.3.2. Propuesta de diseño de la línea de leche en polvo reconstituida.

Con ayuda del plano de la empresa se trazará el recorrido el montaje de la línea de reconstitución de leche en polvo de *Freskaleche S.A.S*, optimizando los recursos, espacios, tiempos, movimientos y mejorar la producción de leche en polvo reconstituida en la empresa.

Seguidamente se realizará un análisis de los costos de los equipos incluyendo el consumo energético que serían requeridos en la instalación y cuáles de los equipos que tiene la empresa pueden servir.

5.3.3. Ejecución de acciones a corto plazo en el montaje de la línea de leche en polvo reconstituida

Una vez socializada la propuesta a la Alta dirección de la empresa y obtención de su visto bueno para su ejecución, se dará inicio a la ejecución de las acciones propuestas para el montaje de la línea a corto plazo. Una vez finalizada su ejecución se presentará un informe de socialización mostrando los resultados alcanzados en el montaje de la línea de leche en polvo reconstituida.

Para conocer la mejora en los tiempos y movimientos, se realizará un nuevo análisis con el montaje de la línea de reconstitución de leche en polvo en *Freskaleche S.A.S.*

8. PRESUPUESTO.

A continuación, se presenta el presupuesto necesario para llevar a cabo la ejecución del proyecto de Trabajo de grado en la modalidad de práctica empresarial.

Tabla 3. Presupuesto Global de la Propuesta

N°	Rubros	Fuentes		Total (\$)
		UniPamplona (\$)	Externas (\$)	
1	Personal	11'653.333	3'634.100	15'287.433
2	Materiales y suministros		1'170.000	1'170.000
	TOTAL (\$)	11'653.333	4'804.100	16'457.433

Tabla 4. Descripción de personal

#	Nombre del Investigador	Rol	Responsabilidades en el Proyecto	Dedicación en meses	Dedicación Hora/semana (laborales)
1	Mariana León	Estudiante de Pregrado	Desarrollar las actividades planteadas en la propuesta de trabajo de grado	4	40
2	Carolina Pabón Mora	Director (a)	Dirigir y orientar el trabajo de grado	4	5
3	Luz Alba Caballero Pérez	Co- Director (a)	Asesorar el trabajo de grado	4	2

Tabla 5. Costo por fuente de financiación del personal relacionado en la tabla

#	UniPamplona (\$)	Externas (\$)	Total(\$)
1	----	3'634.100	3'634.100
2	10'800.000		10.800.000
3	853.333		853.333
Total(\$)	11'653.333	3'634.100	15'287.433

Tabla 6. Descripción de materiales y suministros

#	Nombre del material y/o suministro	N° de horas de uso (h)	Valor/ hora del equipo (\$)	Cantidad	Valor total del material y/o suministro (\$)
1	Internet	300	500		150.000
2	Impresiones			300	60.000
3	Transporte			160	960.000
TOTAL (\$)					1'170.000

7. REFERENTES BIBLIOGRAFICOS

- Alais, C. (1985). Ciencia de la leche. Principios de técnicas lecheras. *Editorial Continental*, 14(6), 591.
https://books.google.com.co/books?id=bW_ULacGBZMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Alava Merino, A. A. (2002). *Procesamiento de productos lácteos;Automatización de equipos*.
- Angamarca, P., Antonio, D., Vasco, C., & Paredes, P. P. (2020). *DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE OPTIMIZACIÓN A TRAVÉS DE BALANCE DE EXERGÍA EN LA PLANTA DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE “ ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI (RIOBAMBA –. 1.*
- Bárbara, M., Rodríguez, R., Rodríguez, J. L. M., Fonticiella, O. C., & Mestizo, R. (n.d.). Coraza Mediante El Metodo De Eficiencia – Numero Costos Usando Matlab Design of Shell and Tube Heat Exchangers By the Method of Efficiency - Number of Transfer Units and Cost Optimization Using Matlab. *Applied Energy*, 72–80.
- Cengel, Y. (2007). *Transferencia de calor y masa (3 era edic)*.
- Del, E., & Nevex, C. (2005). *Diseño de un plan de mejora para la línea de producción en los procesos de llenado, tapado y encajonado del cloro Nevex. Caso de estudio: Productos Halogenados Copalven C.A.*
- Fennema, O., & Tannenbaum, S. (1992). Introducción a la química de los alimentos. In *Química de los Alimentos*.
- Gomez, D. A., & Mejia, O. B. (2005). Composición nutricional de la leche de ganado vacuno. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 38–42.
- Guzmán-Zazueta, A. (2018). *Simulación y optimización del lavado de pasteurizadores de leche (simulation and optimization of cleaning of milk pasteurization equipments) Fouling and cleaning in dairy process View project Modelling of falling-film evaporators View project*. 9(2), 41–55.
<https://www.researchgate.net/publication/322962672>

DISEÑO DE PLAN DE MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE PRODUCCION DE YOGURT, QUESO DOBLE CREMA Y QUESO PASTEURIZADO EN LA EMPRESA SCALEA S.A.S, UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL SOGAMOSO 10 (2016).

<https://www.infodesign.org.br/infodesign/article/view/355%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/731%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/269%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/106>

Jaramillo, O. (2015). Intercambiadores De Calor. *Turbulence in Porous Media, 2007*, 7–11.

Martínez, C. (2014). Universidad Nacional Del Centro Del Peru. *Universidad Nacional Del Centro Del Centro De Posgrado*, 10–11.
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5992>

Orozco, L. G., & Urrego, A. I. C. (2007). Publicaciones e investigación revista especializada en ingeniería: journal specializing in engineering. *Publicaciones e Investigación*, 10(0), 95–114.
<http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1590/1937>

Pinto, A. (2017). *Sector lechero en Colombia: Potencial desperdiciado*.
<https://agronegocios.uniandes.edu.co/2017/09/22/sector-lechero-en-colombia-potencial-desperdiciado/#:~:text=el consumo nacional.,Los colombianos consumieron más de 1.050 millones de litros de,los 3.500 millones de USD.>

Secretaría Distrital de Salud de Bogotá. (2000). *Protocolos de Vigilancia en Salud Pública de la leche higienizada*. 1–15.
<http://www.saludcapital.gov.co/sitios/VigilanciaSaludPublica/Protocolos de Vigilancia en Salud Publica/Leche Higienizada.pdf>

Tamayo, E. T., Medianeja, Y. R., & Leyva, E. G. (2014). *Coeficientes de transferencia de calor experimental para el enfriamiento de licor en intercambiadores de placas*
Experimental heat transfer coefficients for the liquor cooling in plate heat exchanger

Métodos y Materiales. 17(1), 68–77.

Vald, T., Sur, A. I., & Universitaria, C. (2017). *Modelo computacional y metodología de optimización del funcionamiento de un intercambiador de calor de diseño compacto empleado como IHX en HTGR.* October, 1–17.