

Área de Conocimiento de Agricultura

DISEÑO TECNOLÓGICO DEL PROCESO DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE HELADO DE YOGUR

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Químico

Elaborado por:

Br. Ariana Janeri
Crespin Silva.

2018-0966U

Br. Kevin Fernando
Delgado Blanco.

2017-0126U

Tutor:

MSc. Ing. Luis Eduardo
Porras Álvarez.

Mayo 2025
Managua, Nicaragua

Agradecimientos

Agradezco con todo mi corazón a mi madre Janeth Silva y mi padre Víctor Crespín quienes con su esfuerzo me apoyaron y animaron en todo el camino. A mi hermano Erick Crespín por siempre darme una visión, guía y acompañamiento. Mi tío Carlos Silva por siempre ayudarme y explicarme cuando lo necesite. A mis primos Weslin y Catherine Rodríguez quienes con su energía me acompañaron desde largo y me inspiran a mejorar.

A mi novio por ser de apoyo en el desarrollo de este trabajo, quien con su inteligencia, comprensión y amor nos supo guiar a través de todo este proceso y siempre vio el lado bueno en cada dificultad que se nos presentó.

Agradezco a mis amigos quienes hicieron de este viaje educativo, un camino divertido y entretenido por el cual cruzar.

Agradezco a nuestro Tutor Ing. Luis Porras quien con su guía y apoyo brindado nos ayudó a desarrollar de la manera más eficiente posible este trabajo.

Ariana Janeri Crespín Silva.

Agradecimientos

Quiero agradecer mucho a mis padres por el apoyo completo que me dieron, desde el inicio hasta el final de este proceso, por hacer posible que nada me faltara y por todos los consejos y sugerencias que tanto ayudaron a formarme.

A mis hermanos que siempre estuvieron presentes en cada transición durante estos años de estudio; a mis familiares que me ayudaron siempre. A mi novia y pareja porque juntos nos apoyamos para poder terminar este trabajo.

Finalmente, a nuestro tutor que nos apoyó en este trabajo, a sus consejos y recomendaciones, por su paciencia siempre.

Kevin Fernando Delgado Blanco.

Dedicatoria

A mi querida mima, mi Abuela Irma Trujillo Silva, quien con mucho amor me cuidó desde mis primeros pasos, me acompañó cuando supe que ingresaría a esta alma mater, pero lamentablemente no pudo acompañarme en el final.

Ariana Janeri Crespín Silva.

Dedicatoria

A mis padres porque esto es fruto de ellos, ellos tienen más mérito en esto que yo.

Kevin Fernando Delgado Blanco.

Resumen

El presente trabajo es una propuesta de diseño tecnológico del proceso de una planta productora de helado de yogur, en el cual se evaluó las variables de operación tales como los flujos masico de cada materia prima a utilizar, la cantidad de energía requerida para llevar a cabo el proceso. También se elaboro los planos ingenieriles que representan la distribución de las áreas operativas y equipos, y se seleccionó los equipos necesarios para la producción.

Se decidió procesar 700lt de leche normalizada al 7% de grasa, con esto se obtuvo una mezcla de 855Kg con la adición de solidos lácteos no grasos. El índice de aireado se estableció en el 50% y la proporción de yogur y fruta es del 14.4% en masa de fruta respecto de la del yogur. Con esto se obtienen 978.3Kg o 1360.6L de helado.

Con este nivel de producción se hicieron los cálculos de balance de materia y energía en cada proceso y se seleccionó los equipos en función de estos resultados, estos equipos son: tanque mezclador, homogeneizador, pasteurizador, tanque mezclador enchaquetado, congelador continuo, dosificador, lavador de frutas, pelador y cortador de manzanas, triturador, marmita, cámara frigorífica y dos bombas de desplazamiento positivo. Con estos equipos seleccionados se logra procesar todo en 400 minutos (6.67 horas).

Se elaboró dos planos, uno sobre la distribución de las áreas de la planta y otro sobre la distribución de los equipos de producción, ambos siguiendo las normas del Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA 67.01.33:06).

Índice de contenido

I. Introducción.....	1
II. Objetivos	2
2.1. General	2
2.2. Específico.....	2
III. Marco teórico	3
3.1. Leche	3
3.2. Yogur.....	6
3.3. Helado.....	7
3.4. Balance de Materia	11
3.5. Balance de energía	13
3.6. Ecuaciones del flujo de fluidos	14
3.7. Transferencia de calor.....	16
3.8. Proceso productivo del helado de yogur	19
3.9. Diseño de áreas	28
IV. Resultados	30
4.1. Capacidad de producción	30
4.2. Pretratamiento de la leche integra	30
4.3. Descripción del proceso productivo de helado de yogur	33
4.4. Balance de masa del helado de yogur	41
4.5. Balance de energía	42
4.6. Tiempo de operación por cada etapa.....	43
4.7. Selección de equipos	45
4.8. Métodos de limpieza de los equipos	53

4.9. Planos ingenieriles	57
V. Conclusiones.....	60
VI. Recomendaciones	61
VII. Bibliografía	62
VIII. Anexos	69
Anexo A. Ilustración 8. Ficha técnica del cultivo igea YAU-0421, YAU-042.....	69
Anexo B: Balance de Materia en la primera etapa.....	70
Anexo C: Balance en la segunda etapa.....	71
Anexo D: Balance en la tercera etapa	74
Anexo E: Balance de energía primera etapa	75
Anexo F: Balance de energía en la segunda etapa	80
Anexo G: Balance de energía en la tercera etapa	82
Anexo H: Cálculo de longitud del tubo de sostenimiento.....	85

Índice de tablas

Tabla 1. Composición cuantitativa de la leche de vaca.....	3
Tabla 2. Principales características fisicoquímicas de la leche natural	4
Tabla 3. Composición típica del yogur	6
Tabla 4. Tipos de pasteurización en la industria láctea.....	27
Tabla 5. Masa de materia prima para la elaboración de yogur.....	33
Tabla 6. composición para la preparación de la fruta.....	38
Tabla 7. Balance de energía	42
Tabla 8. Distribución del tiempo de operación por etapa	43
Tabla 9. Características del tanque mezclador	45
Tabla 10. Características del homogeneizador	45
Tabla 11. Características del pasteurizador	46
Tabla 12. Características del tanque mezclador enchaquetado.....	47
Tabla 13. Características del congelador continuo.....	48
Tabla 14. Características del dispensador de frutas	48
Tabla 15. Características de la lavadora de fruta.....	49
Tabla 16. Características de pelador y cortador.....	50
Tabla 17. Características de la trituradora	50
Tabla 18. Características de marmita industrial	51
Tabla 19. características de cámara frigorífica industrial	51
Tabla 20. características de bomba de desplazamiento positivo	52
Tabla 21. Características de la caldera de vapor	52
Tabla 22. Descripción de lavado de equipos.....	56
Tabla 23. Calor específico de los ingredientes.....	75
Tabla 24. Fracción másica de los componentes del yogur.....	77
Tabla 25. Fracción másica de los componentes de preparación de la manzana ..	80
Tabla 26. Fracción másica de los componentes de preparación de la manzana ..	82
Tabla 27. Propiedades térmicas bajo congelación	83

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Cálculo del overrum del helado	9
Ecuación 2. Balance general.....	11
Ecuación 3. Balance de materia en un proceso continuo en estado estacionario .	12
Ecuación 4. Ecuación de balance de materia	12
Ecuación 5. Balance de materia en un proceso no continuo.....	12
Ecuación 6. Balance de energía en sistemas cerrados.....	13
Ecuación 7. Balance de energía en un sistema abierto en estado estacionario....	14
Ecuación 8. Ecuación de continuidad.....	14
Ecuación 9. Ecuación de Bernoulli	15
Ecuación 10. Ecuación de Bernoulli ampliada.....	15
Ecuación 11. Ley de Fourier de la conducción del calor	16
Ecuación 12. Ley de Newton del enfriamiento	16
Ecuación 13. Razón de la transferencia de calor entre dos fluidos en un intercambiador.....	17
Ecuación 14. Diferencia media logarítmica de temperatura	17
Ecuación 15. Efectividad de la transferencia de calor	18
Ecuación 16. Efectividad de la transferencia en función de NTU y c	18
Ecuación 17. Número de unidades de transferencia.....	18
Ecuación 18. Relación de capacidades.....	18
Ecuación 19. Ley de Stokes	24
Ecuación 20. Sistema para normalización de la grasa	32
Ecuación 21. ecuación para determinar el tiempo de operación de cada equipo..	44
Ecuación 22: Capacidad calorífica de una mezcla	75
Ecuación 23. Ley cero de termodinámica	76
Ecuación 24. Longitud del tubo de sostenimiento	85

Índice de ilustraciones

<i>Ilustración 1. Diagrama de flujo de proceso de elaboración de helado de yogur ..</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 2. Pasteurizador de placas de 5 etapas para el procesado de la leche</i>	<i>26</i>
Ilustración 3. Diagrama del proceso de homogeneización y pasteurización	35
Ilustración 4. Paquete de cultivo láctico a usar.....	36
Ilustración 5. Diagrama del balance de masa del proceso	41
Ilustración 6. Plano de distribución de áreas	58
Ilustración 7. Plano de distribución de equipos	59
Anexo A. Ilustración 8. Ficha técnica del cultivo igea YAU-0421, YAU-042.....	69

I. Introducción

Es de conocimiento general que Nicaragua es un país ganadero, lo que significa que nuestro país en lo que a ganado vacuno respecta tiene la oportunidad de producir su propia leche y capacidad de exportación de carne de calidad. Sin embargo, no existen suficientes empresas manufactureras que aprovechen la oportunidad de transformación de materia prima en un producto con valor agregado.

La fermentación láctica mediante el uso de bacterias *Lactobacillus* dan paso a la transformación de la leche en yogur, dejando como producto ácido láctico, que es el encargado de la acidificación, el sabor característico de yogur y también de la estabilidad y seguridad microbiológica del alimento, ya que al tener un pH entre 4–4.5 no permite el desarrollo de microorganismos que puedan dañar la integridad e inocuidad del producto final. (Ramírez Ramírez, Ulloa, Velázquez González, Ulloa, & Arce Romero, 2011)

El helado por otro lado es un producto llamativo no solo para los niños, si no que para la población en general, tomando en cuenta los valores y beneficios nutritivos que tiene el yogur principalmente para el sistema digestivo del cuerpo humano, es razonable que se desee producir un producto con las cualidades de nutritivo y atractivo para su consumo general.

Por lo descrito anteriormente, en el presente trabajo se detallará como sería posible el diseño tecnológico del proceso en donde se realice un producto innovador que pueda aprovechar al máximo la leche producida en Nicaragua, tomando en cuenta principios físicos, químicos y termodinámicos que permitan la transformación de ésta en un producto final de consumo. Así mismo también se presentará planos ingenieriles y diagramas que describan de forma detallada cada etapa del proceso productivo hasta la obtención del helado de yogur sabor manzana verde.

II. Objetivos

2.1. General

Realizar el diseño tecnológico de un proceso de producción de helado de yogur.

2.2 Específico

- Determinar las variables de operación para el proceso de elaboración de helado de yogur.
- Seleccionar la tecnología requerida para la elaboración de helado de yogur.
- Realizar los planos ingenieriles que representen la distribución de las áreas operativas y equipos para la elaboración de helado de yogur.

III. Marco teórico

3.1. Leche

Existen diversos tipos de leche proveniente de distintos mamíferos, sin embargo, para finalidad de este trabajo monográfico solo se tomará en cuenta la leche proveniente de la vaca.

La leche de vaca es un líquido blanco que producen las glándulas mamarias de las vacas, es una mezcla compleja y heterogénea compuesta por un sistema coloidal de tres fases: solución, suspensión y emulsión. Es un alimento rico en nutrientes, especialmente proteínas, grasas, hidratos de carbono, vitaminas y minerales. (Tetrapak, 1996)

La leche está compuesta por un 87% agua y el resto de materia seca suspendida o disuelta en el agua (Murillo; Hayes, 1987). En dependencia del tipo de sólidos que se trate se distribuye en la fase acuosa. Es decir que la grasa coexiste en forma de emulsión, las proteínas en forma de suspensión y los azúcares como lactosa en forma de solución. (Tetrapak, 1996)

Acorde al manual de industrias lácteas de Tetrapak, la composición de la leche de vaca varía en dependencia de la especie, las condiciones climáticas y principalmente de la alimentación, por ende, para determinar las características de ésta se establecen rangos promedios, siendo estos los descritos en la Tabla 1 a continuación.

Tabla 1. Composición cuantitativa de la leche de vaca

Constituyentes principales	Límites de variación	Valor medio
Agua	85.5 – 89.5	87.5
Sólidos totales	10.5 – 14.5	13.0
Grasa	2.5 – 4.0	3.4
Proteínas	2.9 – 5.0	3.4
Lactosa	3.6 – 5.5	4.8
Minerales	0.6 – 0.9	0.8

Fuente: (Tetrapak, 1996)

3.1.1. Análisis fisicoquímicos de calidad de la leche

Para realizar análisis de calidad de la leche y garantizar que no presenta adulteraciones, es esencial conocer las propiedades fisicoquímicas promedio de la misma, las cuales se encuentran detalladas en la Tabla 2.

Tabla 2. Principales características fisicoquímicas de la leche natural

Parámetro	Valor
Densidad a 15°C	1,030-1,034 gr/L
Calor específico	0.93 cal/gr °C
Punto de congelación	-0.54 °C
pH	6.5-6.6
Grados Dornic (acidez expresada en decigramos de ácido láctico por litro de leche)	13°D - 18°D

Fuente: (Anchía & Martínez Hernández, 2000)

- **Determinación de la densidad** La densidad está estrechamente ligada con el porcentaje de grasa y sólidos no grasos (%SNG). Es decir que la grasa y la densidad son inversamente proporcionales. Otro factor que puede alterar la densidad es la temperatura a la que se encuentre la leche al momento de analizarla. (Moreno, 2018)
Para determinar la densidad se necesita de un lactodensímetro Quevenne. Así una leche con densidad relativa de 1,030 gr/ml, tendrá 30 grados Quevenne (esto es, 30°Q), la lectura debe realizarse a una temperatura de 15°C. (Moreno, 2018)
- **Determinación del punto de congelación** Esta prueba se realiza para detectar una adulteración de adición de agua, ya que modifican el contenido de lactosa y aumenta el contenido de cloruro. (Tetrapak, 1996)
Se realiza mediante un crioscopio de Beckman. (Mallqui, 2014)

- **Prueba de alcohol** Para esta prueba se utiliza alcohol al 68% y 72%, sirve para determinar la facilidad de coagulación de la leche expuesta al calor; si la leche se coagula en presencia de alcohol significa que no puede ser sometida a tratamiento térmico. (Revilla, 1982). Esto pasa porque las micelas de caseína se vuelven sensibles al exponerse al alcohol del 68% o del 72%, ya que esta sustancia las deshidrata favoreciendo su precipitación como floculo blanco. (Moreno, 2018)
- **Determinación de la acidez titulable** La acidez de la leche está dada por la presencia de ácido láctico principalmente y otros ácidos como resultado de la fermentación de la lactosa por carga microbiana, higiene y conservación (Revilla, 1982). Generalmente se mide en Grados Dornic (°D), esta unidad de medida de acidez en productos lácteos no es más que el resultado de la titulación de 100 ml de leche con NaOH al 0.1N utilizando fenolftaleína como indicador (Tetrapak, 1996). Existen otras unidades de medida de acidez en la leche, pero para fines de este trabajo siempre se expresará en grados Dornic.
- **Análisis de pH.** Se realiza con un pH-metro o potenciómetro, y la variación de pH depende generalmente del estado sanitario de la glándula mamaria, de la cantidad de CO₂ disuelto en la leche, del desarrollo de los microorganismos alcalinizantes. El pH de la leche varía normalmente de 6,5 a 6,65, presentando como promedio de 6.60 a 6,70. (Mallqui, 2014). El potenciómetro registra los iones hidrógeno (H⁺) procedentes de los ácidos que contiene la leche, por ejemplo, el ácido láctico en la leche fermentada (Moreno, 2018)
- **Determinación de sólidos totales** La leche contiene sólidos grasos (SG) y sólidos no grasos (SNG), estos últimos están constituidos principalmente de proteínas, caseína, albúmina, globulina, lactosa, ácido láctico y cítrico, entre otros. (Mallqui, 2014). Para obtener el porcentaje de la cantidad de

sólidos en suspensión en la leche, se necesita evaporar el agua que la conforma, esto se logra manteniendo una temperatura de $102 \pm 1^\circ\text{C}$ por 90 minutos. (Moreno, 2018)

- **Determinación de la grasa butírica** La grasa butírica constituye uno de los componentes más importantes de la leche por su valor económico, nutricional y tecnológico. Forma parte, junto con la proteína, de la materia seca útil de la leche de vaca y otras especies. Existen diversos métodos para cuantificar la grasa, el principal es el método de Gerber en donde en un butirómetro se adicionan 10 ml de ácido sulfúrico concentrado, se agregan 11 ml de la muestra de leche y sucesivamente 1 ml de alcohol amílico; posterior se procede a centrifugar por 5 minutos a 1000 rpm y en un baño maría se calienta a 65°C por 5 minutos, finalmente se procede a leer el porcentaje de grasa. (Moreno, 2018)

3.2. Yogur

Según la (Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense 03 073 06, 2006) se entiende que yogur es el producto de la leche coagulada, obtenido por fermentación láctica mediante la acción de las bacterias *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* a partir de la leche, donde los microorganismos vivos presentes en el producto final deberán ser apropiados y abundantes.

El manual de la industria láctea de Tetrapak presenta una composición típica de yogur de frutas, la cual se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3. Composición típica del yogur

Grasa	0.5-3%
Lactosa	3-4.5%
Sólidos lácteos no grasos (SNG)	11-13%
Estabilizantes	0.3-0.5
Fruta	12-18

(Tetrapak, 1996)

También se presenta una lista de los principales factores que deben ser controlados durante el proceso de fabricación con objeto de obtener un yogur de alta calidad, con un adecuado sabor, aroma, viscosidad, consistencia, apariencia y libre de suero separado y con un prolongado periodo de conservación (Tetrapak, 1996):

- Elección de la leche
- Normalización de la leche
- Aditivos lácteos
- Homogenización
- Tratamiento térmico
- Preparación de los cultivos

Se ha de señalar que la adición de demasiada cantidad de azúcar (más del 10%) a la leche antes del periodo de inoculación tiene un efecto adverso sobre las condiciones de fermentación, debido a que cambia la presión osmótica de la leche (Tetrapak, 1996).

Así mismo es importante recalcar que la buena consistencia del yogur depende en gran medida de la formación de coágulos en el proceso de fermentación. Una vez obtenido los coágulos es importante el tratamiento mecánico que se le dé al fluido, para mantener lo mayor posible sus características reológicas, y esto se logra mediante la adecuada selección y el correcto dimensionamiento de las tuberías, válvulas, enfriadores y demás equipos que se utilice una vez finalizada la fermentación láctica (Tetrapak, 1996).

3.3. Helado

Según la Norma Codex para Helados Comestibles y Mezclas de Helados (CODEX STAN 137-1981), helados son aquellos productos edulcorados obtenidos, bien sea a partir de una emulsión de grasa y proteínas, con la adición de otros ingredientes y sustancias, o bien a partir de una mezcla de agua, azúcares y otros ingredientes, que han sido tratados por congelación, y que se

destinan al almacenamiento, venta y consumo humano en estado de congelación o congelación parcial.

3.3.1. Composición de los helados

En la fabricación de helados y productos derivados se emplean ingredientes lácteos muy variados como: leche entera, leche desnatada, nata congelada, mantequilla, aceite de mantequilla (contiene un 99% de grasa), productos de leche condensada, productos de leche en polvo y yogur. Los helados mantecados se componen de grasa láctea y de extracto seco magro (ESM), derivados de los ingredientes anteriormente mencionados, más azúcar, estabilizadores, emulsionantes, aromatizantes, agua y aire. (Potter & Hotchkiss, 1999)

Un helado de buena calidad contiene aproximadamente un 12% de grasa, un 11% de extracto seco magro (ESM), un 15% de azúcar, un 0,2% de estabilizantes, un 0,2% de emulsionantes y una pequeñísima cantidad de saborizante. Esto da un 38,4% de extracto seco total y el resto es agua, aunque se le pueden añadir otros ingredientes como nueces, fruta, chocolate, huevos y sabores adicionales. (Potter & Hotchkiss, 1999)

La composición mencionada se basa en el helado con exclusión del aire, es decir, los porcentajes se refieren al peso de la masa de helado. Pero los helados se elaboran para que contengan una gran cantidad de aire y obtener así una estructura espumosa. El aire introducido al batir el helado forma pequeñas burbujas, necesarias para evitar que el helado sea demasiado denso, duro y frío en la boca (Potter & Hotchkiss, 1999).

Durante el proceso de congelación, el aire se incorpora a la mezcla mediante el batido, lo que genera un aumento en el volumen conocido en términos heladeros como «índice de aireación» o «sobrevolumen» (overrum). Este parámetro, que generalmente oscila entre el 70 % y el 100 %, puede calcularse fácilmente utilizando la Ecuación 1. (Potter & Hotchkiss, 1999)

Ecuación 1. Cálculo del overrum del helado

$$\text{Índice de aireación} = \frac{(\text{volumen del helado} - \text{volumen de la mezcla}) \times 100}{\text{volumen de la mezcla}}$$

Fuente: (Potter y Hotchkiss, 1999)

3.3.2. Funciones de los ingredientes

La grasa de la leche desempeña un papel clave al aportar un sabor más rico, una textura más cremosa y una mayor consistencia al helado, además de ser una fuente concentrada de calorías que incrementa su valor energético. De manera complementaria, el extracto seco magro (ESM) de la leche no solo contribuye al desarrollo del sabor, sino que también mejora el cuerpo y la textura deseada del producto. Un contenido elevado de ESM facilita un mayor incremento del volumen sin comprometer la integridad de la textura del helado.

Por último, el azúcar no solo cumple una función esencial al endulzar el producto, sino que también pero también baja el punto de congelación de la mezcla, de manera que evita el endurecimiento del helado dentro del congelador. (Potter & Hotchkiss, 1999)

Generalmente los estabilizadores empleados son gomas como la gelatina, el agar y la goma de Karaya. Los estabilizadores forman geles con el agua de la mezcla y de este modo mejoran el cuerpo y la textura del helado, obteniéndose un producto más seco que no se derrite tan rápidamente, ni pierde agua. Al ligar agua, ayudan también a evitar la formación de cristales de hielo durante la congelación, lo cual daría al producto una textura muy basta. (Potter & Hotchkiss, 1999)

Los emulsionantes comerciales, compuestos en su mayoría por monoglicéridos y diglicéridos, desempeñan un papel fundamental en los procesos de congelación y mezcla. Su función principal es garantizar la dispersión homogénea de los glóbulos grasos en la mezcla, evitando la formación de grumos o la aparición de gránulos de mantequilla en la superficie. Asimismo, los emulsionantes optimizan el proceso de batido, facilitando el aumento de volumen

deseado y contribuyendo a la obtención de un helado con una textura firme y seca. (Potter & Hotchkiss, 1999)

3.3.3. Estructura física del helado

Según Potter y Hotchkiss (Ciencia de los alimentos, 1999), el helado puede describirse físicamente como una espuma compuesta por múltiples burbujas de aire. Estas burbujas son responsables del sobrevolumen, lo que permite que el helado alcance un volumen aproximadamente dos veces superior al de la mezcla original.

En la estructura de la espuma láctea, las películas de la mezcla rodean las burbujas de aire, mientras que los glóbulos grasos y los cristales de hielo se encuentran distribuidos dentro de estas capas. Durante el almacenamiento, el envejecimiento del helado causa una contracción gradual de su estructura espumosa y el colapso de las películas debilitadas, lo que resulta en una pérdida de volumen. Esta disminución puede ser significativa si la mezcla presenta un bajo contenido de extracto seco, lo que genera un defecto severo en la calidad del producto. (Potter & Hotchkiss, 1999)

Las películas que conforman la estructura del helado contienen cristales de hielo, glóbulos de grasa solidificada, azúcares disueltos e insolubles, sales, proteínas y otros componentes de la mezcla. Cuando los cristales de hielo se vuelven demasiado grandes, generalmente debido a variaciones en la temperatura de almacenamiento que provocan descongelaciones parciales y recongelaciones repetidas, el helado adquiere una textura áspera y cristalizada. (Potter & Hotchkiss, 1999)

Un exceso de lactosa, causado por altos niveles de extracto seco lácteo, puede conducir a la formación de cristales, otorgando al helado una textura granulosa o arenosa. Adicionalmente, formulaciones con bajo contenido de extracto seco lácteo pueden experimentar pérdida de volumen debido al colapso de burbujas. Otras causas de la disminución del volumen incluyen la fusión parcial del helado, cuando se almacena a temperaturas inadecuadamente altas, o la compactación mecánica. (Potter & Hotchkiss, 1999)

Otros defectos de textura debidos a formulaciones de mezclas muy pobres son los que dan lugar a helados gomosos, desmenuzables, de textura parecida a la cuajada, acuosos, etc. Los helados también pueden presentar defectos del sabor comunes a otros productos lácteos, como sabor a cocido, a oxidado o incluso a rancio; ello se debe a que se elaboran con ingredientes lácteos con sabores extraños. Además, pueden padecer una gran variedad de sabores no extraños causados por saborizantes de mala calidad incorporados a la mezcla. (Potter & Hotchkiss, 1999)

3.4. Balance de Materia

La base de un balance de materia es la ley de la conservación de la masa, la cual establece que la masa no se crea ni se destruye (Donde se ignoran las conversiones casi infinitesimales entre masa y energía asociadas con las reacciones químicas.) El diseño de un nuevo proceso o el análisis de uno ya existente no están completos hasta que se establece que las entradas y salidas de todo el proceso, y de cada unidad por separado, satisfacen las ecuaciones de balance. (Felder & Rousseau, 2004)

3.4.1. La ecuación general de balance de masa

El balance de una cantidad que se conserva (masa total, masa de una especie determinada, energía, momentum) en un sistema (una sola unidad de proceso, un conjunto de unidades o un proceso completo) se puede escribir de manera general como: (Felder & Rousseau, 2004)

Ecuación 2. Balance general

<i>Entrada</i> (entra a través de las fronteras del sistema)	+	<i>Generación</i> (se produce dentro del sistema)	-	<i>Salida</i> (sale a través de las fronteras del sistema)	-	<i>Consumo</i> (se consume dentro del sistema)	=	<i>Acumulación</i> (se acumula dentro del sistema)
---	---	---	---	---	---	--	---	---

Fuente: (Felder & Rousseau, 2004)

Es posible escribir dos tipos de balances: Balances diferenciales o que indican lo que ocurre en un sistema en un instante determinado; Este es el tipo de balance que por lo general se aplica a un proceso continuo. Balances integrales o que describen lo que ocurre entre dos instantes determinados; Este suele aplicarse a procesos intermitentes o por lotes. (Felder & Rousseau, 2004)

En procesos continuos en estado estacionario, el término de acumulación de la ecuación general de balance es igual a cero y las variables en unidades de masa/tiempo, por lo cual la ecuación se simplifica como sigue (Felder & Rousseau, 2004):

Ecuación 3. Balance de materia en un proceso continuo en estado estacionario

$$\dot{m}_E + \dot{m}_G = \dot{m}_S + \dot{m}_C$$

Fuente: (Felder & Rousseau, 2004)

Si se realiza el balance de una especie no reactiva o de la masa total, los términos de generación y consumo son iguales a cero y la ecuación se reduce a:

Ecuación 4. Ecuación de balance de materia

$$\dot{m}_E = \dot{m}_S$$

Fuente: (Felder & Rousseau, 2004)

El mismo razonamiento puede aplicarse a cualquier sustancia que participe en un proceso intermitente, donde las variables están en unidades de masa; para obtener: (Felder & Rousseau, 2004)

Ecuación 5. Balance de materia en un proceso no continuo

$$m_E + m_G = m_S + m_C$$

Fuente: (Felder & Rousseau, 2004)

Esta ecuación es idéntica a la ecuación para procesos continuos en estado estacionario excepto que, en este caso, los términos de entrada y salida denotan las cantidades iniciales y finales de la sustancia balanceada, en vez de las

velocidades de flujo de ésta en las corrientes continuas de alimentación y de producto. (Felder & Rousseau, 2004)

3.5. Balance de energía

3.5.1. Balance de energía en sistemas cerrados

Según (Felder & Rousseau, 2004), un sistema es abierto o cerrado dependiendo de que la masa cruce o no las fronteras del sistema durante el tiempo cubierto por el balance de energía. Por definición, un sistema de proceso por lotes es cerrado, y los sistemas semicontinuos y continuos son abiertos.

Es posible escribir el balance de energía integral para un sistema cerrado entre dos instantes dados.

Ecuación 6. Balance de energía en sistemas cerrados

$$\begin{array}{r} \text{Energía final} \\ \text{del sistema} \end{array} - \begin{array}{r} \text{Energía inicial} \\ \text{del sistema} \end{array} = \begin{array}{r} \text{Energía neta transferida} \\ \text{al sistema} \end{array}$$

En Ecuación 6 se puede sustituir cada etapa mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Energía inicial del sistema} = U_i + E_{ki} + E_{pi}$$

$$\text{Energía final del sistema} = U_f + E_{kf} + E_{pf}$$

$$\text{Energía transferida} = Q - W$$

$$\Delta U + \Delta E_k + \Delta E_p = Q - W$$

Fuente: (Felder & Rousseau, 2004)

Donde los subíndices i y f se refieren los estados inicial y final del sistema y U, E_k, E_p, Q y W representan la energía interna, la cinética, la potencial, el calor transferido al sistema procedente de sus alrededores, y el trabajo realizado por el sistema sobre sus alrededores. (Felder & Rousseau, 2004)

Al aplicar esta expresión a un proceso dado, debe tener en cuenta los siguientes puntos (Felder & Rousseau, 2004):

- Si no hay cambios de temperatura o de fase ni reacciones químicas en un sistema cerrado y si los cambios de presión son menores de unas cuantas atmósferas, entonces $\Delta U = 0$.

- Si el sistema no tiene aceleración, $\Delta E_k = 0$. Si el sistema no se eleva ni cae, entonces $\Delta E_p = 0$.
- Si el sistema y sus alrededores están a la misma temperatura o si el sistema está perfectamente aislado, entonces $Q=0$ y el proceso se denomina adiabático.
- Si no hay partes móviles, corrientes eléctricas, ni radiaciones en las fronteras del sistema, entonces $W=0$.

3.5.2. Balance de energía de un sistema abierto en estado estacionario

El balance de energía de un sistema abierto, está dado por la siguiente ecuación:

Ecuación 7. Balance de energía en un sistema abierto en estado estacionario

$$\Delta \dot{H} + \Delta \dot{E}_K + \Delta \dot{E}_P = \dot{Q} - \dot{W}_S$$

Fuente: (Felder & Rousseau, 2004)

Indica que la velocidad neta a la cual se transfiere energía al sistema como calor y/o trabajo de flecha, es igual a la diferencia entre las velocidades a las cuales la cantidad (entalpía + energía cinética + energía potencial) se transporta hacia dentro y hacia afuera del sistema. (Felder & Rousseau, 2004)

3.6. Ecuaciones del flujo de fluidos

De acuerdo a (Mott & Untener, 2015) la ecuación de continuidad. Se utiliza para relacionar la densidad del fluido, el área del flujo y la velocidad de flujo en dos secciones del sistema en el que existe un flujo estable. Es válida para todos los fluidos, ya sean gases o líquidos.

Ecuación 8. Ecuación de continuidad

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$$

Fuente: (Mott & Untener, 2015)

Si el fluido presente en la tubería es un líquido que puede considerarse incompresible, entonces los términos de las densidades y pueden cancelarse quedando. (Mott & Untener, 2015)

$$Q_1 = Q_2$$

$$\text{Donde: } Q = A * V$$

3.6.1. Conservación de la energía-ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli explica los cambios en la carga de elevación, la carga de presión y la carga de velocidad entre dos puntos de un sistema de flujo de fluidos. Se supone que no hay pérdidas ni adiciones de energía entre los dos puntos, por lo que la carga total permanece constante. (Mott & Untener, 2015)

Ecuación 9. Ecuación de Bernoulli

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Fuente: (Mott & Untener, 2015)

A la ecuación de Bernoulli se le añaden términos que representan pérdidas (h_L) debido a la fricción generada mientras el fluido fluye por las tuberías, por válvulas o accesorios donde tiene que recorrer trayectorias complejas, acelerar, desacelerar o cambiar de dirección; también términos de la energía añadida (h_A) al sistema por una bomba mientras proporciona impulso para que el fluido se desplace y aumente su presión; la energía eliminada (h_R) del sistema por medio de motores o turbinas que utilizan energía para conducir otros sistemas mecánicos. (Mott & Untener, 2015)

Ecuación 10. Ecuación de Bernoulli ampliada

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Fuente: (Mott & Untener, 2015)

Esta es la ecuación general de la energía en un flujo de fluido, la cual es una ampliación de la ecuación de Bernoulli.

3.7. Transferencia de calor

Según (Çengel & Ghajar, 2011) el calor es la forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro, como resultado de la diferencia de temperatura entre ellos. La transferencia de energía como calor siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja, y se detiene cuando los dos medios alcanzan la misma temperatura; este se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación.

3.7.1. Conducción

La conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa. (Çengel & Ghajar, 2011)

Ecuación 11. Ley de Fourier de la conducción del calor

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

En el caso limite $\Delta x \rightarrow \infty$

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{dT}{dx}$$

Fuente: (Çengel & Ghajar, 2011)

3.7.2. Convección

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. (Çengel & Ghajar, 2011)

Ecuación 12. Ley de Newton del enfriamiento

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty)$$

Fuente: (Çengel & Ghajar, 2011)

Esta ecuación es llamada como ley de Newton del enfriamiento; donde h no es una propiedad del fluido, es un parámetro que se determina en forma experimental. (Çengel & Ghajar, 2011)

3.7.3. Intercambiadores de calor

Los intercambiadores de calor son aparatos que facilitan el intercambio de calor entre dos fluidos que se encuentran a temperaturas diferentes y evitan al mismo tiempo que se mezclen entre sí. (Çengel & Ghajar, 2011)

En el análisis de los intercambiadores de calor resulta conveniente combinar todas las resistencias térmicas que se encuentran en la trayectoria del flujo de calor del fluido caliente hacia el frío en una sola resistencia R y expresar la razón de la transferencia de calor entre los dos fluidos como. (Çengel & Ghajar, 2011)

Ecuación 13. Razón de la transferencia de calor entre dos fluidos en un intercambiador

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} = UA_s \Delta T$$

Fuente: (Çengel & Ghajar, 2011)

En donde U es el coeficiente total de transferencia de calor

Como la diferencia de temperatura varia a lo largo del intercambiador, el método de la diferencia media logarítmica de temperatura nos da una forma apropiada de la diferencia de temperatura promedio que debe usarse en el análisis de los intercambiadores de calor. (Çengel & Ghajar, 2011)

Ecuación 14. Diferencia media logarítmica de temperatura

$$\dot{Q} = UA_s \Delta T_{ml}$$
$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)}$$

Fuente: (Çengel & Ghajar, 2011)

Este método resulta muy adecuado para la determinación del tamaño de un intercambiador de calor con el fin de dar lugar a las temperaturas prescritas de salida cuando se especifican los gastos de masa y las temperaturas de entrada y de salida de los fluidos caliente y frío. (Çengel & Ghajar, 2011)

Cuando se quiere determinar la razón de la transferencia de calor y las temperaturas de salida de los fluidos caliente y frío para valores prescritos de gastos de masa y temperaturas de entrada de los fluidos, cuando se especifican el tipo y el tamaño del intercambiador se usa un procedimiento llamado método de la efectividad-NTU. (Çengel & Ghajar, 2011)

Ecuación 15. Efectividad de la transferencia de calor

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}} = \frac{\text{Razón de la transferencia de calor rea}}{\text{Razón máxima posible de la transferencia de calor}}$$

Fuente: (Çengel & Ghajar, 2011)

La efectividad de un intercambiador de calor es una función del número de unidades de transferencia NTU y de la relación de capacidades c.

Ecuación 16. Efectividad de la transferencia en función de NTU y c

$$\varepsilon = f(NTU, c)$$

Ecuación 17. Número de unidades de transferencia

$$NTU = \frac{UA_s}{C_{min}}$$

Ecuación 18. Relación de capacidades

$$c = \frac{C_{min}}{C_{max}}$$

Fuente: (Çengel & Ghajar, 2011)

En la literatura se pueden encontrar valores para la eficiencia tomando en cuenta los números adimensionales NTU y c, junto con los tipos de intercambiadores. (Çengel & Ghajar, 2011).

3.8. Proceso productivo del helado de yogur

3.8.1. Descripción

Según el manual de industrias lácteas de Tetrapak (Tetrapak, 1996), el proceso de producción de yogur batido consta de diversas etapas, las cuales se presentan en la Ilustración 1 de la página 22 y se describen a continuación:

- **Preparación de la mezcla:** esta primera etapa consiste en la normalización de la grasa en la leche (mínimo 3%) y el contenido de materia seca no grasa (mínimo 8.2%) mediante la adición de leche en polvo. Así mismo se incorpora el azúcar y opcionalmente el estabilizante si se desea obtener una textura muy firme.
- **Homogeneización:** esta fase es importante para evitar la separación de la materia grasa de la leche posterior a la pasteurización, se homogeneiza a aproximadamente 20-25 Mpa (200-500 bar). La efectividad de la homogeneización es inversamente proporcional al contenido de grasa, es decir que a menor contenido en grasa y a mayor temperatura y presión, mayor será el grado de homogeneización. De esta fase depende que el yogur sea más estable y viscoso. (Riaño, 2022)
- **Pasteurización:** la leche homogeneizada pasa por la parte regenerativa y la sección de pasteurización en el intercambiador de calor a temperatura de entre 90°C a 95°C que posteriormente atraviesa el tubo de mantenimiento por 5 minutos, que tiene caída en los tanques de fermentación.
- **Enfriamiento:** una vez la leche se encuentra en los tanques de fermentación, se tiene que enfriar hasta alcanzar la temperatura de inoculación que irá en dependencia del tipo de fermento a usar. Si son bacterias termófilas se precisan temperaturas de entre 42°C y 45°C y para bacterias del tipo mesófilo las temperaturas normales de inoculación oscilan entre 20°C y 30°C.
- **Inoculación:** se añade el cultivo bacteriano seleccionado una vez que la temperatura se ha ajustado al nivel correcto. Las cantidades de fermento

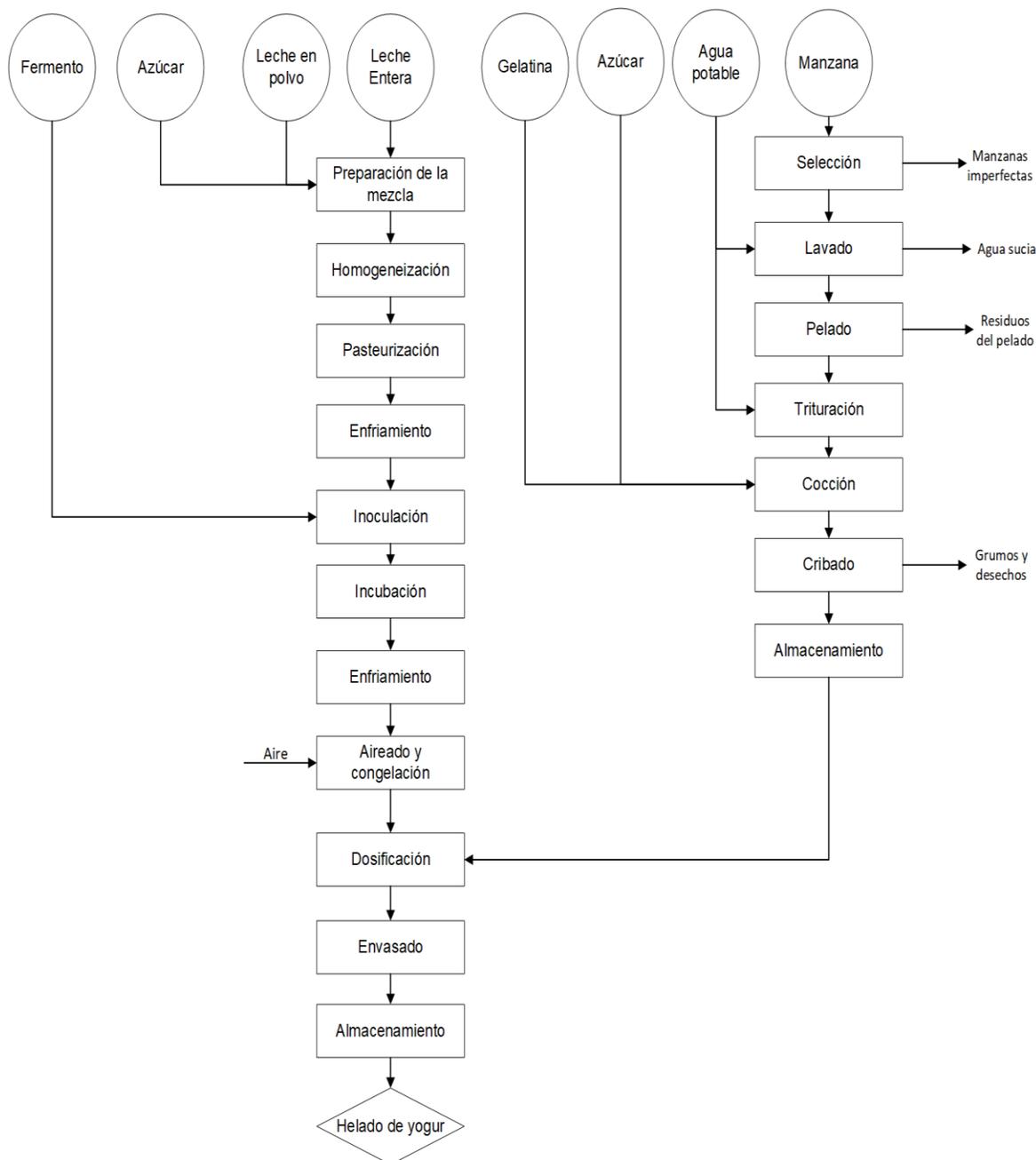
pueden afectar las proporciones de bacterias que producen ácido láctico y sustancias aromáticas, es por eso que el fabricante debe especificar la cantidad de fermento a usar por cada volumen de leche a fermentar. Una vez añadido el fermento se debe agitar para asegurar una distribución uniforme del fermento por el tiempo que el fabricante recomiende.

- **Incubación:** Tan pronto como se ha realizado la inoculación y los fermentos se han mezclado con el sustrato (la leche), las bacterias comienzan a multiplicarse, es decir, empieza la incubación. El periodo que dura esta etapa viene determinado por los tipos de bacterias utilizadas y la dosis de inoculación, puede variar entre 3 y 20 horas. Es muy importante controlar la temperatura y evitar que productos contaminantes entren en contacto con el cultivo. Durante esta etapa las bacterias se multiplican rápidamente, fermentando la lactosa produciendo ácido láctico.
- **Enfriamiento:** Cuando se alcanza el pH requerido (normalmente 4.4-4.5), la temperatura del yogur debe bajarse rápidamente a una temperatura menor a 10°C, esto detiene cualquier incremento posterior de la acidez y frena la fermentación.
- **Aireado y congelación:** Esta etapa se realiza a -5.5°C; el objetivo principal que persigue esta operación es congelar la mezcla, batir el aire y subdividir sus burbujas. La congelación tiene que realizarse rápidamente para evitar la formación de grandes cristales de hielo, que darían al helado una textura áspera y para facilitar la formación de pequeñas burbujas de aire uniformemente repartidas para obtener así una espuma estable. También se recomienda evitar la recongelación que puede provocar que el overrun de la mezcla disminuya, dejando de esta forma un helado con formación de cristales grandes de hielo.
- **Preparación de la fruta para adicionar al yogur:** La parte principal de la preparación de la manzana es la trituración o que sean picadas, opcionalmente también se le puede dejar la cáscara o pelarlas. (Bartholomai, 1991).

Las manzanas son debidamente lavadas para eliminar los contaminantes físicos y químicos, posteriormente son seleccionadas por tamaño para mantener la eficiencia en el pelado. Después las manzanas son cortadas en cubos y precocinadas; el precocinado sirve para ablandar el fruto e inactivar la decoloración enzimática oxidativa durante el acabado. Las manzanas deben ser cocinadas a una temperatura entre 93-99°C aproximadamente 4 minutos. Una vez cocinadas se separa cualquier defecto o material. (Bartholomai, 1991).

- **Dosificación:** una vez teniendo la fruta preparada, esta se traslada a un dosificador, que se encarga de dispensar la proporción correcta de fruta al yogur previamente aireado y congelado
- **Envasado:** se conoce como la última fase del proceso operativo, donde el producto se alista para su posterior almacenamiento, distribución y consumo.
- **Almacenamiento:** El helado envasado semisólido se traslada a una cámara de endurecimiento o cuarto frío donde se mantiene a temperatura de -23°C

Ilustración 1. Diagrama de flujo de proceso de elaboración de helado de yogur



Fuentes: adaptado de (Bartholomai, 1991) (Tetrapak, 1996) (Potter & Hotchkiss, 1999)

3.8.2. Selección de equipos

- *Tanques*

De acuerdo al manual de industrial lácteas Tetrapak existen diversos tipos de tanques, de acuerdo al propósito que va dirigido. A continuación, se mencionarán los que son de importancia para el desarrollo de este trabajo.

- a. Tanques silo: son tanques aislados destinados para el almacenamiento de leche, sus paredes tienen que ser de acero inoxidable y generalmente se ubican en el exterior de la planta de producción ya que suelen ser de gran tamaño. Están equipados con algunos tipos de agitadores y equipos de monitoreo y control.
- b. Tanque de mezcla: están destinados para mezclar diferentes productos e incorporar ingredientes, pueden ser aislados o solo tener una pared de acero inoxidable. Los agitadores de estos tanques son diseñados de acuerdo a la aplicación específica a la que está destinado.
- c. Tanque de proceso: son tanques en los que en su interior se llevan a cabo cambios en el producto, su diseño depende del objetivo de su uso. Usualmente disponen de alguna forma de agitación y de control de temperatura, sus paredes son de acero inoxidable con y sin aislamiento.

- *Bomba de desplazamiento positivo:*

El principio de funcionamiento de la bomba es que, por cada revolución o cada movimiento alternativo, se bombea una determinada cantidad de líquido sin importar la carga manométrica. En específico la bomba de rotor lobulado crea un vacío en la entrada cuando los rotores giran, lo que ocasiona que el líquido se desplace al interior de la bomba, hacia el cuerpo de ésta hacia la salida, allí el volumen se reduce y el líquido se fuerza a salir. (Tetrapak, 1996)

- *Homogeneizador*

El proceso de homogeneización es importante para evitar la separación de la nata o grasa, se realiza mediante la disrupción o rotura de los glóbulos de grasa en glóbulos más pequeños. Esta etapa se produce por medios mecánicos ya que la leche es forzada a pasar a través de un pequeño espacio a altas velocidades, consiguiendo un efecto de turbulencia y cavitación. De esta forma reducir de manera significativa los glóbulos de grasa. (Tetrapak, 1996)

Cuando el líquido pasa a través de un orificio estrecho la velocidad de flujo se incrementa. La velocidad se incrementará hasta que la presión estática sea tan baja que el líquido comience la ebullición, La máxima velocidad depende principalmente de la presión de entrada. Cuando el líquido sale del orificio la velocidad decrece y la presión se incrementa de nuevo. El líquido detiene su ebullición y las burbujas de vapor formadas se eliminan. (Tetrapak, 1996)

Es importante recalcar que esta etapa se debe de realizar cuando la fase grasa se encuentre en estado líquido, es decir que la leche tiene que estar a temperaturas mayor a 35°C. Representado de forma analítica la homogeneización se basa en el principio de la ley de Stokes (Ecuación 19) en donde la velocidad de ascenso de una partícula viene dada por:

V= velocidad G= fuerza de gravedad p=tamaño de partícula
 η_l = densidad del líquido η_p = densidad de la partícula t= viscosidad

Ecuación 19. Ley de Stokes

$$V = \frac{p^2(\eta_l - \eta_p)}{18 * t} * G$$

Fuente: (Tetrapak, 1996)

Gracias a esta ecuación se puede observar que reduciendo el tamaño de partícula se reduce de manera eficiente la velocidad de ascenso, es por esto que, si se reduce los glóbulos de grasa, se reduce la formación de la capa de nata. (Tetrapak, 1996)

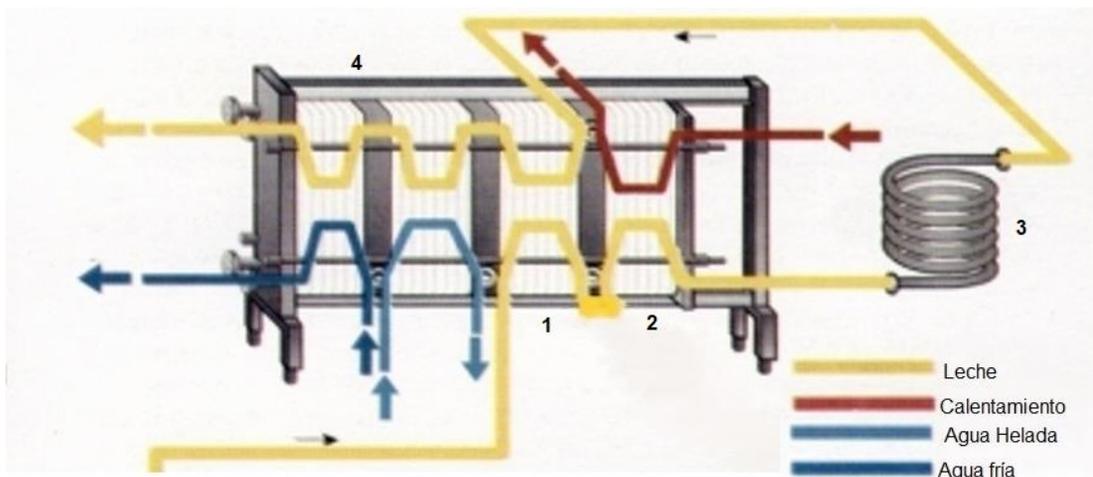
- *Pasteurizador*

La leche contiene sustancias y microorganismos que pueden estropear su sabor o acortar la vida útil de los productos lácteos; debido a ello es necesaria la pasteurización, que consiste en la destrucción de tantos organismos y sistemas enzimáticos como sea posible mediante un arreglo de tiempo y temperatura en un intercambiador de calor de placas, sin alterar mucho las propiedades fisicoquímicas y organolépticas de la leche, de esta manera manteniendo la calidad del producto. (Tetrapak, 1996)

La pasteurización de la leche se realiza en un intercambiador de placas porque son de fácil mantenimiento y limpieza, esto hace que por su diseño sea higiénico de cara a su aplicación con alimentos, tienen una mayor área de transferencia de calor, permiten el ahorro de energía mediante la fase regenerativa del intercambiador y se puede aumentar su capacidad añadiendo más placas. (Singh & Heldman, 2001)

En la Ilustración 2 se muestra esquemáticamente el proceso de pasteurización, en donde la leche fluye desde el tanque de almacenamiento hacia la sección regenerativa del intercambiador de calor (1). Posteriormente, pasa a la sección de calentamiento (2) y luego al tubo de mantenimiento (3), donde se lleva a cabo la pasteurización. Una vez pasteurizada, regresa nuevamente a la etapa regenerativa (1) del intercambiador, permitiendo que la leche caliente transfiera una parte de su calor a la leche que inicia el proceso. Finalmente, la leche pasa a la sección de enfriamiento (4), donde su temperatura se reduce hasta alcanzar el nivel deseado. (Singh & Heldman, 2001)

Ilustración 2. Pasteurizador de placas de 5 etapas para el procesado de la leche



Fuente: Adaptado de (Tetrapak, 1996)

El tratamiento térmico de la leche hace que algunas propiedades organolépticas, principalmente el sabor se vea afectadas, así también el valor nutritivo y ciertas proteínas se desnaturalizan. Por ello es importante seleccionar un adecuado equilibrio entre temperatura y tiempo de pasteurización, según el fin para el que se destine la leche, ya que es la principal etapa de proceso en la industria láctea. (Tetrapak, 1996)

La leche se trata térmicamente antes de proceder a la inoculación de los cultivos con objetivo de (Tetrapak, 1996):

- a. Mejorar las propiedades de la leche como sustrato para las bacterias del cultivo industrial.
- b. Asegurar que el coagulo del yogur terminado sea firme.
- c. Reducir el riesgo de separación de suero en el producto terminado.

Se consiguen resultados óptimos por medio del tratamiento térmico de la leche a 90°C-95°C durante un tiempo de mantenimiento de unos 5 minutos. Esta combinación de tiempo/temperatura desnaturaliza alrededor del 70-80% de las seroproteínas. En particular la B-lactoglobulina, que es la principal seroproteína, interactúa con la k-caseína, con lo que se facilita que al yogur adquiera "cuerpo". (Tetrapak, 1996)

Los diferentes tipos de pasteurización dependen de la combinación de tiempo y temperatura aplicada durante el proceso. Estos se detallan a continuación en la Tabla 4.

Tabla 4. Tipos de pasteurización en la industria láctea

Proceso	Temperatura	Tiempo
Termización	63 – 65 °C	15''
Pasteurización LTLT (Low Tempeture, Long Time)	63 °C	30'
Pasteurización HTST (High Tempeture, Short Time) de la leche	72 – 75 °C	15 - 20''
Pasteurización HTST (High Tempeture, Short Time) de la Nata	80 °C	1 – 5''
Ultra Pasteurización	125 – 138 °C	2 – 4''
Esterilización UHT (Ultra High tempeture)	135 - 140 °C	Pocos segundos
Esterilización en el envase	115 – 120 °C	20 – 30'

Fuente: (Tetrapak, 1996)

- *Congelador continuo*

El proceso continuo de congelación tiene las funciones de incorporar una cantidad controlada de aire a la mezcla y congelar su contenido de agua para obtener pequeños cristales de hielo. Este congelador contiene un cilindro en su interior por el que la mezcla se congela sobre las paredes y es continuamente rascado por cuchillas rotatorias instaladas de forma concéntrica en el interior del cilindro. (Tetrapak, 1996)

3.9. Diseño de áreas

El Reglamento Técnico Centroamericano en su norma RTCA 67.01.33:06 establece que toda industria de alimentos que opere y distribuya sus productos tanto en el mercado nacional como Centroamericano debe aplicar las buenas prácticas de manufactura, para garantizar alimentos inocuos y de calidad.

En dicho reglamento se refiere a buenas prácticas de manufactura como: condiciones de infraestructura y procedimientos establecidos para todos los procesos de producción y control de alimentos, bebidas y productos afines, según normas aceptadas internacionalmente.

En la norma RTCA 67.01.33:06 se describen algunas condiciones a cumplir para tener una óptima distribución de áreas, ya sea dentro del complejo de una planta y dentro del área operativa ésta, con el objeto de evitar contaminación cruzada y garantizar la inocuidad. Algunas de estas condiciones se mencionan a continuación:

- El área de lockers o vestidores debe separada del área de baño, y dividida para hombres y mujeres.
- Tiene que haber un área de comedor.
- El área de ingreso de materia prima tiene que ser diferente a la de despacho de materia para elaboración, y de almacenamiento de producto terminado. Así mismo todas deben estar techadas y con rampa para facilitar el traslado.
- Debe de existir un área específica para el almacenamiento de productos de limpieza.
- Es obligatorio que exista una aduana sanitaria que permita el aseo y limpieza del personal previo a entrar al área operativa, ésta tiene que contar con secadores de mano, lavamanos de pedal o automáticos y limpieza de zapatos.
- Las puertas de ingreso tienen que abrir hacia afuera y contar con protección (cortinas de plástico) para evitar la entrada de plagas.
- Establecer un área de producto no conforme.

- Tiene que existir una separación de área de alimento crudo y cocido
- Área de carga y descarga de materia prima y despacho de producto terminado fuera del área operativa.
- Las uniones entre el piso y la pared deben de contar con curvatura sanitaria.
- Respetar una distancia entre la pared y el equipo de 50 cm sin obstáculo.
- Los pisos tienen que ser de material impermeable, lavable y antideslizantes.
- Las lámparas tienen que estar protegidas contra roturas.

Los puntos mencionados anteriormente se tomarán en cuenta para el desarrollo del diseño de planos que se realizará en el programa Microsoft Visio Profesional 2016,

IV. Resultados

4.1. Capacidad de producción

De acuerdo a datos obtenidos por el medio de noticias el 19 digital, en el periodo de enero a febrero de 2024, Nicaragua registró una producción nacional de leche de 59.7 millones de galones, donde El 71% de la producción de leche en finca se destina a la venta como leche fluida, el 26% a la producción de derivados en finca y el 3% al consumo de las familias productoras (El 19 digital, 2024).

Se determinó utilizar una base de cálculo de 700 litros de leche fluida por día, considerando que este volumen representa una cantidad adecuada para el inicio operativo de una planta piloto.

4.2. Pretratamiento de la leche integra

4.2.1. Recepción de la leche íntegra

La leche debe ser transportada en cisternas isotérmicas desde los acopios hasta los silos de almacenamiento de la planta. En donde acorde NTON 03027-17, se tiene que asegurar la calidad higiénica de la leche mediante una prueba de tiempo de reducción de azul de metileno (TRAM) y clasificarla en A, B, o C (Norma técnica obligatoria nicaragüense 03 027-17, 2018). Así mismo también se realiza inspección de las características fisicoquímicos, en donde se acepta la cisterna si ésta es clasificación A o B y si cumple con parámetros fisicoquímicos descritos en la Tabla 2. También se determina el volumen de leche recepcionado mediante un caudalímetro.

Esta etapa debe ir acompañada del proceso de termización, bajo las condiciones descritas en la Tabla 4. Utilizando un intercambiador de calor de placas, y se finaliza con la disminución de la temperatura hasta alcanzar la temperatura de refrigeración de 4°C, con el objetivo de inhibir el crecimiento bacteriano.

4.2.2. Almacenamiento de leche íntegra

Debido a que la leche se tendrá que guardar previo a su uso, se tiene que garantizar que se cumplan condiciones de almacenamiento, tales como que el

recipiente que la contiene (al cual se denominará silo) sea de acero inoxidable e isotérmico con leve agitación continua para mantener una distribución constante de la grasa.

4.2.3. Ajuste de grasa butírica

Acorde al manual de industrias lácteas Tetrapak. (1996), establece que “El yogur puede tener un contenido graso entre el 0 a 10%. Tomando esta característica en cuenta se decidió que el contenido graso de la leche será de 7% para que, una vez obtenido el helado éste presente una buena textura y cuerpo.

Antes de comenzar el proceso de elaboración de yogur, es esencial normalizar la leche mediante el ajuste de su contenido graso. La leche entera presenta un promedio de grasa del 3.4%, tal como se detalla en la Tabla 1, y se requiere estandarizarla hasta alcanzar un contenido graso del 7%. Para este fin, se incorpora grasa butírica (nata), obtenida mediante un proceso de separación centrífuga continua de la leche, lo cual permite un control preciso sobre el porcentaje de grasa en la nata. Como alternativa, se podría optar por la adición de grasa vegetal para lograr el nivel de grasa requerido; no obstante, en el contexto de este trabajo, se decidió emplear exclusivamente grasa butírica.

Para obtener un proceso de estandarización uniforme en la extracción de grasa butírica, se establece ajustar la centrifuga para obtener nata al 40% de grasa.

Tomando en cuenta estas características el ajuste previo de grasa de leche para yogur se calcula de la siguiente manera mediante un balance por componente. En donde GN es la grasa de la nata, GLi es la grasa de la leche íntegra, Gy es la grasa de la leche para yogur, Ly es la masa de leche para yogur, Li es la masa de leche íntegra, N es la masa de nata, Vy Es el volumen de leche para yogur.

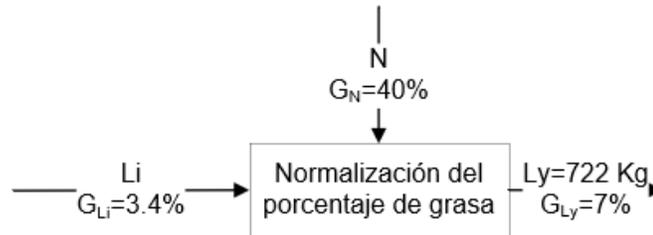
$$GN=40\%; \quad GLi=3.4\%; \quad Gy=7\%; \quad Vy=700 \text{ lt}$$

Inicialmente, se convierte el volumen de leche para yogur a masa mediante la fórmula de densidad, tomando en cuenta el valor de densidad de la leche de la Tabla 2.

$$\rho = \frac{L_y}{V_y} \quad \text{Despejando m se obtiene} \quad L_y = \rho * V_y$$

Sustituyendo;

$$L_y = 1031 \text{ gr/lt} * 700 \text{ lt} = 721700 \text{ gr} = 721.7 \approx 722 \text{ Kg}$$



Ecuación 20. Sistema para normalización de la grasa

$$\begin{cases} L_y = L_i + N \\ G_y L_y = G_{Li} L_i + G_N N \end{cases}$$

Sustituyendo y despejando Ly se tiene:

$$722 = L_i + N; \quad L_i = 722 - N$$

Sustituyendo L_i

$$0.07 * 722 = 0.034(722 - N) + 0.4N$$

$$50.54 = 24.55 - 0.034N + 0.4N$$

Despejando N

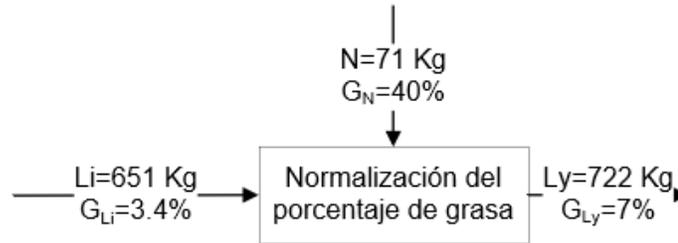
$$50.54 - 24.55 = -0.034N + 0.4N$$

$$25.99 = 0.366N; \quad N = \frac{25.99}{0.366} = 71 \text{ Kg}$$

Para encontrar L_i

$$L_i = 722 - N; \quad L_i = 722 - 71 = 651 \text{ Kg}$$

Por tanto, se obtiene:



4.3. Descripción del proceso productivo de helado de yogur

Para desarrollar este trabajo de manera clara y estructurada, el proceso de elaboración del helado de yogur (Ilustración 1). se plantea dividirlo en tres etapas principales:

- Primera etapa: Desde la preparación de la mezcla hasta el segundo enfriamiento, que esta previo al aireado y congelado.
- Segunda etapa: Desde la selección de manzana hasta la obtención de la fruta preparada, que es en el almacenamiento.
- Tercera etapa: Desde el aireado y congelado hasta el almacenamiento del helado de yogur.

4.3.1. Primera etapa

- **Preparación de la mezcla para yogur**

En esta etapa se pesa la materia prima de acuerdo al acápite 3.8.1. en donde se detalla los porcentajes por componente para la mezcla base del yogur. Considerando que la base de cálculo seleccionada fue de 700 litros (equivalente a 722 kg), los porcentajes de cada componente se determinó con base en dicha cantidad.

Tabla 5. Masa de materia prima para la elaboración de yogur

Ingredientes	Porcentaje	Cantidad (kg)
Leche Normalizada 7%	100 %	722
Leche en polvo	10.7 %	77
Azúcar	7.8 %	56

Fuente: Elaboración propia

Una vez pesado los ingredientes, se transporta la leche estandarizada desde el silo de almacenamiento al tanque de mezclado a través de tuberías de acero inoxidable. El tanque de mezclado debe contar con tolva para la adición de la materia prima y adicional de un agitador que este distribuyendo los ingredientes a la vez que se estén agregando.

- ***Homogeneización***

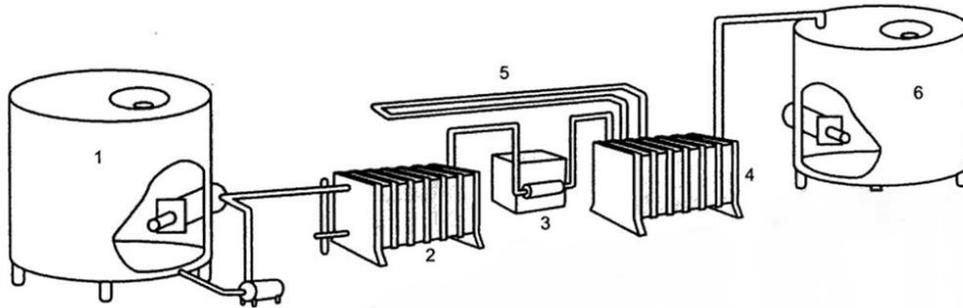
Para iniciar con el proceso de homogeneización, es necesario primero elevar la temperatura de la leche contenida en el tanque de mezcla, llevándola desde una temperatura aproximada a la de refrigeración hasta los 60 °C. Este cambio de temperatura se logra haciendo que la leche pase por un intercambiador de placas. Posteriormente, la leche ingresa al homogeneizador, donde se somete a una presión de 20 MPa.

- ***Pasteurización***

A como se explicó en el acápite 3.8.2. la combinación de tiempo/temperatura para el tratamiento de leche destinada a yogur es 90°C sostenidos durante 5 minutos. Esta combinación es la más adecuada para inhibir microorganismos patógenos no deseados que pueden interferir en el proceso de fermentación, y ayuda la desnaturalización de las proteínas encargadas de la coagulación del yogur.

Una vez que la leche sale del homogeneizador, ingresa a otro intercambiador de placas. Posteriormente, pasa por el tubo de sostenimiento del pasteurizador y reingresa a la parte de enfriamiento del mismo. Dicho proceso se muestra en la Ilustración 3 de la siguiente página.

Ilustración 3. Diagrama del proceso de homogeneización y pasteurización



1. Tanque de mezcla para la dispersión de leche en polvo, estabilizantes, azúcar, etc., en la leche
2. Intercambiador de calor para precalentar a la temperatura de homogeneización que es de 60°C
3. Homogeneizador, que trabajará a una presión de 20Mpa
4. Intercambiador de calor para pasteurizar a 90°C y enfriar a la temperatura de fermentación
5. Tubo de mantenimiento de la leche a 90°C por 5 minutos
6. Tanque de fermentación a 45°C

Fuente: Adaptado de (Academia del área de plantas piloto de alimentos, 2004)

- **Primer enfriamiento**

Al finalizar la pasteurización la leche se enfría a la temperatura de inoculación. Para asegurarse que la temperatura de inoculación sea la correcta es necesario un tanque enchaquetado con agitador que permita la circulación de agua fría, vapor o agua caliente para ajustar la temperatura según sea necesario.

- **Inoculación**

La selección del fermento es de gran importancia, ya que es el que define la textura, cuerpo y características que adquiere el producto final.

Se seleccionó la marca “Dairy Cultures Igea” y, específicamente, los cultivos “YAU-0421” y “YAU-0422”, debido a que son liofilizados para inoculación directa. Además, según la información proporcionada por el fabricante, presentada en el Anexo A. Ilustración 8, dichos cultivos contribuyen a obtener una alta viscosidad, una característica clave para garantizar una textura óptima en el helado. Asimismo, estos cultivos fermentan la leche de manera rápida y presentan una baja postacidificación una vez finalizado el producto. (Dairy Cultures Igea, 2021)

La recomendación de fabricante indica que la temperatura óptima de inoculación es a 45°C, así mismo se toma en cuenta que la dosificación necesaria para el volumen de 700 litros de leche a utilizar será de empaques de 10 DU que pesan aproximadamente 14 gr y contiene bacterias *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*.

Ilustración 4. Paquete de cultivo láctico a usar



Fuente: Dimex Nicaragua S.A.

- **Incubación**

Una vez inoculada la leche según las indicaciones del fabricante, es necesario mantener una agitación uniforme durante aproximadamente 20 minutos para asegurar una distribución óptima del fermento. Además, se establece que el tiempo de fermentación de la leche a 45°C es de aproximadamente 4.5 horas para alcanzar un pH de 4.5. En este punto, se inicia la fase estacionaria de fermentación, durante la cual el proceso debe detenerse para evitar la sinéresis y asegurar que el producto final tenga las características deseadas

- **2do. Enfriamiento**

En esta etapa, es necesario reducir la temperatura primero en el tanque de fermentación y luego enfriar el yogur a través de un intercambiador de placas hasta alcanzar los 10°C para su almacenamiento en espera de la etapa de aireado.

4.3.2. Segunda etapa

Se determinó que la fruta seleccionada sería la manzana, dado que representa uno de los sabores más populares en yogures, lo que la convierte en una opción ideal para introducirse en este segmento del mercado. Además, la manzana es una fruta que se encuentra disponible durante la mayor parte del año en Nicaragua, lo que garantiza su accesibilidad como materia prima.

A como se menciona en la Tabla 3 la cantidad recomendada de fruta a añadir oscila entre un 12 % y un 18 % en masa con respecto al yogur. Con base en esta recomendación, se decidió incorporar un 14.5 % de fruta, utilizando la masa del yogur como referencia para el cálculo.

- **Selección manzanas**

En primer lugar, las manzanas pasan por un proceso de selección visual en el que se descartan aquellas que presentan daños, como golpes o deformidades. A continuación, se evalúa el tamaño de las manzanas, ya que este factor influye en la eficiencia del pelado y cortado de los equipos. Las dimensiones de las manzanas deben estar entre 55 y 85 mm de diámetro, con una altura máxima de 80 mm.

- **Lavado de manzanas**

El Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA) recomienda la desinfección de frutas por inmersión en una solución de 50 ppm de Hipoclorito de sodio con un tiempo de contacto de 5 minutos, dicha solución se puede reutilizar siempre y cuando ésta tenga el olor característico a cloro y que tenga apariencia limpia a simple vista. (Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria, 2020). El agua destinada para este proceso de lavado y el enjuague tendrá que cumplir con las especificaciones de las NTON 09 003-99

- **Pelado de manzanas**

En esta fase es removida la cascara y corazón de la manzana con el objetivo de dejar la pulpa lo más limpia posible. De acuerdo al Ministerio de agricultura, pesca y alimentación de España, especifica que la porción comestible por cada 100 gramos de manzana es de 84 gramos (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España), es decir un 14% del fruto es desechada en forma de cáscara y corazón.

- **Trituración**

El agua agregada en esta etapa es de calidad potable, siguiendo las consideraciones en el capítulo 3 “Calidad del agua” en las Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON 09 003-99) (Normas Tecnicas para el Diseño de Abastecimiento y Potabilización del Agua, 2000)

En la fase de trituración es necesario agregar agua con el propósito de hacer más eficiente el triturado. La cantidad en de agua a añadir es del 10%, tomando como base del cálculo la masa de la manzana.

- **Cocción**

La etapa de cocción de fruta y demás ingredientes es de vital importancia, ya que, de esta forma se pasteuriza a 94°C en una marmita para inactivar las formas vegetativas de microorganismos sin alterar el sabor y textura natural de la fruta. Los porcentajes de cada materia se muestran a continuación.

Tabla 6. composición para la preparación de la fruta

Materia de jalea	Porcentaje
Manzana	43%
Azúcar	43%
Agua	10%
Gelatina	3%
Total	100%

Fuente: Elaboración propia

- **Cribado**

Se anexa este paso en el proceso para evitar que los grumos provenientes de la preparación previa de la fruta interfieran en la textura uniforme del helado, en esta fase se asume una pérdida del 3% del producto, en una criba con agujeros de 2mm.

- **Almacenamiento**

Tras completar la preparación de la manzana, esta se almacena a una temperatura de 5°C, con el fin de prevenir su descomposición y minimizar el riesgo de choque térmico al momento de incorporarla a la mezcla del yogur.

4.3.3. Tercera etapa

- **Aireado y congelación**

En esta etapa, se procede a la inyección de aire en el yogur mientras se realiza su congelación simultánea. Es crucial que el aire incorporado en la mezcla sea completamente limpio, y seco. De acuerdo a la norma ISO 8573-1 que clasifica la calidad del aire comprimido en base a la cantidad de partículas sólidas, humedad y aceite se recomienda utilizar aire clase 1.2.1. ya que el aire tiene contacto directo con el helado. Esta clase de aire consiste en que la cantidad de partículas suspendidas sean máximo 0.1 μm en 0.1 mg/m^3 , la humedad a un punto de rocío de -40°C y el aceite máximo 0.01 mg/m^3 . Estos parámetros se obtienen utilizando un sistema de compresores equipado con filtros especializados y secador por adsorción, capaces de eliminar cualquier contaminante que pudiera comprometer la calidad e integridad del helado.

El volumen de aire se ajusta directamente en el congelador continuo, mediante un control de la presión y la temperatura del aire de entrada. Para este proceso, se estableció un índice de aireación del 50% en relación con el volumen total de la mezcla. Este índice puede calcularse utilizando la Ecuación 1 especificada en la página 9.

Este proceso se da dentro de las aireadoras o congelador continuo de helados de crema tradicionales que poseen estas funciones y finalmente el yogur congelado sale a una temperatura de -8°C .

- ***Dosificación***

La dosificación en los envases se lleva a cabo mediante un equipo auxiliar de dosificación continua, el cual permite regular la proporción de entrada de helado y fruta de manera precisa. Ambos equipos operan de forma paralela y continua, garantizando un proceso eficiente. La proporción en masa seleccionada fue del 12.5% para la fruta y del 87.5% para el yogur.

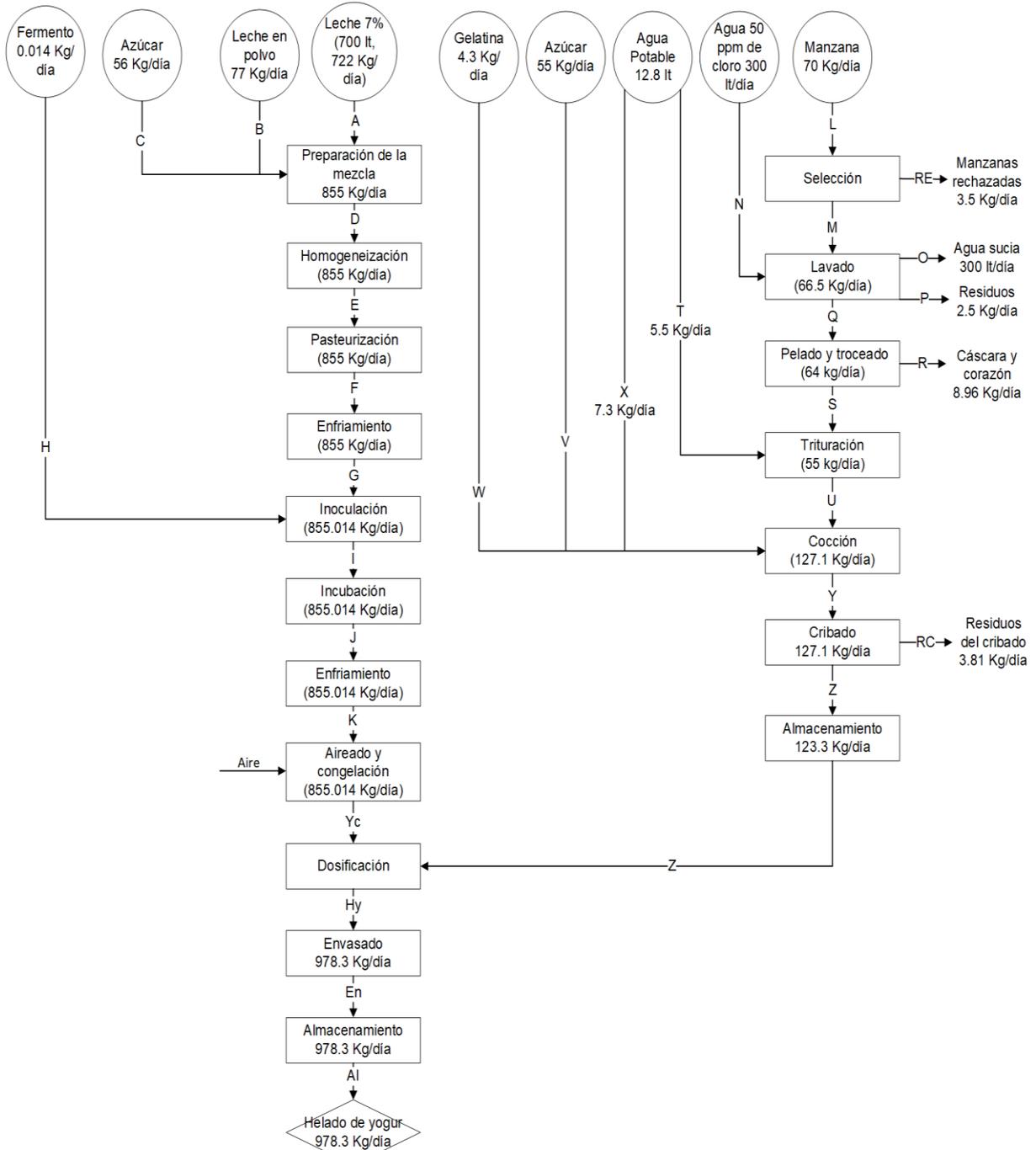
- ***Almacenamiento***

Una vez finalizado el envasado del helado de yogur, este debe ser almacenado en cuartos fríos con temperatura controlada a -23°C , de conformidad con las especificaciones establecidas en el manual de industrias lácteas. (Tetrapak, 1996)

4.4. Balance de masa del helado de yogur

A continuación, se refleja de forma general el balance de masa en cada etapa del proceso, los cálculos se representan más a detalle en Anexo B: Balance de Materia en la primera etapa, Anexo C: Balance en la segunda etapa y Anexo D: Balance en la tercera etapa.

Ilustración 5. Diagrama del balance de masa del proceso



Fuente: elaboración propia

4.5. Balance de energía

Para finalidad de desarrollo del presente trabajo se asumirá el proceso en temperatura y presión estándar, es decir 25°C y 1 atm.

Tabla 7. Balance de energía

Proceso	Corriente de entrada (Kg/día)	T° de entrada (°C)	T° de salida (°C)	Calor ganado (Kj)	Calor perdido (Kj)
Primera etapa					
Preparación de mezcla	855	25 y 5	5.29	-	-
Homogenización	855	5.29	60	163,719.68	-
Pasteurización	855	60	90	89,775.00	-
1er.Enfriamiento	855	90	45	-	-134,662.50
Inoculación	855.014	45	45	0	0
Incubación	855.014	45	45	0	0
2do.Enfriamiento	855.014	45	10	-	-113,716.86
Segunda etapa					
Cocción	127.1	25	94	20,784.66	-
Almacenamiento	127.1	94	5	-	-26,007.67
Tercera etapa					
Aireado y congelado	855.014	10	-8	-	-240,087.92
Dosificación	982.114	-8 y 5	-3	-	-
Almacenamiento	982.114	-3	-23	-	-48,736.98

Fuente: Elaboración propia

4.6. Tiempo de operación por cada etapa

En el proceso productivo hay actividades que se desarrollan de forma continua y en serie, lo que implica coordinar la capacidad y el tiempo de operación de los equipos para que procesen la misma cantidad de material; así en la siguiente tabla las actividades que están en la misma sección son porque tienen esta coordinación.

Tabla 8. Distribución del tiempo de operación por etapa

Operación	Capacidad máxima de los equipos	Cantidad de materia a procesar	Duración del proceso (minutos)
Primera etapa			
Preparación de la mezcla	1000L	830.09L	20
Homogeneización, pasteurización	2500L/h	830.09L	30
1er. Enfriamiento	1130L	830.09L	5
Inoculación	1130L	830.11L	5
Incubación	1130L	830.11L	270
Sub total			330
Tercera etapa			
2do. Enfriamiento, Aireado y congelado, Dosificador, Envasado	1500L/h	1360.66L	70
Sub total			70
Segunda etapa			
Lavado de frutas	300Kg/h	66.5Kg	15
Pelado y troceado	140Kg/h	64 Kg	30
Triturado	200Kg/h	60.5 Kg	20
Cocción y cribado	140L	115.5L	15
Sub total			80
Total			400

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el tiempo aproximado que dura cada proceso se toma en cuenta la capacidad del equipo (considerando solo un 85% de la capacidad máxima del equipo), la cantidad de materia a procesar, el grado de los cambios físicos o químicos en la mezcla para obtener un producto de calidad operación reflejada en la Ecuación 21. En el caso de los procesos continuos y en serie el tiempo en esta sección está determinada por el equipo de menor capacidad de procesamiento.

Ecuación 21. ecuación para determinar el tiempo de operación de cada equipo

$$TO = \frac{m}{Ce * 0.85}$$

Fuente: estimación propia

El tiempo de operación total es de 400 minutos (6.67 horas), esto da lugar a una jornada laboral de 8 horas normalmente. Este tiempo total está dado por la duración de las etapas 1 y 3, esto es porque las actividades de la etapa 2 se realizan de manera independiente a las otras y con tiempo de holgura, no representan una ruta crítica.

4.7. Selección de equipos

Las siguientes tablas muestran las principales características básicas técnicas de los equipos en los que ocurren cambios físicos o químicos en la mezcla de yogur y en la fruta.

- **Preparación de la mezcla de yogur**

El tiempo de uso del tanque mezclador seleccionado de la Tabla 9 resulta de la duración del mezclado (20min) más el tiempo que tarde en ser succionada la mezcla hacia el homogeneizador de la Tabla 10 (30min). Seguido del pasteurizador descrito en la Tabla 11 para que esta operación se realice en 30 min.

Tabla 9. Características del tanque mezclador

Nombre	Tanque mezclador	
Marca	Ace machinery	
Capacidad	1000L	
Tiempo de trabajo/jornada	50 min	
Cantidad de equipos	1	
Accesorios	Agitador de pala. Tolva.	

Fuente: (ACE Machinery, s.f.)

- **Homogeneización**

Tabla 10. Características del homogeneizador

Nombre	Homogeneizador	
Marca	Hommak	
Modelo	M-HM30	
Capacidad	3500L/h	
Dimensiones (metros)	1.9x1.18x1.13	
Peso	2425 Lb	
Tiempo de trabajo/jornada	30min	
Cantidad de equipos	1	

Fuente: (Hommak, s.f.)

- **Pasteurización**

Tabla 11. Características del pasteurizador

Nombre	Pasteurizador de placas	
Marca	Gemina	
Modelo	JC-P-/2500-B	
Capacidad	2,500L/h	
Tiempo de trabajo/jornada	30 min	
Temperatura máxima	110 °C	
Cantidad de equipos	1	
Accesorios	Tubo de mantenimiento. 2 sets de placas	

Fuente: (Gémina, s.f.)

El tubo de mantenimiento tiene un diámetro de 38 mm y una longitud de 151.12 m. Los cálculos que respaldan estas especificaciones están descritos Anexo H: Cálculo de longitud del tubo de sostenimiento. Entre los accesorios complementarios se incluyen los sets de placas. Uno de ellos se empleará para realizar el calentamiento previo al proceso de homogeneización, mientras que el otro será utilizado para el enfriamiento posterior a la etapa de incubación. En el enfriamiento se seleccionó amoniaco como agente refrigerante por sus propiedades fisicoquímicas y su costo.

- ***Inoculación e incubación***

El tiempo de uso del tanque mezclador enchaquetado, descrito en la Tabla 12, se calcula como la suma del tiempo requerido para el primer enfriamiento, el período de incubación, el proceso de inoculación y la duración de la succión hacia la etapa del segundo enfriamiento.

Es importante el control de temperatura dentro del taque, para eso el equipo tiene accesos para circular vapor o agua fría dependiendo de las correcciones; el vapor se obtiene de la caldera seleccionada y el agua fría se obtiene haciendo pasar agua por el intercambiador tal que su temperatura de salida sea de 10°C.

Tabla 12. Características del tanque mezclador enchaquetado

Nombre	Tanque mezclador enchaquetado	
Marca	Ace machinery	
Capacidad	1130L	
Tiempo de trabajo/jornada	350 min	
Cantidad de equipos	1	
Accesorio	Agitador de turbinas múltiple en todo el tanque del tipo pala	

Fuente: (Machinery, s.f.)

- **Aireado y congelación**

El congelador continuo seleccionado se describe en la Tabla 13, y se considera añadir un sistema de compresor de aire con filtros y secador para que el aire inyectado a la mezcla sea aire atmosférico limpio y seco, que cumpla con estándares de aire comprimido grado alimenticio descrito en la norma ISO 8573-1.

Tabla 13. Características del congelador continuo

Nombre	Congelador continuo	
Marca	Technogel	
Modelo	EXP1500	
Capacidad	1,500L/h	
Tiempo de trabajo	70 min	
Cantidad de equipos	1	
Dimensiones (metros)	0.85x2.1x2	
Accesorios	Compresor con filtro de aire.	

Fuente: (Technogel , s.f.)

- **Dosificación**

El equipo descrito en la Tabla 14 se encarga de dosificar la fruta y la mezcla aireada en la proporción deseada.

Tabla 14. Características del dispensador de frutas

Nombre	Dosificador	
Marca	Technogel	
Modelo	FF10 E	
Capacidad	300-1500 L/h	
Tiempo de trabajo/jornada	70 min	
Cantidad de equipos	1	

Fuente: (Technogel, s.f.)

Las tablas siguientes detallan las especificaciones de los equipos seleccionados en la segunda etapa del proceso, que es la preparación de la fruta. La Tabla 15 presenta las características de la lavadora de manzanas, mientras que la Tabla 16 describe el cortador y pelador, un equipo operado manualmente. En la Tabla 17 se especifica la trituradora seleccionada, y en la Tabla 18, la marmita que opera con gas como fuente de energía. Finalmente, la Tabla 19 muestra las características de la cámara frigorífica destinada al almacenamiento de la fruta preparada.

- **Lavado de manzanas**

Tabla 15. Características de la lavadora de fruta

Nombre	Lavador de frutas	
Marca	Boada	
Modelo	JP 3000	
Capacidad	300 - 3,000 Kg/h	
Dimensiones (metros)	2.25 x 0.9 x1.43 m	
Peso	265 Kg	
Tiempo de trabajo/jornada	15 min	
Cantidad de equipos	1	

Fuente: (Boada tecnología ibérica, s.f.)

- **Pelado y troceado**

Tabla 16. Características de pelador y cortador

Nombre	Pelador y cortador de manzanas	
Marca	Kronen	
Modelo	AS-6	
Capacidad	140 Kg/h ó 900 und/h	
Tiempo de trabajo/jornada	30 min	
Dimensiones (metros)	1.04 x 0.82 x 1.71 m	
Peso	163 Kg	
Cantidad de equipos	1	

Fuente: (Kronen , s.f.)

- **Trituración**

Tabla 17. Características de la trituradora

Nombre	Triturador	
Marca	Voran	
Modelo	BG1-3	
Capacidad	200Kg/h	
Tiempo de trabajo/jornada	20 min	
Dimensiones (metros)	1.51 x 0.67 x 0.65	
Peso	60 Kg	
Cantidad de equipos	1	

Fuente: (Voran machinery, s.f.)

- **Cocción y cribado**

Tabla 18. Características de marmita industrial

Nombre	Marmita	
Marca	Madipsa	
Modelo	M140GV	
Capacidad	140L	
Medio de calentamiento	Gas	
Tiempo de trabajo/jornada	15 min	
Cantidad de equipos	1	
Accesorios	Criba con agujeros de 2 mm. Y tolva.	

Fuente: (Marmitas industriales , s.f.)

- **Almacenamiento de producto terminado y manzana preparada**

Tabla 19. características de cámara frigorífica industrial

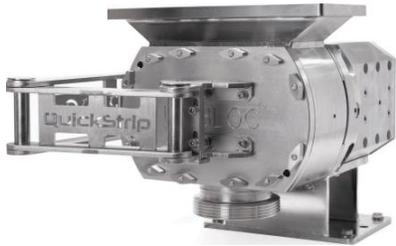
Nombre	Cámara frigorífica industrial	
Marca	ODIMER	
Modelo	TD CR-019	
Dimensiones (metros)	2 x 4 x 2.4 m	
Capacidad	19m ³	
Potencia de compresor	1,58 HP	
Tipo de aislamiento	Panel emparedado	
Cantidad de equipos	2	

Fuente: (Odimer machines and glace, s.f.)

- **Bombeo**

Para garantizar el traslado del yogur fluido sin comprometer la integridad de su textura, resulta esencial la selección de una bomba de desplazamiento positivo. Por ello, se optó por una bomba cuyas características específicas se encuentran detalladas en la Tabla 20.

Tabla 20. características de bomba de desplazamiento positivo

Nombre	Bomba de desplazamiento positivo	
Marca	Quickstrip	
Modelo	PD250	
Capacidad	2520L/h	
Cantidad de equipos	2	

Fuente: (Unibloc pumps, s.f.)

- **Caldera**

La elección de la caldera es importante, ya que debe satisfacer los requerimientos energéticos especificados en la Tabla 7, para esto se desarrollaron cálculos descritos en el Anexo E: Balance de energía primera etapa. Las especificaciones técnicas se detallan en la Tabla 21 a continuación.

Tabla 21. Características de la caldera de vapor

Nombre	Caldera de vapor	
Marca	ATTSU	
Modelo	RL-300/8	
Capacidad	300Kg/h (Vapor saturado a 8 bar) 23 BHP	
Tiempo de trabajo	30 min	
Cantidad de equipos	1	
Combustible	Gasóleo o diésel	

Fuente: (ATTSU, 2016)

4.8. Métodos de limpieza de los equipos

La limpieza de los equipos es importante para evitar el aumento progresivo de incrustaciones o residuos propios de la leche en las tuberías o equipos, así mismo para evitar un crecimiento exponencial de la carga microbiológica en todas las superficies donde se tiene contacto directo con el alimento. (Tetrapak, 1996)

Para poder disminuir los riesgos de contaminación se optó por el método de limpieza CIP (Cleaning in place) ya que es un método que puede ser adaptado completamente a la mayoría de los equipos y accesorios que se utilizan día a día en las industrias.

El método de limpieza CIP mejora la higiene mediante una combinación de limpieza con agentes químicos, temperatura y tiempo de contacto. Para poder implementar este método es importante resaltar que se tiene que tener un sistema cerrado de tuberías, que permita la recuperación de los agentes de limpieza disminuyendo la contaminación de las aguas residuales y a su vez haciendo posible disminuir costos. (Tamime & Robinson, 1999)

Los programas CIP se dividen en 2 categorías de las cuales depende cómo se hará el ciclo de lavado y clasifica a los equipos de la siguiente manera (Tetrapak, 1996):

- a. Programa CIP para equipos que están en contacto con superficies calientes, como los pasteurizadores, los tanques de fermentación y la marmita de pasteurización de la fruta.
- b. Programa CIP para equipos sin superficies calientes o que tienen contacto con superficies fría

4.8.1. Programa CIP para equipos que están en contacto con superficies calientes

Este ciclo se desarrolla de la siguiente manera (Tamime & Robinson, 1999):

1. Enjuague preliminar con agua: el equipo a lavar se enjuaga con agua caliente con un tiempo de contacto de aproximadamente 10 minutos para eliminar incrustaciones y residuos remanentes en las paredes del

equipo. Esta agua de enjuague, por lo general es el agua recuperada del enjuague final del lavado (se detallará al final del ciclo)

2. Lavado con detergente: en esta etapa circula un detergente alcalino, generalmente una solución de Hidróxido de sodio (NaOH) a temperatura mayor a 70°C, por un tiempo de contacto de entre 10 minutos para los tanques de fermentación, y entre 20 a 25 minutos para pasteurizador, tuberías. La concentración del Hidróxido de sodio debe oscilar en un rango de 2-3%, ya que de ser mayor la concentración causará que se forme espuma y no cumplirá con el objetivo de limpiar las superficies. (Tetrapak, 1996) (Tamime & Robinson, 1999)
3. Enjuague con agua limpia: una vez finalizada la limpieza con detergente es necesario removerlo con agua limpia blanda para evitar las incrustaciones de sales de calcio del agua pesada. De esta manera se elimina las trazas del detergente, es recomendable medir el pH del agua de enjuague para asegurar que el detergente ha sido eliminado completamente. (Tetrapak, 1996)
4. Lavado con ácido: usualmente se preparan soluciones de ácido nítrico (HNO₃) de concentración menor al 1%, ya que de ser mayor existe la posibilidad de la corrosión de las superficies metálicas. La temperatura comúnmente es alrededor de 60-70°C por un tiempo de contacto de 15 a 20 minutos. (Tamime & Robinson, 1999)
5. Enjuague con agua limpia: se repite el paso 3, y una vez se asegure que no haya trazas de ácido se procede a recuperar el agua de enjuague para reutilizarla (Tamime & Robinson, 1999).

Es posible añadir un último paso de desinfección, pero no es común ya que, por lo general, se realiza con una solución de hipoclorito que usualmente se realiza antes de iniciar operaciones.

4.8.2. Programa CIP para equipos que están en contacto con superficies frías

Las etapas del programa son las mismas que con el de superficies caliente, sin embargo, varía la temperatura, concentración y tiempo de contacto (Tetrapak, 1996)

1. Enjuague con agua caliente por 3 minutos.
2. Circulación de NaOH al 0.5-1.5% a 75°C por 10 minutos.
3. Enjuague con agua caliente por 3 minutos.
4. Desinfección con agua caliente a 90-95°C por 5 minutos
5. Enfriamiento gradual con agua fría por 10 minutos.

A continuación, se presenta una tabla que describe los tipos de lavado aplicables para cada equipo seleccionado en la sección 6.7. Selección de equipos. Es importante destacar que los equipos seleccionados son compatibles con el sistema CIP. En caso de no ser compatibles, se recurre a la limpieza manual con ciertos agentes químicos.

Tabla 22. Descripción de lavado de equipos

Equipo	Frecuencia	Enjuague		NaOH		Enjuague		HNO3		Enjuague		Desinfección			Lavado manual				
		T	T°	C%	T	T°	T	T°	C%	T	T°	T	T°	ppm	T	T°	ppm	T°	
Tanque mezclador	inicio													-	15	85			
	final	10	55	2-2.5	20	70	10	70	0.5-1	20	70	10	25						
Homogeneizador y pasteurizador	inicio													-	15	85			
	final	15	25	2-2.5	20	70-80	10	70	0.5-1	20	70	10	25						
Tanque de fermentación	inicio													-	15	85			
	final	15	55	2-2.5	20	75-80	10	70	0.5-1	20	40-50	10	25						
congelador continuo	inicio													50-100	10	25			
	final	3	55	0.5-1.5	10	75	3	70	<0.5	10	40-50	10	25	-	5	90-95			
lavador de frutas	inicio																	50-100	40-45
	final	10	20-30	0.5-1	15	40-45												50-100	40-45
pelador y cortador de frutas	inicio																	50-100	40-45
	final																	50-100	40-45
triturador	inicio																	50-100	40-45
	final	10	20-30	0.5-1	15	40-45												50-100	40-45
marmita	inicio													-	15	85			
	final	10	20-30	0.5-1	15	40-45	15	85											
dosificador	inicio																	50-100	40-45
	final	3	55	0.5-1	10	75	3	70										50-100	40-45

Fuente: adaptado de (Tetrapak, 1996) (Tamime & Robinson, 1999)

T=tiempo en minutos, T°=temperatura en °C, C%=concentración del químico en %V/V, ppm=parte por millón de hipoclorito de sodio. La frecuencia indica el inicio y final de la jornada

4.9. Planos ingenieriles

Se elaboraron dos planos ingenieriles: el primero corresponde al plano de distribución de áreas dentro de las instalaciones de la planta, representado en la Ilustración 6; el segundo, al plano de distribución de equipos, que muestra la secuencia de disposición de los mismos, representado en la Ilustración 7. Ambos planos fueron desarrollados utilizando el software Microsoft Visio Professional 2016. El diseño de dichos planos se realizó tomando en cuenta lo descrito en el Reglamento Técnico Centroamericano (67.01.33:06)

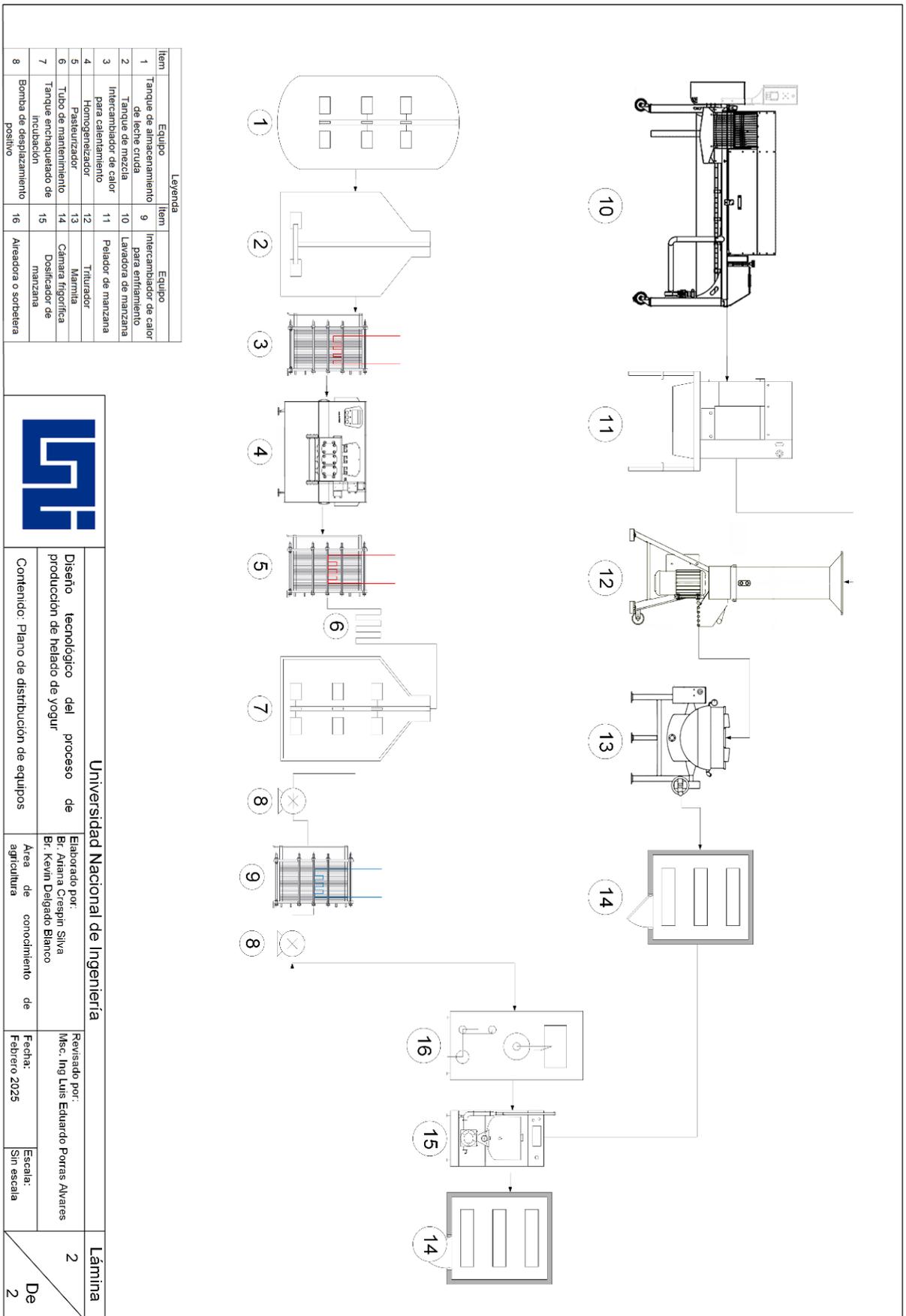
Ilustración 6. Plano de distribución de áreas



	Universidad Nacional de Ingeniería			Lámina	
	Diseño tecnológico del proceso de producción de helado de yogur	Elaborado por: Br. Ariana Crespín Silva Br. Kevin Delgado Blanco	Revisado por: Msc. Ing Luis Eduardo Porras Alvares		1
Contenido: Plano de distribución de área	Área de conocimiento de agricultura	Fecha: Febrero 2025	Escala: Sin escala	De 2	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 7. Plano de distribución de equipos



	Universidad Nacional de Ingeniería	
	Diseño tecnológico del proceso de producción de helado de yogur	Elaborado por: Br. Adriana Crespo Silva Br. Kevin Delgado Blanco
Contenido: Plano de distribución de equipos	Área de conocimiento de agricultura	Revisado por: Msc. Ing Luis Eduardo Porras Alvares
	Fecha: Febrero 2025	Escala: Sin escala
		Lámina 2
		De 2

Fuente: Elaboración propia

V. Conclusiones

Se llevó a cabo el diseño tecnológico del proceso de producción para una planta de yogur, definiendo las variables operativas clave. Entre ellas, se estableció una temperatura de pasteurización de 90 °C durante 5 minutos, tiempo suficiente para inactivar la mayoría de los sistemas enzimáticos presentes y desnaturalizar las proteínas necesarias para una fermentación adecuada del yogur.

Considerando las características deseadas del producto final, se decidió ajustar el contenido de grasa butírica de la leche al 7 %, ya sea mediante la adición de crema dulce o grasa vegetal, con el objetivo de obtener una textura cremosa, estable y con mínima formación de cristales de hielo.

Para estimar el requerimiento energético del proceso, se calcularon previamente los flujos másicos en cada etapa, obteniéndose como resultado 855.014 kg de mezcla de yogur, 123.3 kg de manzana preparada y una producción total diaria de 878.3 kg. Con base en estos datos, se determinó un requerimiento energético total de 274,279.34 kJ/día.

El tiempo de operación se estimó dividiendo el flujo másico total entre la capacidad de procesamiento de los equipos, considerando un 85 % de utilización para evitar su saturación, lo que resultó en un tiempo de trabajo de 400 minutos. Con los flujos másicos, el requerimiento energético y el tiempo operativo definidos, se procedió a seleccionar la tecnología adecuada para ejecutar eficientemente el proceso completo.

Finalmente, los planos de distribución de áreas y de ubicación de equipos fueron elaborados conforme a los lineamientos establecidos en el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA 67.01.33:06).

VI. Recomendaciones

- Se recomienda la realización de un estudio de prefactibilidad para lograr determinar la demanda del helado de yogur, el análisis financiero de los costos y la rentabilidad de la planta.
- Evaluar el impacto comercial de una planta como esta en la industria láctea de Nicaragua.
- Realizar un análisis sensorial comparativo entre el helado de crema y el helado de yogur, con el propósito de evaluar el grado de aceptabilidad del helado de yogur como posible sustituto del helado de crema.
- Llevar a cabo ensayos utilizando frutas tropicales autóctonas de temporada con el propósito de ampliar la variedad de sabores disponibles.

VII. Bibliografía

- Academia del área de plantas piloto de alimentos. (2004). *Introducción a la tecnología de alimentos* (Segunda ed.). México D.F., México D.F., México: LIMUSA S.A.
- ACE Machinery. (s.f.). *Descripción del tanque de mezcla de acero inoxidable*. Obtenido de ACE Machinery: https://es.ace-chn.com/stainless_steel_blending_tank.html
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. (2018). *ASHRAE Handbook - Refrigeration*. Atlanta, GA, United states of america: ASHRAE.
- Anchía, I. A., & Martínez Hernández, J. A. (2000). *Alimentos Composición y Propiedades*. Madrid : McGraw Hill.
- ATTSU. (2016). *ATTSU: calderas de vapor*. Obtenido de <https://www.attsu.com/es/productos/calderas-de-vapor/combustible-liquido-y-gaseoso/modelo-rl.html>
- Bartholomai, A. (1991). *Fabricas de alimentos*. Zaragoza, España: ACRIBIA, S.A.
- Boada tecnología Ibérica . (s.f.). *Lavadora de fruta JP*. Obtenido de <https://boadatecnologia.com/product/lavadora-de-fruta-jp/>
- Boada tecnología ibérica. (s.f.). *Lavadora de fruta JP*. Obtenido de <https://madipsa.com/producto/marmita-a-gas/>
- Castro Montero, E., & Guarda Moraga, A. (1986). *Propiedades térmicas de los alimentos*. Recopilación de datos , Universidad de Chile, Departamento de ciencia de los alimentos y tecnología química.
- Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa*. México, D.F: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

- CONICODEX. (2007). *Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para el yogur NTON 03 073-06*. Managua: La Gaceta No. 205 del 25 de Octubre del 2007.
- Dairy Cultures Igea. (2021). *Starter Cultures for Dairy Products*. Obtenido de YOGHURT CULTURES: <https://www.igeacultures.com/starter-cultures/#support>
- Earle, R. L. (1988). *Ingeniería de los alimentos* (Segunda ed.). Oxford, England: Pergamon.
- El 19 digital. (17 de Abril de 2024). Nicaragua registra crecimiento en producción de leche del 6.2% de Enero a Febrero 2024. Managua, Managua, NiCaragua.
- Felder, R. M., & Rousseau, R. W. (2004). *Principios elementales de los procesos químicos*. Mexico, D.F.: EDITORIAL LIMUSA, S.A.
- Gémina. (s.f.). *Pasteurizadores de placa*. Obtenido de Gémina procesos alimentarios : https://www.gemina.es/files/catalogue/pdf/13_Pasteurizadores_de_placas.pdf
- Hayes, G. D. (1987). *Food Engineering Data Handbook*. London: Longman Group, UK.
- Hommak. (s.f.). *Homogeneizadores de Alta Presión*. Obtenido de Homogeneizador M-HM30 : https://hommakusa.com/wp-content/uploads/2023/03/M-HM30_usa.pdf
- Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados. (2000). *Normas Técnicas para el Diseño de Abastecimiento y Potabilización del Agua*. Managua: La Gaceta. Obtenido de https://www.delcampo.net.ni/file_bibli/nca/NTON_09_003-99_ParaEIDisenoAbastecimientoPotabilizacionAgua.pdf

- Kronen . (s.f.). *Peladora y cortadora de manzanas AS 6*. Obtenido de https://www.kronen.eu/es/soluciones?tx_avsite_machinelineexportpdf%5Baction%5D=exportPdf&tx_avsite_machinelineexportpdf%5Bcontroller%5D=Machineline&tx_avsite_machinelineexportpdf%5Bmachineline%5D=53&type=6000&cHash=a5dcd546fd40b895e107df08840d8c21
- López, L. X. (Marzo de 2015). *Facultad de ciencias economicas y empresariales* . Obtenido de Universidad Pontificada de Comillas ICADE: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/4345>
- Machinery, A. (s.f.). *Tanque mezclador* . Obtenido de ACE Machinery: https://ace-tank.com/es_do/product/300-gallon-mixing-tank/
- Mallqui, L. A. (2014). *Métodos para el analisis fisicoquimico de leche y derivados lacteos*. Universidad Nacional Del Centro Del Perú. Perú: Libros y editoriales, TEIA. Obtenido de <https://luisartica.files.wordpress.com/2011/11/metodos-de-analisis-de-leche-2014.pdf>
- Marmitas industriales . (s.f.). Obtenido de Madipsa Marmitas a Gas de Volteo 140 Litros M140GV: <https://www.marmitas-industriales.com.mx/producto/Madipsa-Marmitas-a-Gas-de-Volteo-140-Litros-M140GV>
- Martínez, H. J., & Hernández Hernández , M. M. (Diciembre de 2008). *Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería: <http://ribuni.uni.edu.ni/596/1/25582.pdf>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España. (s.f.). *Servicio de información*. Obtenido de https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/manzana_tc_m30-103008.pdf

- Moreno, A. S. (2018). *Manual de Practicas de la Asignatura: Calidad de la leche*. Guía Practica , Universidad Autonoma Chapingo, Instituto de alimentos, Mexico. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/423246128/Manual-de-practicas-de-la-leche>
- Mott, R. L., & Untener, J. A. (2015). *Mecánica de fluidos*. México, D.F: PEARSON EDUCACIÓN.
- Murillo, D. J. (s.f.). *Agencia de cooperación Internacional del Japón*. Obtenido de Instituto Nicaraguense de Apoyo a la Pequeña y Mediana Empresa: https://www.jica.go.jp/Resource/nicaragua/espanol/office/others/c8h0vm00001q4bc-att/14_agriculture01.pdf
- Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense 03 073 06. (2006). *Norma para el yogur (yogurt, yoghurt) azucarado, natural, saborizado y con fruta*. Managua: Gaceta Diario Oficial.
- Norma Codex para Helados Comestibles y Mezclas de Helados. (2011). *CODEX STAN 137-1981*. Italia: FAO y OMS 2011.
- Norma técnica obligatoria nicaragüense 03 027-17. (02 de Enero de 2018). *Leche y productos lácteos. Leche cruda (vaca). Especificaciones. Norma técnica obligatoria nicaragüense*. Managua: La Gaceta. Obtenido de Leche y productos lácteos. Leche cruda (vaca). Especificaciones. Norma técnica obligatoria nicaragüense: <https://www.ipsa.gob.ni/Portals/0/1%20Inocuidad%20Alimentaria/Normativas%20Generales/ACTUALIZACION%20051217/Secci%C3%B3n%20Inocuidad%20L%C3%A1cteos/NTON%2003%20027-17%20Leche%20y%20Productos%20Lacteos.Lече%20Cruda%20CP.pdf>
- Odimer machines and glace. (s.f.). *Cámara frigorífica positiva industrial*. Obtenido de Cámara frigorífica positiva industrial – TD CR-019:

<https://www.odimer.com/es/producto/c%C3%A1mara-frigor%C3%ADfca-positiva-industrial-td-cr-019/>

- Orellana, V. D., & Morán Romero, D. A. (Febrero de 2016). *Repositorio Institucional UNAN-León*. Obtenido de <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/4998/1/231031.pdf>
- Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria. (2020). *Dirección Regional de inocuidad de los alimentos*. Obtenido de Guía para uso de cloro en desinfección de frutas y hortalizas de consumo fresco, equipos y superficies en establecimientos : <https://www.oirsa.org/contenido/2020/Guia%20para%20uso%20de%20cloro%20como%20desinfectante%20en%20establecimientos%2023.06.2020.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2009). *Manual para la educación agropecuaria: Taller de leche*. TRILLAS.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura . (24 de marzo de 2023). *Cultivos y productos de ganadería*. Obtenido de <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Potter, & Hotchkiss. (1999). *Ciencia de los alimentos*. ZARAGOZA (España): ACRIBIA, S.A.
- Ramírez Ramírez, J., Ulloa, P. R., Velázquez González, M. Y., Ulloa, J. A., & Arce Romero, F. (2011). Bacterias lácticas: Importancia en alimentos y sus efectos en la salud. *Revista Fuente* .
- Reglamentación Técnica de los países centroamericanos. (2006). *Reglamento tecnico centroamericano 67.01.33:06*.
- Revilla, A. (1982). *Tecnología de la leche Procesamiento Manufactura y Analisis* . San José: Instituto Iberoamericano de Cooperación Para la Agricultura .

- Riaño, G. T. (2022). *Universidad Politécnica de Cataluña*. Obtenido de Diseño de un proceso industrial para la fabricación de distintos yogures: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/364940/Dise%C3%B1o%20de%20un%20proceso%20industrial%20para%20la%20fabricaci%C3%B3n%20de%20distintos%20yogures..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Singh, P. R., & Heldman, D. R. (2001). *Introducción a la ingeniería de los alimentos* (Segunda ed.). Zaragoza, España: Acribia, S.A.
- Singh, R. P., & Heldman, D. R. (2001). *Introducción a la ingeniería de los alimentos* (Segunda ed.). Zaragoza: Acribia.
- Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (1999). *Yoghurt Science and Technology* (Second ed.). Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited.
- Technogel . (s.f.). *Freezer continuos Explorer*. Obtenido de Technogel Ice Crem equipment and machines: <https://www.technogel.com/es/linea-industrial/9/freezer-continuos-explorer>
- Technogel. (s.f.). *Dispensadores de frutas e ingredientes*. Obtenido de Technogel ice cream equipment and machines : <https://www.technogel.com/es/linea-industrial/28/dispensadores-de-frutas-e-ingredientes>
- Televisora Nicaragüense S.A. Canal 8. (12 de Mayo de 2021). *Nicaragua: Producción Nacional de Carne de Res y Leche 2020-2021*. Obtenido de TN8 Nacionales: <https://www.tn8.tv/nacionales/nicaragua-produccion-nacional-carne-leche-2020-2021/>
- Tetrapak. (1996). *Manual de industrias lacteas*. Madrid, España: Iragra S.A, Madrid.
- Unibloc pumps. (s.f.). *Rotary lobe and gear positive displacement pumps*. Obtenido de <https://unibloctech.com/wp-content/uploads/UHT-Lobe-Gear-Pump-Brochure.pdf>

- United Nations Conference on Trade and Development . (Octubre de 2008). *COMPAL*. Obtenido de <https://unctadcompal.org/wp-content/uploads/2017/03/Nicaragua-Sector-Lacteos.pdf>
- Voran machinery. (s.f.). *Trituradora universal bio*. Obtenido de https://www.danmix.es/wp-content/uploads/2022/06/TRITURADOR-BG_ESP.pdf

VIII. Anexos

Anexo A. Ilustración 8. Ficha técnica del cultivo igea YAU-0421, YAU-042



YAU-0421

YAU-0422

TECHNICAL DATA SHEET Rev. 6 10/12/2020

Culture Composition: *Streptococcus thermophilus*,
Lactobacillus delbrueckii subsp. *bulgaricus*

Carrier: Maltodextrins
Viscosity: Extra high
Post-acidification: Very low

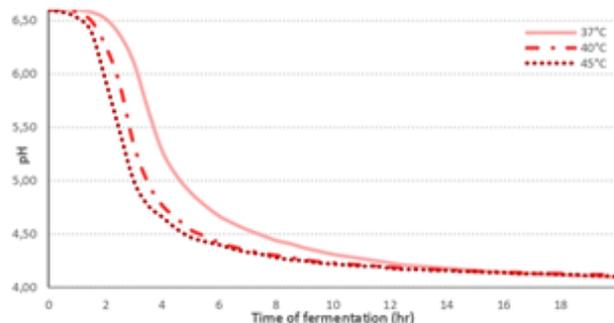
Applications: Fermented milks and Yoghurt
Form: Freeze-dried for direct inoculation
Color: white cream to brownish

Packaging: 5DU-10DU-25DU
Dosage: 1DU/100-200 liters

Primary packaging: PET-ALU-PE (C/LPDE 90)
Storage conditions: Store between +2/+8°C, in unopened and original packaging

Shelf-life and Best before date: 12 months under storage conditions. BBD is printed on the label

TECHNICAL DATA



Fermentation conditions: 37°C, 40°C and 45°C Lab skim milk (10% w/w) pasteurized 90°C x 20'-Inoculation 1DU/100 lt. Rehydration: 5'

TECHNICAL SPECIFICATIONS

ΔpH 1,90±0,10 after 270min at 40°C

Fermentation conditions: Lab skim milk (10% w/w) pasteurized 90°C x 20'-Inoculation rate: 1DU/100 lt. Rehydration: 5'

MICROBIAL SPECIFICATIONS

Salmonella spp	Absent /25g
Listeria monocytogenes	Absent /25g
Yeast and moulds	<10 cfu/g
Non-lactic acid bacteria	<500 cfu/g
Coagulase-positive staphylococci	<10 cfu/g
Enterobacteriaceae	<10 cfu/g

Recommended analysis methods used for analysis of microbiological criteria are reported in Annex A of ISO 27205:2010, IDF 149:2010.

OTHER INFORMATIONS

The supplied products are not and do not contain or consist of GMO; moreover they are not produced from GMO or do not contain ingredients produced from GMO, according to Regulation (EC) no. 1829/2003 and Regulation (EC) no. 1830/2003.

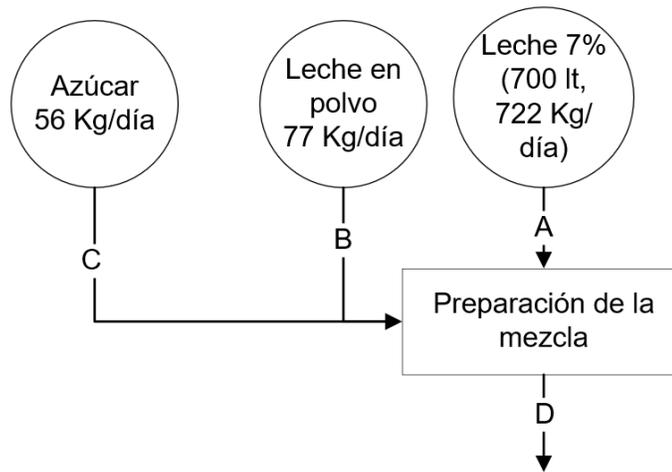
The information contained in this data sheet is to the best of our present knowledge reliable and correct. The company claims the right to modify the present document at any time. Users should conduct their own tests to verify the conformity under specific conditions. The company disclaims any responsibility in case of improper use or patent infringement.



Fuente: Dimex, Nicaragua S.A.

Anexo B: Balance de Materia en la primera etapa

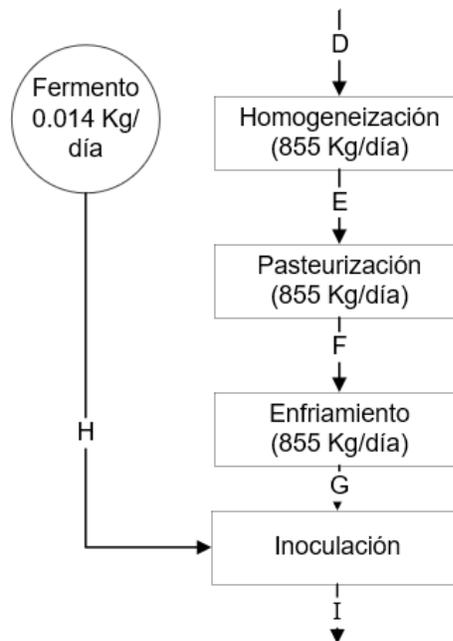
- **Balance de preparación de mezcla para yogur**



$$A + B + C = D$$

$$722 \text{ Kg/día} + 77 \text{ Kg/día} + 56 \text{ Kg/día} = 855 \text{ Kg/día}$$

- **Balance de masa desde la Homogeneización hasta la inoculación**



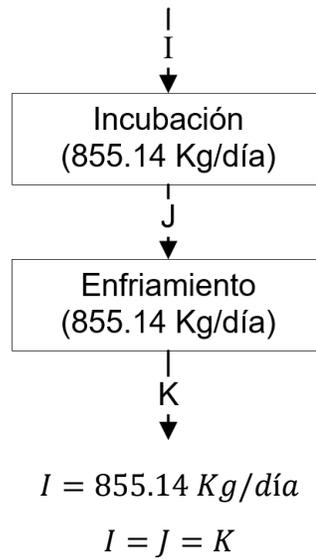
$$D = E = F = G$$

$$G + H = I$$

$$855 \text{ Kg} + 0.014 \text{ Kg} = 855.14 \text{ Kg}$$

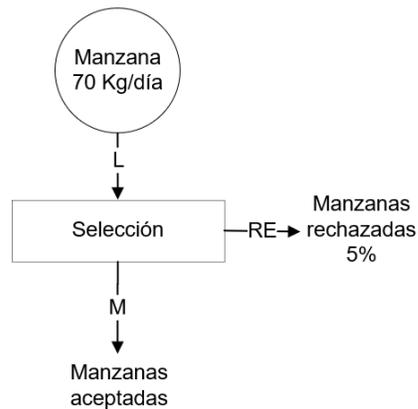
$$I = 855.014 \text{ Kg}$$

- **Balance desde la incubación**



Anexo C: Balance en la segunda etapa

- **Balance de selección de manzana**



$$L = RE + M$$

$$RE = 70 \text{ kg/día}(0.05)$$

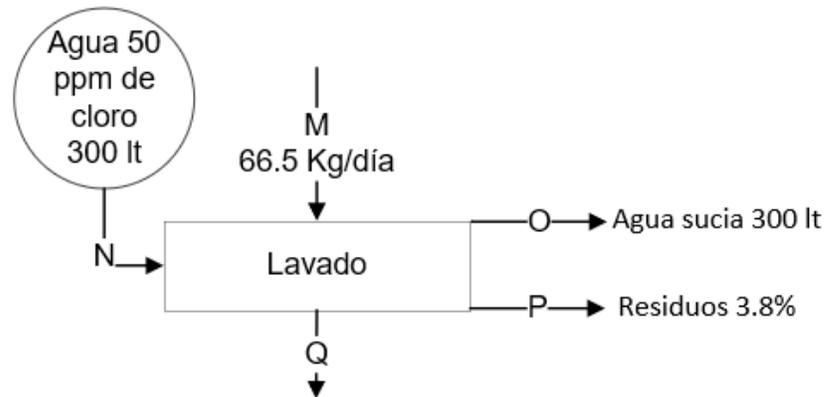
$$RE = 70 \text{ kg/día}(0.05)$$

$$RE = 3.5 \text{ kg/día}$$

$$70 \text{ kg/día} = 3.5 \text{ kg/día} + M$$

$$M = 66.5 \text{ kg/día}$$

- **Balance en lavado**



$$Q = M - P$$

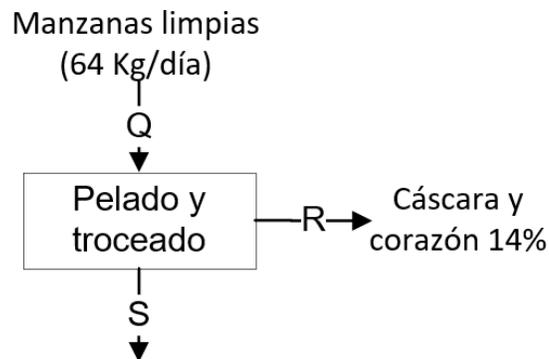
$$P = 0.038M$$

$$P = (0.038)(66.5 \text{ Kg/día}) = 2.5 \text{ Kg/día}$$

$$Q = 66.5 \text{ kg/día} - 2.5 \text{ kg/día}$$

$$Q = 64 \text{ kg/día}$$

- **Balance en el pelado**



$$S = Q - R$$

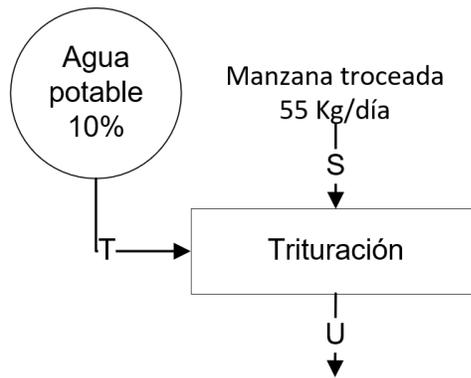
$$R = 0.14 Q$$

$$R = (0.14)(64 \text{ Kg/día}) = 8.96 \text{ Kg/día}$$

$$S = 64 \text{ Kg/día} - 8.96 \text{ Kg/día}$$

$$S = 55.04 \approx 55 \text{ Kg/día}$$

- **Balance en el triturado**



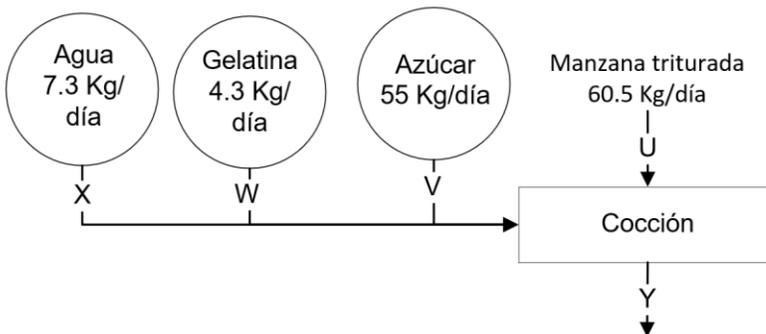
$$U = S + T$$

$$T = 0.1 S$$

$$T = 0.1 * 55 \text{ Kg/día} = 5.5 \text{ Kg/día}$$

$$U = 55 \text{ Kg/día} + 5.5 \text{ Kg/día} = 60.5 \text{ Kg/día}$$

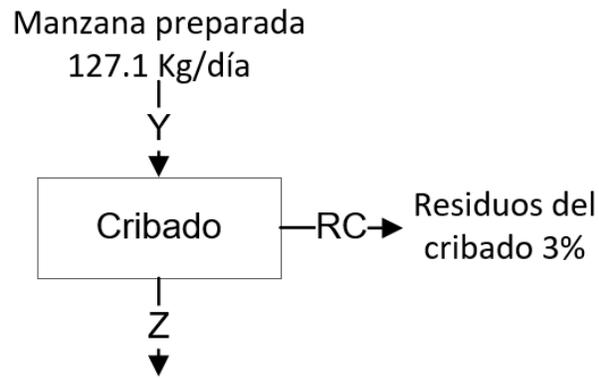
- **Balance en la cocción**



$$Y = U + X + W + V$$

$$Y = 60.5 \text{ Kg/día} + 7.3 \text{ Kg/día} + 4.3 \text{ Kg/día} + 55 \text{ Kg/día} = 127.1 \text{ Kg/día}$$

- **Balance en el cribado**



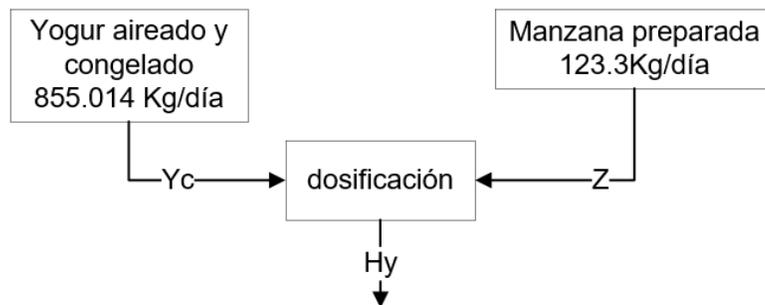
$$Z = Y - RC$$

$$RC = 0.03 * Y = 0.03(127.1Kg/día) = 3.81Kg/día$$

$$Z = 127.1Kg/día - 3.81Kg/día = 123.3Kg/día$$

Anexo D: Balance en la tercera etapa

- **Balance en la dosificación**



$$Hy = Yc + Z$$

$$Hy = 855.014Kg/día + 123.3Kg/día = 978.301Kg/día$$

Anexo E: Balance de energía primera etapa

A continuación, se presenta la siguiente tabla con el calor específico correspondiente a cada componente del helado de yogur:

Tabla 23. Calor específico de los ingredientes

Ingredientes	Cp por encima del punto de congelación	Fuente bibliográfica
Leche fluida	3.9 Kj/Kg°K	(Hayes, 1987)
Leche en polvo	1.80 Kj/Kg°K	(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., 2018)
Azúcar	0.84 kJ/kg°K	(Castro Montero & Guarda Moraga, 1986)
Yogur	3.8 Kj/Kg°K	(Tamime & Robinson, 1999)
Manzana	3.60 Kj/Kg°K	(Hayes, 1987)
Agua	4.19 Kj/Kg°K	(Earle, 1988)
Gelatina	1.29 kJ/kg°K	(Castro Montero & Guarda Moraga, 1986)

Fuente: Elaboración propia

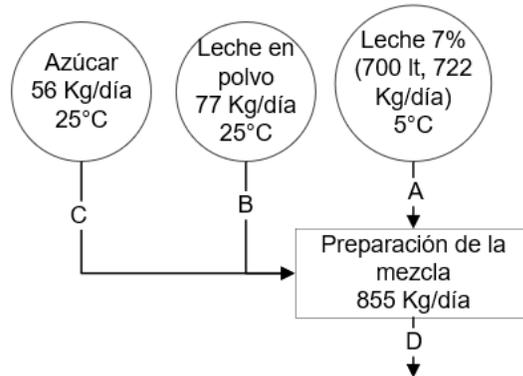
Para el cálculo de capacidades caloríficas para distintas mezclas se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 22: Capacidad calorífica de una mezcla

$$Cp_{mezcla} = \sum y_i Cp_i$$

Fuente: (Felder & Rousseau, 2004)

- **Balance en el mezclado**



Para conocer la temperatura de salida del mezclador, se utiliza la ley cero de la termodinámica, en donde se refleja que el calor perdido por la mezcla de leche en polvo y el azúcar (Q_{LA}) es igual al calor ganado por la leche fluida (Q_{LF}):

Ecuación 23. Ley cero de termodinámica

$$Q_{LF} = -Q_{LA}$$

$$m_{LF} * Cp_{LF} * T_s - T_{LF} = -m_{LA} * Cp_{LA} * T_s - T_{LA}$$

Fuente: adaptado de (Çengel & Ghajar, 2011)

A continuación, se calcula el Cp de la mezcla de leche en polvo y azúcar (Cp_{LA}) utilizando la Ecuación 22, tomando en cuenta las capacidades caloríficas de la Tabla 23 y la fracción másica de cada componente

$$Cp_{LA} = (0.42 * 0.84 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}) + (0.58 * 1.80 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{K})$$

$$Cp_{LA} = 1.39 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{K}$$

Despejando la temperatura de salida (T_s) en la Ecuación 23

$$T_s = \frac{m_{LA} Cp_{LA} T_{LA} + m_{LF} Cp_{LF} T_{LF}}{m_{LF} Cp_{LF} + m_{LA} Cp_{LA}}$$

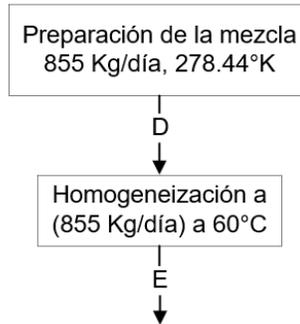
Sustituyendo:

$$T_s = \frac{(133Kg * 1.39 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{K} * 298.15^\circ\text{K}) + (722 \text{ Kg} * 3.9 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{K} * 277.15^\circ\text{K})}{(722 \text{ Kg} * 3.9 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{K}) + (133Kg * 1.39 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{K})}$$

$$T_s = 278.44^\circ\text{K} = 5.29^\circ\text{C}$$

- **Homogeneización**

A como se explicó en el acápite 4.3 es necesario elevar la temperatura de la mezcla hasta los 60°C (333.15°K) para realizar la homogeneización.



A continuación, se presentan las fracciones másicas de cada componente para calcular el Cp de la mezcla:

Tabla 24. Fracción másica de los componentes del yogur

Material del yogur	Masa (Kg)	Fracción másica
leche estandarizada	722.00	0.84
azúcar	56.00	0.07
leche en polvo	77.00	0.09
total	855	1.00

Fuente: elaboración propia

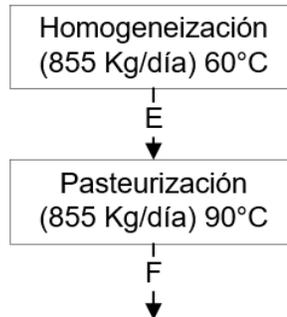
$$Cp_m = (0.84 * 3.9 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{K}) + (0.07 * 0.84 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}) + (0.09 * 1.80 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{K})$$

$$Cp_m = 3.50 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{K}$$

$$Q = 855 \text{ Kg} * 3.50 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{K} * (333.15^\circ\text{K} - 278.44^\circ\text{K})$$

$$Q = 163,719.68 \text{ Kj}$$

- **Pasteurización**



$$Q = 855 \text{ Kg} * 3.50 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{K} * (363.15^\circ\text{K} - 333.15^\circ\text{K})$$

$$Q = 89,775 \text{ Kj}$$

- **Cálculo para la selección de caldera**

Sumando el requerimiento energético en la pasteurización y homogeneización, se necesita 253,494.68 KJ/30min para calentar la leche a las temperaturas establecidas. Este valor de energía es equivalente a 506,989.36Kj/h; considerando una pérdida del 15% en el intercambiador de calor la caldera debe suministrar 596,458.07Kj/h usando vapor saturado a 8 bar (presión absoluta).

El cálculo de la cantidad de vapor necesario se realiza mediante la siguiente ecuación:

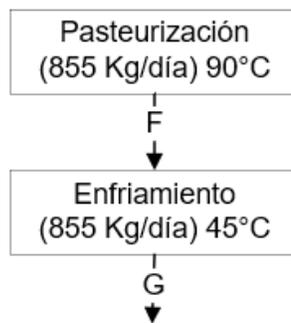
$$\dot{Q} = \dot{m} * L_v$$

Donde L_v es el calor latente del vapor saturado a 8 bar que tiene un valor de 2047.28Kj/Kg.

Sustituyendo y despejando el flujo másico obtenemos que 291.34Kg/h es el flujo de vapor requerido.

Se seleccionó una caldera capaz de producir 300Kg/h de vapor saturado a 8bar, con un BHP de 23.

- **1er. Enfriamiento**

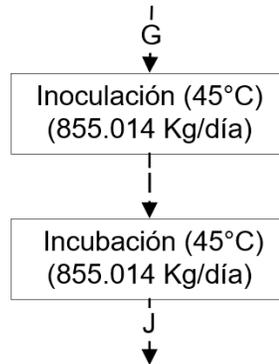


$$Q = 855Kg * 3.50Kj/Kg^{\circ}K * (318.15^{\circ}K - 363.15^{\circ}K)$$

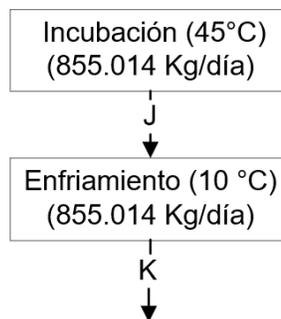
$$Q = -134,662.50 Kj$$

- **Inoculación e Incubación**

La fase de fermentación se lleva a cabo en un tanque enchaquetado y aislado. Una vez alcanzada la temperatura deseada, se considera esta fase como un sistema aislado, ya que no se producen pérdidas energéticas ni de materia.



- **2do. Enfriamiento**



$$Q = 855.014Kg * 3.8Kj/Kg^{\circ}K * (283.15^{\circ}K - 318.15^{\circ}K)$$

$$Q = -113,716.86$$

Anexo F: Balance de energía en la segunda etapa

- **Balance de energía en la elaboración de la fruta**

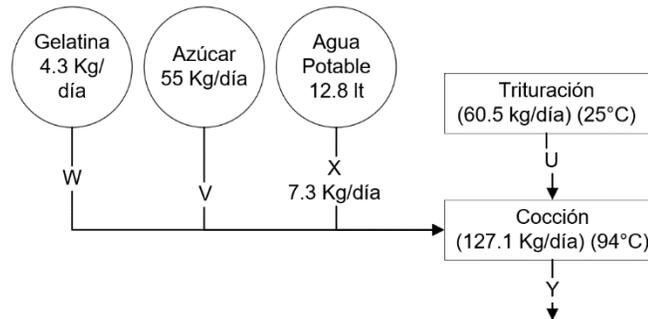
En las etapas iniciales de la preparación de la manzana, no se aplica tratamiento térmico; esta fase se lleva a cabo a TPE. El tratamiento térmico se realiza durante la cocción. A continuación, se detallan las proporciones de cada componente de la mezcla necesarias para calcular el Cp.

Tabla 25. Fracción másica de los componentes de preparación de la manzana

Materia de jalea	Masa (Kg)	Fracción másica
Manzana	55.00	0.43
Azúcar	55.00	0.43
Agua	12.80	0.10
Gelatina	4.30	0.03
Total	127.10	1.00

Fuente: Elaboración propia

- **Cocción**



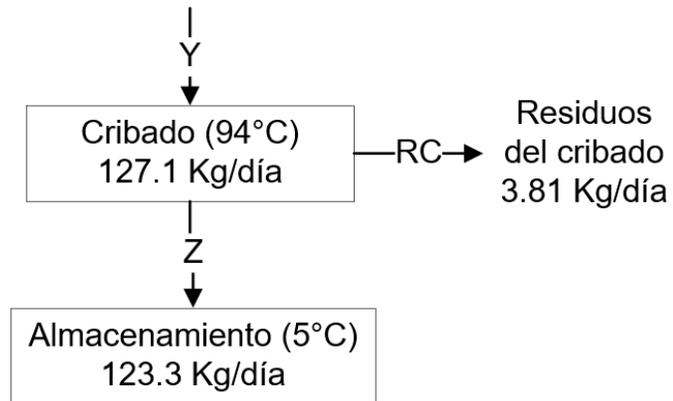
$$Cp_m = (0.43 * 3.6 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{K}) + (0.43 * 0.84 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}) + (0.1 * 4.19 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{K}) + (0.03 * 1.29 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{K})$$

$$Cp_m = 2.37 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{K}$$

$$Q = (127.1 \text{ Kg}) * (2.37 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{K}) * (367.15^\circ\text{K} - 298.15^\circ\text{K})$$

$$Q = 20,784.66 \text{ Kj}$$

- **Almacenamiento**



$$Q = (123.3 \text{ Kg}) * (2.37 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{K}) * (278.15 \text{ }^\circ\text{K} - 367.15^\circ\text{K})$$

$$Q = -26,007.67 \text{ Kj}$$

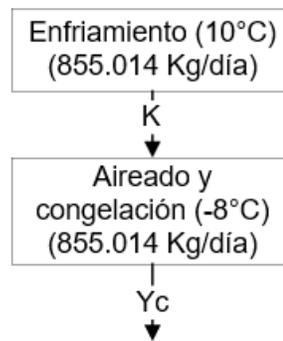
Anexo G: Balance de energía en la tercera etapa

- **Aireado y congelado**

Tabla 26. Fracción másica de los componentes de preparación de la manzana

Parámetro	Dato	Fuente bibliográfica
Calor latente de congelación	-222 Kj/Kg	(Hayes, 1987)
Calor específico bajo congelación	1.88 Kj/Kg °K	(Hayes, 1987)
Temperatura de congelación	-3°C	(Hayes, 1987)

Fuente: elaboración propia



$$Q = 855.014 \text{ Kg} * 3.8 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{K} * (270.15^\circ\text{K} - 283.15^\circ\text{K}) = -42,237.69\text{Kj}$$

$$Q_f = ML_f$$

$$Q_f = 855.014 \text{ Kg} * -222 \text{ Kj/Kg} = -189,813.10 \text{ kj}$$

$$Q = 855.014 \text{ Kg} * 1.88 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{K} * (265.15^\circ\text{K} - 270.15^\circ\text{K}) = -8,037.13 \text{ KJ}$$

$$Q = -42,237.69\text{Kj} - 8,037.13\text{KJ} - 189,813.10 \text{ kj} = -240,087.92\text{Kj}$$

Dosificación

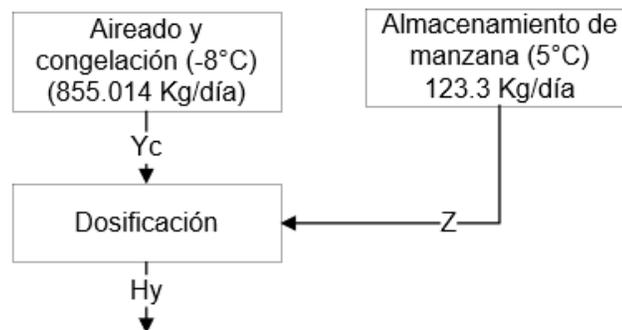


Tabla 27. Propiedades térmicas bajo congelación

Componente	T° Congelación (°C)	Cp congelación Kj/Kg°K	calor latente Kj/kg	fuelle
Manzana	-2	1.9	281	(Hayes, 1987)
Azúcar		0.84	167.47	(Potter & Hotchkiss, 1999)
Agua	0	2.01	334	(Hayes, 1987)
Gelatina	No se encontraron datos			

Dado que no se encontró datos térmicos para la gelatina y como ésta solo constituye un 3% de la mezcla total no es un porcentaje significativo.

- Cp de manzana preparada de 5°C a 0°C

$$Cp = (0.46 * 0.84Kj/Kg^{\circ}C) + (0.43 * 3.6Kj/Kg^{\circ}C) + (0.1 * 4.19Kj/Kg^{\circ}C)$$

$$Cp = 2.35 \text{ Kj/Kg}^{\circ}C$$

- Cp de manzana preparada de 0°C a -2°C

$$Cp = (0.46 * 0.84Kj/Kg^{\circ}C) + (0.43 * 3.6Kj/Kg^{\circ}C) + (0.1 * 2.01Kj/Kg^{\circ}C)$$

$$Cp = 2.13 \text{ Kj/Kg}^{\circ}C$$

- Cp de manzana preparada de -2°C a -8°C

$$Cp = (0.46 * 0.84Kj/Kg^{\circ}C) + (0.43 * 1.9Kj/Kg^{\circ}C) + (0.1 * 2.01Kj/Kg^{\circ}C)$$

$$Cp = 1.40 \text{ Kj/Kg}^{\circ}C$$

- **Cálculos para la temperatura de salida del dosificador:**

Para poder encontrar la temperatura de salida se realizó diversas iteraciones hasta dar con la correcta, por motivo de simplificación sólo se pondrá la iteración correcta con -3°C

$$Q_{yogur} = mCp[-3^{\circ}\text{C} - (-8^{\circ}\text{C})] + M_x L_x$$

$$Q_{mnz} = mCp_L[0^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C}] + mX_{ag} * L_{ag} + mCp_c[-2^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}] + mX_m L_{mg} + mcp[-3^{\circ}\text{C} - (-2^{\circ}\text{C})]$$

$$Q_{mnz} = 123.3\text{Kg}(2.35 \text{Kj/Kg}^{\circ}\text{C})(-5^{\circ}\text{C}) - 123.3\text{Kg}(0.1)(334\text{Kj/Kg}) + 123.3\text{Kg}(2.13\text{Kj/Kg}^{\circ}\text{C})(-2^{\circ}\text{C}) - 123.3\text{Kg}(0.43)(281\text{Kj/Kg}) + 123.3\text{Kg}(1.4 \text{Kj/Kg}^{\circ}\text{C})(-1^{\circ}\text{C})$$

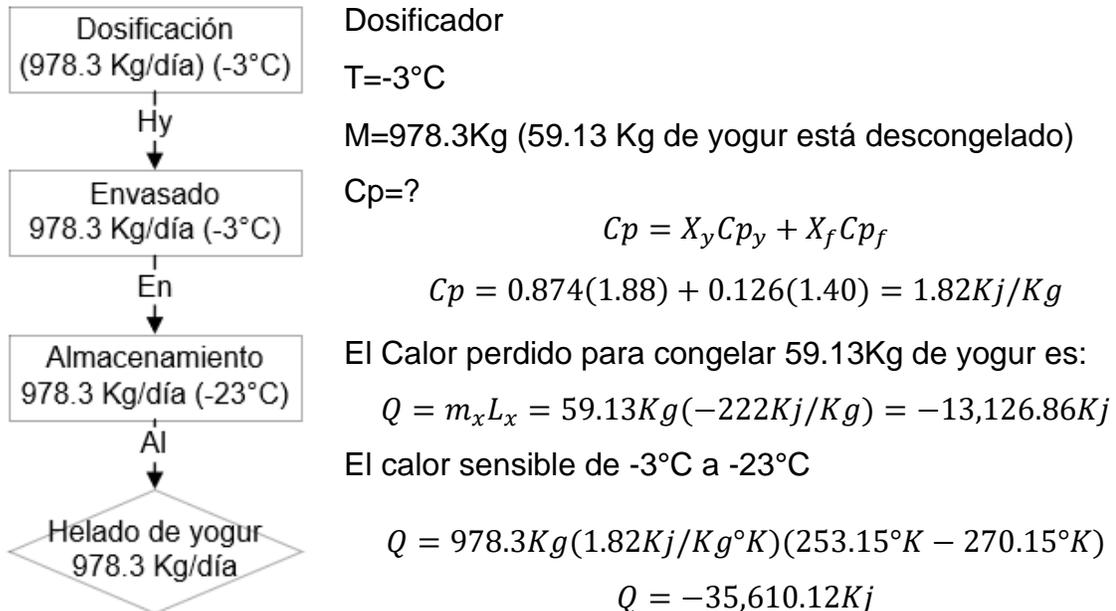
$$Q_{mnz} = -1,448.77 - 4,118.22 - 525.25 - 14,898.339 - 172.62$$

$$Q_{mnz} = -21,163.20\text{Kj}$$

$$855.014\text{Kg}(1.88\text{Kj/Kg}^{\circ}\text{K})(5) + m_x(222\text{Kj/Kg}) = 21,163.20\text{Kj}$$

$$m_x = 59.13 \text{Kg}$$

- **Balace de energía en el almacenamiento**



Anexo H: Cálculo de longitud del tubo de sostenimiento

Ecuación 24. Longitud del tubo de sostenimiento

$$V = \frac{Q \cdot TM}{3600 \cdot \eta}$$

$$L = \frac{V \cdot 4}{\pi \cdot D^2}$$

Fuente: (Tetrapak, 1996)

V=Volumen de tubería

L=Longitud de la tubería

Q=830.09L/28.44min=1751.2L/h

TM=5min=300s

η =0.85

D=0.38 dm

η : factor de eficiencia, que de acuerdo al manual Tetrapak, promedia 85%

$$V = \frac{1751.2 \frac{Lt}{h} \cdot 300s}{3600 \frac{s}{h} \cdot 0.85} = 171.68Lt (dm^3)$$

$$L = \frac{171.68dm^3 \cdot 4}{\pi \cdot (0.38dm)^2} = 1512.6dm = 151.26m$$