



*Ministerio de Educación Superior  
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa  
Dr. "Antonio Núñez Jiménez"  
Facultad Metalurgia y Electromecánica  
Departamento de Metalurgia*

# *Evaluación de los equipos para la fabricación de helado en el Combinado Lácteo de Moa.*

*Tesis en opción al título de ingeniero en metalurgia*

*Yosbel Guerra González*

*Moa 2012*



*Ministerio de Educación Superior  
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa  
Dr. "Antonio Núñez Jiménez"  
Facultad Metalurgia y Electromecánica  
Departamento de Metalurgia*

# *Evaluación de los equipos para la fabricación de helado en el Combinado Lácteo de Moa.*

*Tesis en opción al título de ingeniero en metalurgia*

*Autor: Yosbel Guerra González*

*Firma.....*

*Tutores: Ing. Yennis Ávila Torres*

*Firma.....*

*Dr. C. Amaury Palacios Rodríguez*

*Firma.....*

*Moa 2012*



## **AGRADECIMIENTOS**

*He llegado a la cumbre de mi carrera, la que he transcurrido con optimismo y dedicación en un período de cinco años, los cuales han sido los más significativos de mi vida.*

*Quisiera empezar agradeciendo lo que soy a nuestra Revolución por haberme forjado en la cantera de los conocimientos.*

*.....Sin dudas agradecerle a mis padres Nilda González Barzaga y René Guerra Carcaces, a mi hermana Yelena Guerra González por brindarme siempre su apoyo incondicional, bajo cualquier circunstancia y por siempre confiar en que podía construir mi futuro.*

*.....A mi novia Lisandra Reynosa Caballero y familiares por todo su apoyo.*

*.....A mis tutores, la Ing. Yennis Ávila Torres y el Dr.C. Amaury Palacios Rodríguez por depositar toda su confianza en mi para realizar esta investigación.....*

*.....A los trabajadores del Combinado Lácteo de Moa y en especial a Georgina*

*.....A mis compañeros de aula y de beca.....*

*.....A todos aquellos que de una forma u otra han hecho posible la realización de este trabajo, aunque no los mencione a todos les estaré eternamente agradecido.*



## Resumen

El propósito del trabajo fue evaluar los equipos de producción de helado en el Combinado Lácteo de Moa. Una caracterización de la materia prima y los principales equipos dieron paso al cálculo de balance de masa y energía donde se realizó el análisis de cada equipo por separado y se determinó que en el mezclador – pasteurizador luego de preparar la mezcla se necesita circular un flujo de 0,066 kg/s para lograr 75 °C en la mezcla y en el intercambiador de placas se necesita regular los parámetros de operación para lograr el cumplimiento de los objetivos del proceso. Se recomendó la instalación de equipos capaces de medir flujo y temperatura en la instalación para poder controlar el proceso.



## **Abstract**

The purpose of the work was to evaluate the equipments for the production of ice cream in the milky cocktail of moire silk. A characterization of the raw material and the main equipments took steps to the calculation of rocking of mass and energy in which it is carried out the analysis of each equipment separately and it is decided that in the mixing machine – pasteuriser after preparing the mixture a flux of 0.066 kg/s is needed pass to achieve 75 °C in the mixture and in the intercambiador of plates it needs regulate to him the parameters of operation to achieve the fulfillment of the objectives of the process. Recommended the installation of equipments capable of measure flux and temperature in the installation to control the process.



## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....</b>	<b>4</b>
1.1. PROCESO PRODUCTIVO DEL COMBINADO LÁCTEO DE MOA.....	4
1.1.1. Proceso tecnológico para la producción yogurt de soya y Leche Saborizada .....	5
1.1.2. Proceso tecnológico para la producción de helado .....	7
1.1.2.1. Mezclado - Pasteurizado .....	7
1.1.2.2. Homogenizado.....	7
1.1.2.3. Enfriamiento.....	8
1.1.2.4. Envejecimiento .....	8
1.1.2.5. Congelado .....	8
1.1.3. Factores que influyen en el producto terminado.....	10
1.2. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS .....	11
1.2.1. Trabajos realizados en empresas de productos lácteos .....	11
1.2.2. Balances de masa y energía realizados en otras industrias.....	13
<b>CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
2.1. MATERIALES EMPLEADOS .....	15
2.2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO .....	15
2.2.1. Balance de masa.....	15
2.2.1.1. Representación del esquema e identificación de las variables de entrada y salida .....	16
2.2.1.2. Características de la materia prima .....	16
2.2.1.3. Cálculos del balance de masa .....	17
2.2.2. Balance de energía .....	21
2.2.2.1. Representación del esquema e identificación de las variables de entrada y salida .....	21
2.2.2.2. Caracterización del equipamiento.....	22
2.2.2.3. Cálculo del balance de energía. ....	23



- CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS..... 31**
- 3.1. CÁLCULO DEL BALANCE DE MATERIAL ..... 31
  - 3.1.1. Cálculo de la masa de la mezcla..... 31
  - 3.1.2. Cálculo de la masa de sólidos no grasos ..... 31
  - 3.1.3. Cálculo de la masa de grasa..... 32
  - 3.1.4. Cálculo de la masa de azúcar, sal y estabilizador ..... 33
  - 3.1.5. Cálculo del volumen de aire ..... 33
- 3.2. CÁLCULO DEL BALANCE DE ENERGÍA..... 36
  - 3.2.1. Mezclador Pasteurizador..... 36
    - 3.2.1.1. Pasteurización de la leche ..... 36
    - 3.2.1.2. Preparación de la mezcla ..... 38
    - 3.2.1.3. Pasteurización de la mezcla ..... 42
  - 3.2.2. Homogenización..... 43
  - 3.2.3. Cortina de enfriamiento ..... 43
  - 3.2.4. Tanques de envejecimiento..... 45
  - 3.2.5. Frigorizador ..... 46
- CONCLUSIONES ..... 48**
- RECOMENDACIÓN ..... 49**
- BIBLIOGRAFÍA ..... 50**
- ANEXOS**



## **INTRODUCCIÓN**

Al triunfo de la revolución cubana, la Industria Alimenticia Nacional no presentaba avances de consideración en su desarrollo; salvo contadas firmas que operaban con capital norteamericano, o subsidiarias de firmas norteamericanas, las fábricas dedicadas a la producción de alimentos contaban por lo general con tecnologías atrasadas, eminentemente artesanales y no llegaba a cubrir las necesidades de la población por lo que nos convertía en un país importador de casi la totalidad de los productos alimenticios para el consumo de la población.

El desarrollo de la Industria Alimenticia Cubana, comienza con el triunfo de la revolución. A partir del proceso de nacionalización de la industria por el gobierno revolucionario se crean las condiciones necesarias para comenzar el desarrollo de la producción, iniciándose la agrupación de las fábricas en sectores especializados, la mejora de las instalaciones existentes y la ejecución de nuevas inversiones.

La producción de la Industria Alimenticia que abarca más de 2000 surtidos, tiene como actividades fundamentales: la carne, leche y sus derivados, la molinación de cereales, las pastas alimenticias, confituras, pan, repostería, galletas, las conservas de frutas y vegetales, las bebidas, refrescos, las cervezas y maltas. Dentro de las unidades productivas que presenta, integra la Unión Láctea, la cual juega un papel substancial dentro las producciones alimenticias y es por tal razón que desempeña una ardua labor en desarrollar y mejorar la eficiencia tecnológica, encaminada al aumento productivo y calidad del producto, para proporcionar un desarrollo mutuo, armonioso y así beneficiar a toda la sociedad.

Entre los surtidos elaborados en las producciones de lácteos se encuentra el helado, que forma parte de los productos alimentarios de nuestra sociedad y es en



1930 que comienza su producción industrial en nuestro país. En la actualidad consta de 17 empresas productoras de helado, conocido como el “alimento congelado”.

Dentro de la unión láctea que agrupa la producción y comercialización de leche y otros productos lácteos, producción de leche de soya y sus derivados se encuentra el Combinado Lácteo (Pasteurizadora) “El Vaquerito”; es un establecimiento de la Empresa de Productos Lácteos de Holguín, se encuentra ubicado en el municipio de Moa, en la Avenida 7 de Diciembre, carretera de la Universidad. Surge el 4 de marzo de 1988, teniendo en cuenta como encargo social la producción de leche fluida y yogurt de leche hasta el año 1992, a partir de esta fecha se paraliza la fábrica por falta de materia prima y otros recursos a raíz del recrudecimiento del periodo especial, en esta fecha se inicia la distribución de leche en polvo por leche a finales de 1995 buscando diferentes alternativas para la alimentación de los niños y la población en general. Aprovechando la introducción de la soya en nuestro país se comienza el montaje de la línea de soyr y queso crema, la cual empieza a producir en 1996. En el 2004 surge el área de producción de helados para ampliar la producción de la empresa. La cual, presta servicio además, a entidades laborales estatales, como es el caso de las industrias del níquel que se encuentran en el municipio.

Para su construcción fue necesario aprovechar las instalaciones con las que contaba el centro en esos momentos, lo que trajo como consecuencia que el diseño de la fábrica tuviera características atípicas, en comparación con las otras fábricas del país. Y representa una limitante para evaluar determinadas situaciones que se presentan en el proceso.

La UEB de producción de helados, debido a la falta de recursos se instaló con equipos recuperados de otras entidades, sin realizar los cálculos pertinentes; convirtiéndose esto en una limitante del proceso productivo, originando inestabilidad en la eficiencia y eficacia.



Por lo antes mencionado se declara como **problema** el insuficiente conocimiento de los parámetros operacionales de los equipos para la fabricación de helados en el Combinado Lácteo de Moa.

El **objeto de estudio** lo constituyen los equipos de fabricación de helados en el Combinado Lácteo de Moa.

Realizar la evaluación de los equipos para la fabricación de helados en el Combinado Lácteo de Moa, constituye el **Objetivo General** de la investigación.

Se enuncia como **hipótesis**:

Si se realiza una correcta evaluación entonces se podrán conocer los parámetros de operación de los equipos para la fabricación de helados en el Combinado Lácteo de Moa.

#### **Objetivos específicos:**

- ✚ Caracterizar el proceso productivo de helado en el Combinado Lácteo de Moa.
- ✚ Realizar la metodología de cálculo del balance de masa y energía para detectar las principales causas que dificultan el cumplimiento de los parámetros tecnológicos.
- ✚ Proponer soluciones que garanticen el cumplimiento de los parámetros tecnológicos.

Para lograr el cumplimiento del objetivo propuesto, se plantean las siguientes **tareas**:

- ✚ Recopilación y análisis de las informaciones relacionadas con el tema.
- ✚ Evaluación del flujo tecnológico.
- ✚ Ejecución de los cálculos de balance de masa y energía.



## **CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL**

En el capítulo se realiza un análisis sobre los diferentes aspectos que se encuentran relacionados con los temas discutidos en la bibliografía consultada, con el objetivo de disponer de los elementos básicos para la realización del trabajo. Se realiza una descripción de los principales procesos de fabricación de helado.

### **1.1. Proceso productivo del Combinado Lácteo de Moa**

El Combinado Lácteo de Moa “EL VAQUERITO” constituye un desarrollo económico del país en condición de mercado actual; cobra gran importancia tanto en su volumen como en su costo y tiene como objetivo fundamental la producción de productos lácteos derivado de la leche y la soya para satisfacer la necesidad de la población en general.

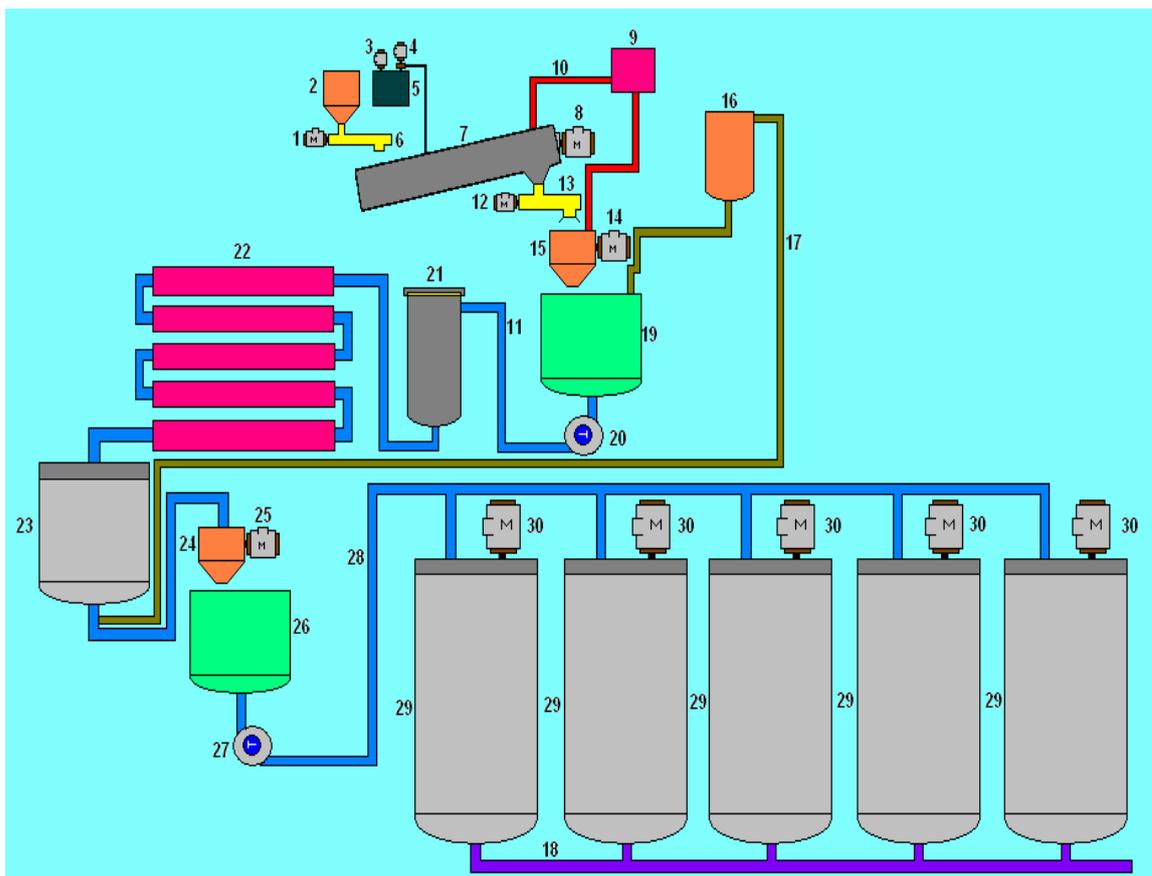
Como principales objetivos se tienen:

- Producir, distribuir y comercializar de forma mayorista leche en polvo, yogurt, helados, quesos, mezclas físicas alimenticias y otros productos lácteos en moneda nacional y convertible.
- Comercializar de forma mayorista las producciones del resto de las entidades de la unión láctea en moneda nacional y convertible.
- Brindar servicios gastronómicos a los trabajadores de la entidad y al sistema en moneda nacional.
- Efectuar la venta a trabajadores de las entidades del sistema de la industria alimenticia los excedentes de las producciones y el autoconsumo de los productos lácteos, cárnicos y agrícolas en moneda nacional.

En el Combinado Lácteo se destacan dos esquemas tecnológicos que caracterizan las principales producciones que salen de esa instalación para el consumo de la población.

### 1.1.1. Proceso tecnológico para la producción yogurt de soja y Leche Saborizada

El Combinado Lácteo entre una de las líneas de producción, contempla la fabricación del yogurt de soja y leche saborizada. La producción comienza con la hidratación del frijol de soja que luego es enviada por medio de un transportador sinfín hasta el molino y mediante dos etapas se alcanza la granulometría requerida en la producción de leche de soja (figura 1.1).



**Figura 1.1.** Esquema tecnológico para la producción de yogurt de soja y Leche Saborizada



## Leyenda

1. Motor del Dosificador # 1	2. Tanque de recepción de la Soya
3. Agitador del tanque de bicarbonato	4. Bomba de bicarbonato
5. Tanque de bicarbonato	6. Dosificador # 1
7. Sinfín	8. Motor del sinfín
9. Tanque de suministro de agua caliente	10. Conductos de agua caliente
11. Conductos de la Soya molida	12. Motor del dosificador # 2
13. Dosificador # 2	14. Motor del molino # 1
15. Molino # 1	16. Tanque receptor de la soya cruda
17. Conducto de recirculación de la soya cruda	18. Conducto del producto terminado
19. Tanque receptor del primer molinado de la soya	20. Bomba neumática (400 l/min)
21. Calefactor	22. Serpentín retenedor
23. Tanque de flacheo	24. Molino # 2
25. Motor del molino # 2	26. Tanque receptor del segundo molinado de la soya
27. Bomba neumática. (400 l/min)	28. Conducto de la soya para los tanques de producto
29. Tanques de producto terminado	30. Agitadores.(1,2,3,4,5)

Para culminar el proceso de yogurt de soya el producto se bombea de la línea nueva hasta el área de producción en los tanques 4 y 5 para llevar a cabo los procesos siguientes:

- A la leche estandarizada se le añade el azúcar en forma de sirope. El sirope se prepara añadiendo el azúcar al tanque, previamente pesada y se incorpora el 30 % de agua, se pasteuriza a 90 °C y se le adiciona el color y sabor.
- La leche de soya con el azúcar debe tener entre 1,054 y 1,056 kg/L, se refresca hasta un rango de 42 a 45 °C y se inocula con el cultivo industrial.
- El tiempo de coagulación es de 2,3 a 3 horas con una acidez de 0,34 %.
- Se enfría hasta 6 °C y se embolsa en la máquina embolsadota con una masa de 936 g y volumen no menor de 11 mL.



### **1.1.2. Proceso tecnológico para la producción de helado**

La otra línea de producción, es la fabricación del helado. Inicialmente se realizan operaciones básicas de aseguramiento y preparación de la materia prima y luego se incorpora al área productiva, que consta de cinco procesos principales que se detallan a continuación:

#### **1.1.2.1. Mezclado - Pasteurizado**

Primero se pasteuriza la leche de vaca, a una temperatura de 90 °C para eliminar los microorganismos patógenos presentes y así evitar que se descomponga. Luego se van añadiendo los demás componentes que conforman la mezcla azúcar, estabilizador (carboximetilcelulosa), grasa vegetal, sal y leche de soya. El orden de adición de los ingredientes de la mezcla debe ser de los de menor a los de mayor solubilidad y es de suma importancia el cumplimiento de este pues incide en la disolución de los mismos y evita la formación de grumos que pueden provocar pérdidas de materia prima y alteración en la composición del producto. Por otro lado el uso del estabilizador en las cantidades necesarias permite que se retarde el crecimiento de los cristales de hielo además le proporciona suavidad, textura, resistencia al derretimiento y firmeza al cuerpo del helado. La grasa vegetal se añade en dependencia de la cantidad que tenga la materia prima y se le adiciona con el fin de mejorar las características del estabilizador.

El objetivo del proceso es:

- Eliminar la totalidad de la flora patógena.
- Ayudar a la correcta disolución de los ingredientes.
- Hacer un producto más uniforme.

#### **1.1.2.2. Homogenizado**

Después que la mezcla es pasteurizada llega al Homogeneizador, en el que se comprime para fraccionar los glóbulos de grasa hasta un rango de 0,4 a 0,1  $\mu\text{m}$  logrando de esta forma la suavidad y textura deseada.



El proceso tiene como objetivo:

- Mejorar el batimiento de la mezcla al ser congelada.
- Dar mejor cuerpo y suavidad en la textura del producto terminado.

#### **1.1.2.3. Enfriamiento**

Después que la mezcla es homogenizada pasa por la cortina de enfriamiento que es un intercambiador de calor de placas en el cual se le introduce un flujo de agua fría, para disminuir la temperatura de la mezcla hasta 4 °C.

El objetivo del proceso es:

- Evitar la reaglomeración de los glóbulos de grasa, lográndose de esta forma la emulsión deseada.
- Disminuir la temperatura hasta la del próximo proceso.

#### **1.1.2.4. Envejecimiento**

Al enfriarse la mezcla en la cortina de enfriamiento pasa a almacenarse en tanques isotérmicos donde se mantiene de 4 a 24 h para efectuar el envejecimiento o maduración de esta, el cual ocurre a una temperatura de 2 a 6 °C.

El proceso tiene como objetivo:

- Que el estabilizador finalice su combinación con el agua libre de la mezcla.
- La correcta hidratación de las proteínas.
- La solidificación de los glóbulos de grasas.
- Aumento de la viscosidad.

#### **1.1.2.5. Congelado**

En el proceso la mezcla se transforma de su estado líquido a un estado semisólido, completando su congelación en el proceso de endurecimiento en las neveras. Al congelador llega la mezcla después que se le adiciona el sabor y el color. En él la mezcla es batida, a la vez que se le incorpora aire proveniente de

un compresor equipado con un filtro y tanque de almacenamiento. En las tuberías de interconexión entre el tanque de almacenamiento de aire y el cañón congelador existe una válvula que regula el paso del aire. Cuando la mezcla se congela tiende a adherirse a las paredes interiores del cañón, el cual posee un mutador provisto de cuchillas que se encargan de raspar el helado y llevarlo al interior donde es batido.

El objetivo del proceso es:

- Obtener un helado más suave debido a que los cristales de hielo son más pequeños a consecuencia de la mayor velocidad de batimiento.
- Obtener un producto más uniforme.

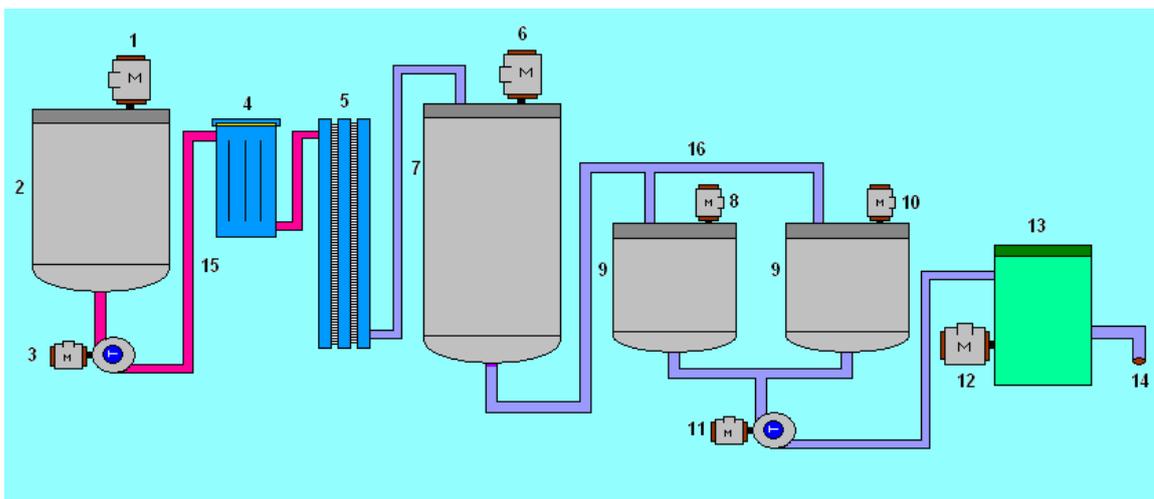


Figura 1.2. Esquema tecnológico para la producción de helado

**Leyenda**

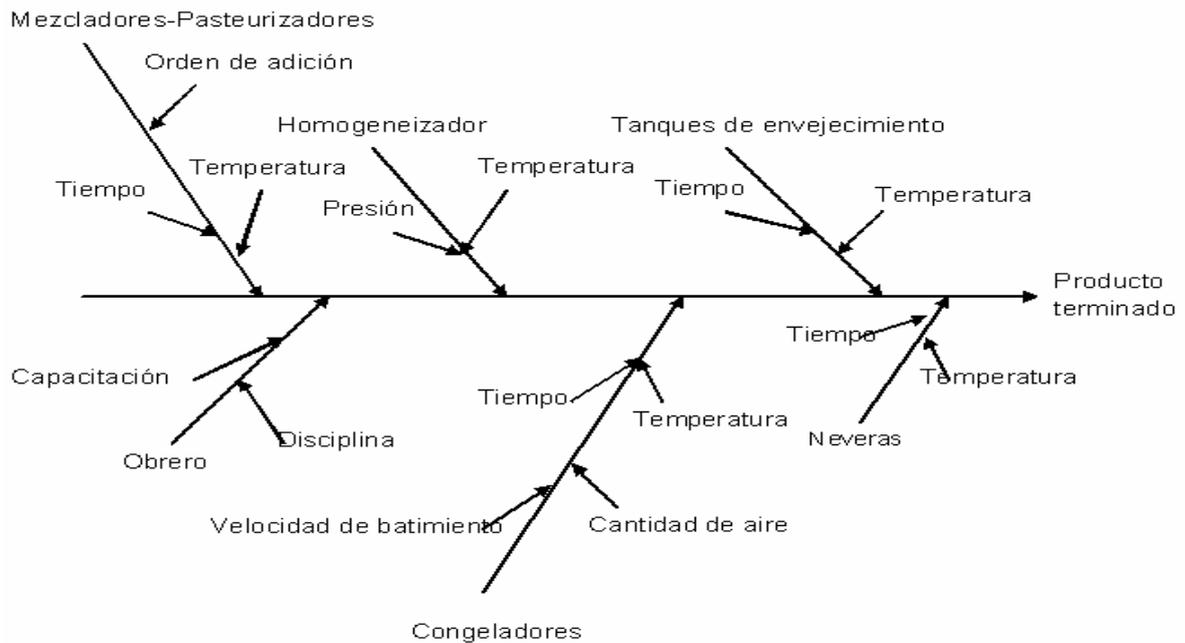
1. Agitador del tanque de preparación de la mezcla	2. Tanque de preparación de la mezcla
3. Bomba doble pistón	4. Homogenizador
5. Cortina de enfriamiento	6. Agitador del tanque de la mezcla terminada
7. Tanque de la mezcla terminada	8. Agitador del tanque de recepción de la mezcla
9. Tanque de recepción de la mezcla terminada	10. Agitador del tanque de recepción de la mezcla
11. Bomba mono pistón	12. Motor de la máquina de hacer Helado
13. Frigorizador	14. Salida del producto terminado



### 1.1.3. Factores que influyen en el producto terminado

En la (figura 1.3), muestra los factores que influyen el producto terminado en cada área del proceso productivo. En el mezclador - pasteurizador influye la estandarización y preparación de los ingredientes, el orden de adición de los componentes de la mezcla, así como la temperatura y tiempo a los que se realiza la mezcla, debido a que temperaturas y tiempos bajos no ocurre un mezclado correcto y no se elimina toda la flora patógena. En el homogeneizador influye principalmente la presión debido a que si esta es muy baja no se fraccionan los glóbulos de grasa y se afecta la composición física de la mezcla, además la temperatura debe ser la indicada pues de lo contrario no se asegura la velocidad adecuada para que se produzcan los choques y con ellos la disminución del diámetro de los glóbulos. La temperatura es el factor que más influye en el proceso de enfriamiento, si no se alcanza la temperatura requerida, los glóbulos de grasa fraccionado en el proceso anterior se unen nuevamente, generando deficiencias en la calidad del producto. En los tanques de envejecimiento incide el tiempo de permanencia pues si este es menor de 4 h no ocurre la correcta hidratación de las proteínas de la leche, no se obtiene la viscosidad adecuada, la combinación del estabilizador con el agua libre de la mezcla y la solidificación de los glóbulos de grasa no son los correctos. La temperatura de 4 °C es otra variable que influye para que los estabilizadores actúen y para evitar la proliferación de los microorganismos. En el área de congelación una de las variables fundamentales es la temperatura de congelación la cual debe ser de - 4 °C para que el helado pueda fluir y además incorporar la cantidad de aire requerida, cuya cantidad es importante pues está vinculada al volumen del helado final y por consiguiente el rendimiento de la mezcla. Otra variable es la velocidad de batimiento la cual debe estar entre los valores establecidos para evitar que se formen grandes cristales de hielo y así incorporar más aire. En la nevera influye fundamentalmente la temperatura y el tiempo de retención debido a que a temperaturas superiores de -20 °C el aire incorporado al helado comienza a separarse de la mezcla y entonces disminuye el rendimiento y la calidad; el tiempo porque es indispensable un tiempo

de retención para cada tipo de envase según su tamaño. Por último y no menos importante resulta la actividad del obrero, su capacitación y disciplina pues él es quien opera cada equipo y debe controlar las normas de operación y calidad a lo largo del proceso.



**Figura 1.3.** Diagrama de Ishikawa (Causa-Efecto)

## 1.2. Antecedentes Bibliográficos

En los últimos años se ha invertido mayor esfuerzo en elevar la eficiencia y rentabilidad de las empresas productoras, y en este caso se encuentra La Unión Láctea; que garantiza una gran variedad de productos alimenticios. Por el impacto social que estas industrias representan, se han dirigido varias investigaciones encaminadas al perfeccionamiento de las tecnologías, utilizando herramientas que permitan analizar y evaluar el funcionamiento del equipamiento y las operaciones.

### 1.2.1. Trabajos realizados en empresas de productos lácteos

Con el objetivo de mejorar la calidad y las operaciones de producción de los lácteos se han realizado varios trabajos en estas empresas donde se destacan los que a continuación se presentan:



En diferentes instituciones de producción de lácteos se han utilizado metodologías de cálculo para determinar la cantidad de materia prima a añadir. Tal es el caso de (Machín 1998), que centra su trabajo en realizar un balance de masa con el objetivo de determinar la cantidad exacta de los componentes de la mezcla para la producción de helados de diferentes clasificaciones en la Actuación Industrial del núcleo urbano de Guadalajara – México.

(González 2000), realizó un balance de energía para la fábrica de productos lácteos de Pinar del Río con el propósito de determinar las deficiencias que causan la falta de calidad en el producto final y detectó que el principal problema estaba dado por la caldera que proporciona el vapor de agua para la pasteurización de los alimentos. No se tuvieron en cuenta los valores de pérdidas de calor por las tuberías, ya que este valor se desprecia por la correcta insulación y pequeña longitud.

(Peña, Romero et al. 2009), realizaron un estudio estadístico en la empresa de productos lácteos Siboney de Santiago de Cuba, y se escogió la microbiología del helado como el índice de calidad cuyo comportamiento influye en la calidad del producto y por ende en el costo de producción. Se construyó un diagrama causa - efecto donde aparecen representadas las causas que originan la proliferación de microorganismos indeseados.

Se propuso un Sistema para la Gestión Energética en el Combinado Lácteo de Moa "El Vaquerito" teniendo en cuenta el análisis de los consumos de portadores energéticos en la empresa y sus costos asociados. Mediante la realización del diagnóstico energético, se establecieron las reservas en el uso de la energía e implantaron medidas organizativas y de inversión que permitieron elevar la eficiencia y la gestión energética. Se definieron los principales puestos claves de consumo de energía calculando y estableciendo nuevos índices de consumo por producto. (Gallardo. 2009)

(Labrada 2010) en su investigación realizó una evaluación en la fábrica de helados de Holguín a partir de un balance de masa y energía. Detectó que el principal



problema que afectaba la calidad del helado estaba dado por el ciclo de refrigeración de la nevera, debido a que el equipamiento no garantizaba la productividad requerida. En la investigación no se evaluó el funcionamiento de todos los equipos involucrados en el proceso, limitando la información necesaria en función de elevar la calidad de la producción.

En otra investigación se realizó un análisis integral de la producción de frío en el combinado lácteo de Moa que facilitó la toma de decisiones operacionales y la utilización de los recursos energéticos con el menor costo e impacto medioambiental, donde se evaluó el ciclo de refrigeración por compresión de vapores de amoníaco y estiman las cargas térmicas de refrigeración para las cámaras de endurecimiento de helado y conservación de yogurt. Realiza además el balance energético y exegético de la instalación. (Ducas 2012)

### **1.2.2. Balances de masa y energía realizados en otras industrias.**

En la práctica industrial, las corrientes que entran y salen de un sistema durante un intervalo de tiempo, pueden ser medidas y analizadas, a partir de un balance de masa. Esta herramienta de cálculo resulta particularmente útil para determinar los flujos y composiciones de dichas corrientes. Por esta razón muchas de las investigaciones realizadas en el análisis y evaluación de un sistema se apoyan en estos cálculos. A continuación se mencionan estudios que utilizan esta herramienta y alcanzan conclusiones concretas para la solución de diferentes problemas.

El balance de masa y energía se ha utilizado para contabilizar de forma más eficiente las pérdidas de calor (orificios y mirillas del horno), así como el cálculo del calor químico, calor sensible, obteniendo de esa manera resultados relevantes sobre las pérdidas de energía. (Pineda 1980)

Se implementó además para calcular las pérdidas potenciales (Girón 2008). Y determinar el consumo de combustible por zonas de un horno de soleras múltiples (Tamayo 2008). Ambas investigaciones permitieron la determinación del consumo de combustible y al mismo tiempo mejorar la Eficiencia Energética en este equipo.



Más tarde fue necesario realizar un análisis de las potencialidades de producción más limpia en la Unidad Básica de Producción de Hornos de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” y proponer alternativas para darle solución o minimizar los problemas detectados. Esta evaluación se realizó con el apoyo de un balance de masa que permitió determinar la cantidad de polvo que se emitía al medio. (Blanco 2009 )

Otra aplicación que se le ha dado a esta metodología de cálculo fue en la confección de una base de cálculo que permitió evaluar los principales parámetros del proceso de fundición en el Horno de Arco Eléctrico, para fundir y obtener ferróniquel (González 2011).

(Manh 2010), elaboró un software especializado, basado en un balance de masa y energía, integrando coherentemente los procesos que ocurren en un horno. Para la validación de la metodología propuesta, se realizó un análisis comparativo con otras bases de datos de plantas de ferróniquel existentes en el mundo.

### **Conclusiones parciales**

El análisis bibliográfico permitió conocer que:

- No se ha realizado una evaluación de la tecnología para la producción de helado en el Combinado Lácteo de Moa.
- El balance de masa y energía resulta ser un método eficiente para la evaluación de la tecnología para la producción de helado en el Combinado Lácteo de Moa.



## **CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS**

En el capítulo se describe la metodología de evaluación de los principales equipos involucrados en el proceso de producción de helados en el Combinado Lácteo de Moa, la cual se basa en el cálculo del balance de masa y energía para determinar que equipo y por ende que proceso no cumple con los parámetros de operación requeridos.

### **2.1. Materiales empleados**

Termómetro de mercurio.

Balanza

Software para realizar el gráfico del ciclo de refrigeración del amoníaco.

Computadora

### **2.2. Metodología de cálculo**

El balance de masa y energía puede considerarse como un método fundamental de la ingeniería en general o de la ingeniería metalúrgica en particular. Generalmente está relacionado con aspectos comunes como el diseño y la evaluación de equipos o procesos en una planta industrial. También puede ser empleado como criterio para la evaluación económica del proceso, conociendo las cantidades de productos obtenidos y los requerimientos energéticos necesarios para ello.

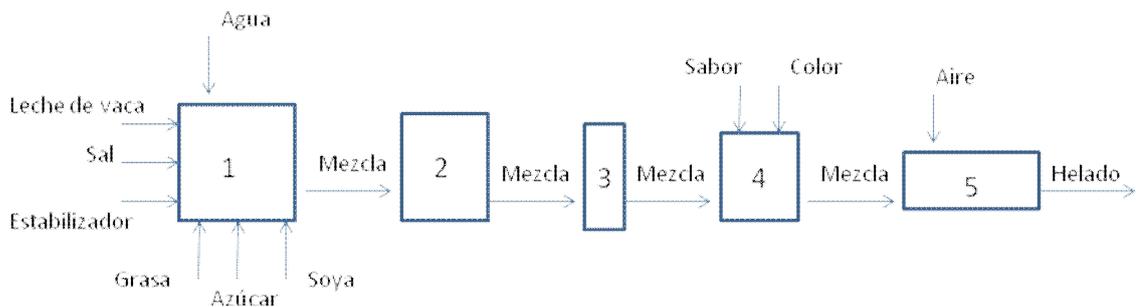
#### **2.2.1. Balance de masa**

El balance de masa no presenta reacciones químicas por lo tanto se basa principalmente en la contabilización de los componentes de la mezcla y en la ley de conservación de la masa.



### 2.2.1.1. Representación del esquema e identificación de las variables de entrada y salida

Para la producción de helado uno de los pasos importantes de la metodología de balance es la esquematización del sistema material, el cual se representa en la figura 2.1.



**Figura 2.1.** Esquema del balance de materiales

En la figura se muestran los procesos que intervienen en el balance de materiales que son: el mezclado – pasteurizado (1), donde se añaden los componentes que se representan en la figura; en el homogeneizador (2) y el enfriador de placas (3), la mezcla no varía su masa. En el tanque de envejecimiento (4) se añaden el sabor y el color pero en pequeñas cantidades, por lo que no se considera significativo en el balance, ya en el frigorizador (5) se le adiciona el aire que le dará la composición final al helado.

### 2.2.1.2. Características de la materia prima

En la fabricación del helado cada empresa se rige por una receta seleccionada según el tipo de helado que se desea obtener. En el caso del Combinado Lácteo la principal producción es el helado al 30 % de soya y la composición de la materia prima se describe en la tabla 2.1.



**Tabla 2.1.** Composición de la materia prima según la norma

Ingredientes	% Grasa	% SNG	% Sól Totales	% Humedad
Grasa	100,000	-	100,000	-
Leche de vaca	26,000	71,000	97,000	3,000
Soya	-	100,000	100,000	-
Azúcar	-	100,000	100,000	-
Sal	-	100,000	100,000	-
Estabilizador	-	100,000	100,000	-
Agua	-	-	-	100,000

La tabla ofrece la composición en contenido de los componentes que conforman la materia prima, el contenido de sólidos totales está compuesto por los sólidos no grasos (SNG) y la grasa, el resto lo compone el agua.

### 2.2.1.3. Cálculos del balance de masa

Para el cálculo del balance es necesario conocer la receta del helado al 30 % de soya, que se fabrica en la instalación y se muestra en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2.** Receta del helado al 30 % de soya

Total de mezcla (1000 L)	% de sólidos totales (ST)		31,550	
	% de grasa	7,000		
	% de estabilizador (ES)	0,450		
	% de azúcar	17,000		
	% de sal	0,100		
	% de sólidos no grasos (SNG)	7,000	% de soya	30,000
			% de leche de vaca (LV)	70,000
	% de agua		68,450	

La Tabla 2.2. Muestra la receta del helado al 30 % de soya el cual está compuesto por 31,550 % de sólidos totales y el resto de agua, dentro de los sólidos totales se encuentran el 7 % de grasas y el 7 % de sólidos no grasos con respecto al total de mezcla, donde el último está compuesto por el 30 % de soya y el 70 % de leche de vaca con respecto al contenido de sólidos no grasos.



El balance de masa parte de la ecuación fundamental, plantea que la suma de todas las masas que entran al proceso tiene que ser igual a la suma de todas las masas que salen. Se realiza para 1000 L de mezcla y cada equipo por separado; primeramente en el mezclador pasteurizador y luego en el frigorizador, en los otros equipos la masa de la mezcla no sufre cambios considerables.

Ecuación fundamental del balance de masa:

$$\sum m(\text{entrada}) = \sum m(\text{salida}) \quad 2.1$$

donde:

$\sum m(\text{entrada})$ : sumatoria de las masa que entran al proceso, kg;

$\sum m(\text{salida})$ : sumatoria de las masa que salen del proceso, kg;

### **Cálculo de la masa de la mezcla**

$$m(\text{Mezcla}) = \rho(\text{Mezcla}) \cdot V(\text{Mezcla}) \quad 2.2$$

donde:

$m(\text{Mezcla})$ : masa de la mezcla, kg;

$\rho(\text{Mezcla})$ : densidad de la mezcla,  $\text{kg/m}^3$ ;

$V(\text{Mezcla})$ : volumen de mezcla,  $\text{m}^3$ .

Para realizar el cálculo de la densidad en la mezcla, se parte de las densidades que presentan los componentes en la materia prima y el contenido que representan en la mezcla; la ecuación para el cálculo se muestra a continuación:

$$\frac{1}{\rho(\text{Mezcla})} = \frac{X(\text{Grasa})}{\rho(\text{Grasa})} + \frac{X(\text{Otros})}{\rho(\text{Otros})} + \frac{X(\text{Agua})}{\rho(\text{Agua})} \quad 2.3$$

donde:

$\rho(X)$ : densidad del componente (x),  $\text{kg/m}^3$ ;

$X(X)$ : fracción másica del componente.



### **Cálculo de la masa de ingredientes de la mezcla**

En el cálculo de la masa de sólidos no grasos (SNG) primeramente se determina la cantidad total y luego la cantidad de cada componente, comenzando con el 30 % de soya y posteriormente se completa con la leche de vaca y como se puede ver en la tabla 2.1 solo aporta un 71 % de sólidos no grasos.

### **Cálculo de la masa de sólidos no grasos**

$$m(SNG) = \frac{m(Mezcla) \cdot \% (SNG)}{100} \quad 2.4$$

donde:

% (SNG): contenido de sólidos no grasos;

m (SNG) masa de sólidos no grasos, kg;

Cálculo de la masa de Soya

$$m(Soya) = \frac{m(SNG) \cdot \% (Soya)}{100} \quad 2.5$$

donde:

% (Soya): contenido de Soya;

m (Soya): masa de Soya, kg;

Cálculo de la masa de leche

Para el cálculo es necesario primeramente determinar la cantidad de sólidos no grasos que falta para completar el 100 %, y luego determinar que masa de leche aporta dicha cantidad.

$$m(SNG)_{nec} = m(SNG) - m(Soya) \quad 2.6$$

donde:

$m(SNG)_{nec}$  : masa necesaria de sólidos no grasos, kg.

La masa de leche se determina por la razón matemática, si 100 kg de leche aporta 71 kg de sólidos no grasos entonces ¿qué cantidad de leche se necesita para alcanzar la  $m(SNG)_{nec}$  ?



$$m(\text{Leche}) = \frac{100 \cdot m(\text{SNG})_{\text{nec}}}{\%(\text{SNG})_{\text{Leche}}} \quad 2.7$$

### **Cálculo de la masa de grasa**

La masa de grasa en la mezcla está compuesta por la que aporta la leche y la vegetal que se le agrega, primeramente se determina la masa total de grasa que debe tener la mezcla y luego la diferencia resultante de la masa de grasa en la mezcla y en la leche, representa la grasa vegetal a añadir.

$$m(\text{Grasa}) = \frac{m(\text{Mezcla}) \cdot \%(\text{Grasa})}{100} \quad 2.8$$

donde:

$m(\text{Grasa})$ : masa de grasa en la mezcla, kg.

$$m(\text{Grasa})_L = \frac{\%(\text{Grasa})_L \cdot m(\text{Leche})}{100} \quad 2.9$$

donde:

$m(\text{Grasa})_L$ : masa de grasa que aporta la leche, kg;

$\%(\text{Grasa})_L$ : contenido de grasa dentro de la leche, kg.

$$m(\text{Grasa})_v = m(\text{Grasa}) - m(\text{Grasa})_L \quad 2.10$$

donde:

$m(\text{Grasa})_v$ : masa de grasa vegetal a añadir, kg.

### **Cálculo de la masa de azúcar, sal y estabilizador**

$$m(X) = \frac{m(\text{Mezcla}) \cdot \% (X)}{100} \quad 2.11$$

donde:

$m(X)$ : masa del componente que se desea calcular, kg;

$\%(X)$ : contenido del componente que se desea calcular.



## Cálculo del volumen de aire

Para el cálculo del volumen de aire se determina primeramente el contenido de aire máximo que se debe añadir a la mezcla y se determina por la siguiente expresión; según la norma:

$$\% (Aire)_{m\acute{a}x} = 2 \cdot [\% (Grasa) + \% (SNG) + \% (ST)] \quad 2.12$$

donde:

$\% (Aire)_{m\acute{a}x}$  : contenido de aire máximo

Una vez determinado el contenido de aire se procede a calcular el volumen de aire que representa dicho contenido, se recomienda trabajar con un 5 % por debajo del volumen máximo.

$$v (Aire) = \frac{v (Mezcla) \cdot \% (Aire)}{100} \quad 2.13$$

### 2.2.2. Balance de energía

La metodología del cálculo del balance de energía está conformada inicialmente con la representación gráfica e identificación de las variables de entrada y salida de cada proceso, luego continua con la caracterización del equipamiento, posteriormente se efectúa el cálculo del balance de energía, se prosigue con el análisis de los resultados y se culmina con las proposiciones para mejorar el proceso si es necesario.

El balance de energía se realiza en cada equipo por separado y de manera comparativa, con los datos de los caloportadores reales y los de la mezcla a la salida como lo plantea la norma de producción.

#### 2.2.2.1. Representación del esquema e identificación de las variables de entrada y salida

El sistema está basado en el aporte de energía y en los consumo de estas por lo que podemos decir que:



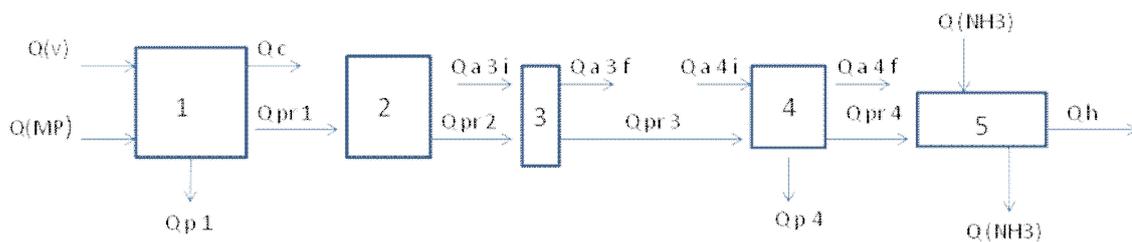
$$\sum Q(\text{entrada}) = \sum Q(\text{salida}) + \sum Q_p \quad 2.14$$

donde:

$\sum Q(\text{entrada})$ : sumatoria de los calores que entran al proceso, kJ;

$\sum Q(\text{salida})$ : sumatoria de los calores que salen del proceso, kJ;

$\sum Q_p$ : sumatoria de los calores que se pierden, kJ;



**Figura 2.2** Esquema del balance de energía

En la figura se muestran los aportes y salidas de calor en los cinco equipos del proceso, mezclador – pasteurizador (1), homogeneizador (2), enfriador de placas (3), tanque de envejecimiento (4), frigorizador (5).

### 2.2.2.2. Caracterización del equipamiento

A continuación se presentan las principales características del equipamiento involucrado en el proceso de producción de helado.

**Tabla 2.3.** Dimensiones, Material de construcción y Unidades de los equipos

Equipos	Dimensiones	Material de construcción	Unidades
Mezclador - Pasteurizador	$D_{ext} = 1,400 \text{ m}$ , $H = 1,35 \text{ m}$ , $Cap = 1500 \text{ L}$	Acero inoxidable	1
Homogeneizador	$L = 1,60 \text{ m}$ , $H = 1,070 \text{ m}$ , $A = 1,520 \text{ m}$	Acero inoxidable	1
Cortina de enfriamiento	$H = 0,75 \text{ m}$ , $B = 0,20 \text{ m}$	Acero inoxidable	1
Tanques de Envejecimiento	$D_{ext} = 1,400 \text{ m}$ , $H = 1 \text{ m}$ , $Cap = 1500 \text{ L}$	Acero inoxidable	2
Congelador	$Cap = 600 \text{ kg/h}$ $Q_{m\acute{a}x} = 105000 \text{ kJ/h}$	Acero inoxidable	1



**Tabla 2.4.** Equipos principales, Operaciones, Función y Razón de ser

<b>Equipos</b>	<b>Operaciones</b>	<b>Función</b>	<b>Razón de ser</b>
Mezclador- Pasteurizador	Mezclado  Transferencia de calor	Unir las materias primas  Eliminar los microorganismos patógenos presentes	Mezclar los componentes de la materia prima  Pasteurizar la leche a 90°C y la mezcla a 75 °C
Cortina de enfriamiento	Transferencia de calor	Enfriar la mezcla	Disminuir la temperatura hasta un rango de 2 a 6 °C
Tanques de envejecimiento	Transferencia de calor	Conservación y maduración de la mezcla	Evitar la proliferación de microorganismos y lograr una buena hidratación de las proteínas
Congeladores	Transferencia de calor	Congelar la mezcla	Congelar la mezcla hasta -4 °C para retener el aire incorporado y obtener el helado semicongelado

### **2.2.2.3. Cálculo del balance de energía**

En la determinación de la temperatura en los agentes calentadores y enfriadores. Las mediciones se realizaron en tres ocasiones en producciones distintas para garantizar valores más representativos. En el caso de las temperaturas de los agentes calentadores o enfriadores se determina introduciendo un termómetro en las líneas de entrada y salida de los equipos. Para determinar el flujo de los mismos se realizó midiendo en un recipiente el tiempo en que alcanzaba un volumen determinado. La capacidad calorífica de la leche se encuentra tabulado en el anexo 1, las restantes sustancia se tomaron en la Sexta edición del Perry en el 2001.



## Mezclador – pasteurizador

En el equipo ocurren varios procesos, primero se pasteuriza la leche, luego preparan la mezcla, adicionando los ingredientes que necesita y posteriormente se pasteuriza la mezcla.

### Pasteurización de la leche

**Tabla 2.5.** Índices de entrada y salida del proceso de pasteurización de la leche

Título de índices	Ecuaciones para el cálculo
<b>Índices de entrada de calor</b>	
Calor que entra con el vapor de agua	$Q_1 = m(H_2O) \cdot Cp(H_2O) \cdot t_{ebull}(H_2O) + m(H_2O) \cdot \lambda(H_2O)$
Calor que entra con la leche	$Q_2 = m(Leche) \cdot Cp(Leche) \cdot t(Leche)$
<b>Índices de salida de calor</b>	
Calor que sale con la leche	$Q_3 = m(Leche) \cdot Cp(Leche) \cdot t(Leche)$
Calor que sale con el condensado	$Q_4 = m(Cond) \cdot Cp(Cond) \cdot ts(Cond)$
Calor que se pierde por las paredes del equipo	$Q_5 = q \cdot F \cdot tb$

Para determinar el calor aportado por el vapor de agua ( $Q_1$ ) hay que tener en cuenta que el agua se calienta hasta la temperatura de ebullición y luego sigue consumiendo calor para el cambio de estado, según indica la ecuación 2,15 (Kasatkin 1971). La mayoría de los datos se toman del (Pavlov 1981).

$$Q_1 = m(H_2O) \cdot Cp(H_2O) \cdot t_{ebull}(H_2O) + m(H_2O) \cdot \lambda(H_2O) \quad 2.15$$

donde:

$m(H_2O)$ : masa de agua, kg;

$Cp(H_2O)$ : capacidad calorífica del agua, kJ/(kg·K);

$t_{ebull}(H_2O)$ : temperatura de ebullición del agua, °C;

$\lambda(H_2O)$ : coeficiente de cambio de estado o entalpía de vaporización del agua, kJ/kg.

El cálculo de los calores 2, 3 y 4, como no ocurre cambio de estado en la sustancia se determina por la ecuación 2.16.

$$Q(x) = m(x) \cdot Cp(x) \cdot t(x) \quad 2.16$$

donde:



$m(x)$  : masa de la sustancia, kg;

$Cp(x)$  : capacidad calorífica de la sustancia, kJ/(kg·K);

$t(x)$  temperatura que posee la sustancia en el momento del cálculo, °C.

El calor que se pierde por las paredes y el fondo del equipo se determina según (Mariño, Mora et al. 1994) por la ecuación siguiente:

$$Q_5 = q \cdot F \cdot tb \quad 2.17$$

donde:

$tb$  : tiempo de balance, s;

$q$  : flujo térmico específico, W/m<sup>2</sup>;

$F$  : área del tanque que se encuentra en contacto con el aire, m<sup>2</sup>.

Al determinar el calor que se pierde en el equipo hacia el medio ambiente, el flujo térmico específico se determina por la ecuación 2.18. (Kerln 1970)

$$q = at \cdot (t_{ext} - t_{aire}) \quad 2.18$$

donde:

$at$  : coeficiente total de entrega térmica, W/(m<sup>2</sup>·K);

$t_{aire}$  : temperatura del aire en el medio ambiente, °C;

$t_{ext}$  : temperatura de la superficie en contacto con el aire, °C.

El coeficiente total de entrega térmica se determina por la ecuación siguiente (Kasatkin, 1987)

$$at = 9,74 + 0.07 \cdot (t_{ext} - t_{aire}) \quad 2.19$$

Es necesario también conocer el área del equipo en contacto con el medio para obtener la cantidad de calor que se pierde por todo el equipo.

$$F = \pi \cdot d \cdot h + 0.785 \cdot d^2 \quad 2.20$$

donde:

$F$  : área de la superficie en contacto con el aire, m<sup>2</sup>;

$d$  : diámetro del tanque, m;



$h$  : altura del tanque, m.

### Preparación de la mezcla

**Tabla 2.6** Índices de entrada y salida del proceso de preparación de la mezcla

Título de índices	Ecuaciones para el cálculo
<b>Índices de entrada de calor</b>	
Calor aportado por la leche	$Q_1 = m(Leche) \cdot Cp(Leche) \cdot t(Leche)$
Calor aportado por la soya	$Q_2 = m(Soya) \cdot Cp(Soya) \cdot t(Soya)$
Calor que aporta el agua	$Q_3 = m(H_2O) \cdot Cp(H_2O) \cdot t(H_2O)$
Calor aportado por la sal	$Q_4 = m(Sal) \cdot Cp(Sal) \cdot t(Sal)$
Calor aportado por la azúcar	$Q_5 = m(Azúcar) \cdot Cp(Azúcar) \cdot t(Azúcar)$
Calor aportado por la estabilizador	$Q_6 = m(Estab) \cdot Cp(Estab) \cdot t(Estab)$
Calor aportado por la grasa	$Q_7 = m(Grasa) \cdot Cp(Grasa) \cdot t(Grasa)$
<b>Índices de salida de calor</b>	
Calor que sale con la mezcla	$Q_8 = m(Mezcla) \cdot Cp(Mezcla) \cdot t(Mezcla)$
Calor que se pierde por las paredes del equipo	$Q_9 = q \cdot F \cdot tb$

En el proceso a diferencia del calor que se pierde por las paredes del equipo que se calcula por la ecuación 2.18, todos se determinan por la ecuación 2.16.

### Cálculo para la recomendación

La recomendación de operación del equipo se realiza para que cumpla los parámetros de operación en el proceso, iniciando con el cálculo de la cantidad de calor que se necesita para lograr la temperatura en la mezcla y garantizar las pérdidas, y a partir del resultado obtenido se determina el flujo de vapor de agua que garantiza esa cantidad de calor.

Cálculo de la cantidad de calor necesaria

$$Q_{nec} = Q_{nec}(mezcla) + Q_p \quad 2.21$$

donde:

$Q_{nec}$  : calor que se necesita, kJ;



$Q_{nec}(mezcla)$ : calor que necesita la mezcla para calentarse hasta 75 °C, kJ, se determina por la ecuación 2.16;

$Q_p$ : calor que se pierde por las paredes del equipo, kJ. Se determina por la metodología antes mencionada

Como la cantidad de calor que se transfiere en el equipo es el calor de cambio de estado del vapor de agua, la masa de este para garantizar el calor necesario se determina por la ecuación siguiente, y con el tiempo de balance del proceso se puede obtener el flujo de vapor necesario.

$$m(vapor) = \frac{Q_{nec}}{\lambda(agua)} \tag{2.22}$$

donde:

$m(vapor)$ : masa de vapor de agua, kg.

Una vez determinada la masa de vapor de agua que se debe circular por la camisa exterior del equipo se procede a calcular las ecuaciones siguientes:

**Tabla 2.6.1** Índices de entrada y salida del proceso de preparación de la mezcla en la recomendación

Título de índices	Ecuaciones para el cálculo
<b>Índices de entrada de calor</b>	
Calor aportado por la materia prima	$Q_1 = m(MP) \cdot Cp(MP) \cdot t(MP)$
Calor aportado por el vapor de agua	$Q_2 = m(H_2O) \cdot Cp(H_2O) \cdot t_{ebull}(H_2O) + m(H_2O) \cdot \lambda(H_2O)$
<b>Índices de salida de calor</b>	
Calor que sale con la mezcla	$Q_3 = m(Mezcla) \cdot Cp(Mezcla) \cdot t(Mezcla)$
Calor que sale con el condensado	$Q_4 = m(Cond) \cdot Cp(Cond) \cdot t(Cond)$
Calor que se pierde por las paredes del equipo	$Q_5 = q \cdot F \cdot tb$



### Pasteurización de la mezcla

**Tabla 2.7** Índices de entrada y salida del proceso de pasteurización de la mezcla

Título de índices	Ecuaciones para el cálculo
<b>Índices de entrada de calor</b>	
Calor aportado por la mezcla.	$Q_1 = m(\text{Mezcla}) \cdot Cp(\text{Mezcla}) \cdot t(\text{Mezcla})$
<b>Índices de salida de calor</b>	
Calor que sale con la mezcla	$Q_2 = m(\text{Mezcla}) \cdot Cp(\text{Mezcla}) \cdot t(\text{Mezcla})$
Calor que se pierde por las paredes del equipo	$Q_3 = q \cdot F \cdot tb$

Como se puede ver las ecuaciones para realizar el cálculo de los calores, en la entrada o en la salida son las mismas que en los procesos anteriores.

### Enfriamiento

Este es un equipo que su régimen de trabajo es continuo por tal motivo los cálculos se realizan para ese régimen.

**Tabla 2.8** Índices de entrada y salida del proceso de enfriamiento de la mezcla

Título de índices	Ecuaciones para el cálculo
<b>Índices de entrada de calor</b>	
Calor aportado por la mezcla	$Q_1 = G(\text{Mezcla}) \cdot Cp(\text{Mezcla}) \cdot t(\text{Mezcla})$
Calor aportado por el agua	$Q_2 = G(H_2O) \cdot Cp(H_2O) \cdot t(H_2O)$
<b>Índices de salida de calor</b>	
Calor que sale con la mezcla	$Q_3 = G(\text{Mezcla}) \cdot Cp(\text{Mezcla}) \cdot t(\text{Mezcla})$
Calor que sala con el agua	$Q_4 = G(H_2O) \cdot Cp(H_2O) \cdot t(H_2O)$

En este proceso como el régimen de trabajo es continuo los calores físicos de las sustancias entrantes y salientes se determinan por la ecuación 2.23.

$$Q = G(x) \cdot Cp(x) \cdot t(x) \tag{2.23}$$

donde:

$G(x)$  : gasto másico de la sustancia en cuestión, kg/s.



## Frigorizador

En el frigorizador, el cálculo se realiza de forma distinta a los demás equipos porque no se cuenta con un dispositivo capaz de determinar el flujo de amoníaco que entra al equipo y para realizar el balance es de suma importancia conocer este valor.

Para el cálculo del frigorizador es necesario conocer primeramente la capacidad calorífica antes y después del cambio de estado, la temperatura de congelación y el coeficiente de cambio de estado del helado, estos valores se encuentran tabulados en el anexo 1. También es necesario conocer la entalpía del amoníaco a la entrada y a la salida del equipo, estos datos se toman del diagrama obtenido del Software REFUTIL y se encuentra en el anexo 2.

Para determinar la cantidad de refrigerante que se necesita para enfriar el flujo de mezcla que circula por el equipo es necesario calcular la carga térmica del frigorizador ( $Q_0$ ) la cual está compuesta por la cantidad de calor que se necesita para enfriar la mezcla hasta la temperatura de congelación ( $Q_1$ ), el calor necesario para el cambio de estado ( $Q_2$ ) y la cantidad de calor necesaria para seguir enfriando el helado desde la temperatura de congelación hasta la de salida ( $Q_3$ ), según (Plasencia, Valdés et al. 2000)

$$Q_1 = G(\text{Mezcla}) \cdot C_{p_{\text{sup}}}(\text{Mezcla}) \cdot [t_e(\text{Mezcla}) - t_c(\text{Mezcla})] \quad 2.24$$

donde:

$C_{p_{\text{sup}}}(\text{Mezcla})$ : capacidad calorífica de la mezcla con temperatura superior a la de congelamiento, kJ/(kg·K);

$t_c(\text{Mezcla})$ : temperatura de congelación de la mezcla, °C.

$$Q_2 = G(\text{Mezcla}) \cdot \lambda(\text{Mezcla}) \quad 2.25$$

donde:

$\lambda(\text{mezcla})$ : coeficiente de cambio de estado de la mezcla, kJ/kg.



$$Q_3 = G(\text{Mezcla}) \cdot Cp_{\text{inf}}(\text{Mezcla}) \cdot [tc(\text{Mezcla}) - ts(\text{Mezcla})] \quad 2.26$$

donde:

$Cp_{\text{inf}}(\text{Mezcla})$ : capacidad calorífica de la mezcla con temperatura inferior a la de congelamiento, kJ/(kg·K);

#### **Cálculo de la cantidad de refrigerante.**

$$G(\text{NH}_3) = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{q_2 - q_1} \quad 2.27$$

donde:

$Q_0$ : carga térmica del intercambiador, kJ;

$q_0$ : variación de la entalpía del refrigerante, kJ/kg;

$G(\text{NH}_3)$ : gasto másico de amoníaco, kg/s.

#### **Conclusiones parciales**

- ◆ La metodología de cálculo desarrollada permite conocer los parámetros de operación de cada proceso y que equipo no los cumple.



### CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En el capítulo se muestran los resultados de la metodología de cálculo para evaluar el equipamiento utilizado en la fabricación de helado con el apoyo del balance de masa y energía.

#### 3.1. Cálculo del balance de material

Para realizar los cálculos se utilizan los datos obtenidos del análisis del laboratorio.

##### 3.1.1. Cálculo de la masa de la mezcla

Según la ecuación 2.3 se obtiene la densidad de la mezcla

$$\rho(\text{Mezcla}) = \frac{1}{\frac{0,070}{0,930} + \frac{0,246}{1,587} + \frac{0,685}{1,000}} \quad \frac{\text{kg}}{\text{L}} = \frac{1}{\frac{\text{kg}}{\text{L}} + \frac{\text{kg}}{\text{L}} + \frac{\text{kg}}{\text{l}}}$$

$$\rho(\text{Mezcla}) = 1,094 \text{ kg/L} = 1093,538 \text{ kg/m}^3$$

Luego se sustituye en la ecuación 2.2 para obtener la masa total de mezcla.

$$m(\text{Mezcla}) = 1,094 \cdot 1000,000 \quad \text{kg} = \frac{\text{kg}}{\text{L}} \cdot \text{L}$$

$$m(\text{Mezcla}) = 1093,538 \text{ kg}$$

##### 3.1.2. Cálculo de la masa de sólidos no grasos

Según la ecuación la ecuación 2.4 se determina la masa de sólidos no grasos que se encuentran en la mezcla.

$$m(\text{SNG}) = \frac{1093,538 \cdot 7,000}{100} \quad \text{kg} = \frac{\text{kg} \cdot \%}{\%}$$

$$m(\text{SNG}) = 76,548 \text{ kg}$$



El cálculo de la masa de soya se realiza sustituyendo los valores en la ecuación 2.5.

$$m(\text{Soya}) = \frac{76,548 \cdot 30,000}{100} \qquad kg = \frac{kg \cdot \%}{\%}$$

$$m(\text{Soya}) = 22,964 \text{ kg}$$

El cálculo de la masa de sólidos no grasos que se necesita para completar la masa total se realiza sustituyendo los valores en la ecuación 2.6.

$$m(\text{SNG})_{nec} = 76,548 - 22,964 \qquad kg = kg - kg$$

$$m(\text{SNG})_{nec} = 53,583 \text{ kg}$$

Si se sustituyen los datos en la ecuación 2.7, se determina la masa de leche necesaria para completar la masa de sólidos no grasos necesaria.

$$m(\text{Leche}) = \frac{100 \cdot 53,583}{71} \qquad kg = \frac{kg \cdot kg}{kg}$$

$$m(\text{Leche}) = 75,470 \text{ kg}$$

### 3.1.3. Cálculo de la masa de grasa

Al sustituir la masa de la mezcla y el contenido de grasa que debe tener la mezcla en la ecuación 2.8 se obtiene la masa de grasa que representa dicho contenido.

$$m(\text{Grasa}) = \frac{1093,538 \cdot 7,000}{100} \qquad kg = \frac{kg \cdot \%}{\%}$$

$$m(\text{Grasa}) = 76,548 \text{ kg}$$

La masa de grasa que aporta la leche de vaca se determina por la ecuación 2.9.

$$m(\text{Grasa})_L = \frac{26 \cdot 75,470}{100} \qquad kg = \frac{\% \cdot kg}{\%}$$

$$m(\text{Grasa})_L = 19,622 \text{ kg}$$

Según la ecuación 2.10 se determina la masa de grasa que se debe añadir para completar el contenido de grasa en la mezcla.

$$m(\text{Grasa})_v = 76,548 - 19,622 \qquad kg = kg - kg$$

$$m(\text{Grasa})_v = 56,926 \text{ kg}$$



### 3.1.4. Cálculo de la masa de azúcar, sal y estabilizador

La masa de los componentes se determina sustituyendo los contenidos que representan en la masa de la mezcla según indica la ecuación 2.11.

$$m(\text{Azúcar}) = \frac{1093,538 \cdot 17,000}{100} \qquad \text{kg} = \frac{\text{kg} \cdot \%}{\%}$$

$$m(\text{Azúcar}) = 185,901 \text{kg}$$

$$m(\text{Sal}) = 1,094 \text{kg}$$

$$m(\text{Estabilizador}) = 4,921 \text{kg}$$

Una vez determinada la masa de cada componente de la mezcla podemos construir la tabla 3.1 que representa la composición de la mezcla y la cantidad de cada ingrediente que se debe añadir en unidad de masa y de volumen.

**Tabla 3.1** Composición de la mezcla de helado

Ingredientes	Grasa	SNG	Azúcar	Sal	Estabilizador	Agua	Total, kg	%	Total, L	%
Grasa	56,926		-	-	-	-	56,926	5,206	82,309	8,231
Leche V	19,622	53,583	-	-	-	2,264	75,470	6,901	33,764	3,376
Soya	-	22,964	-	-	-	-	22,964	2,100	14,470	1,447
Azúcar	-	-	185,901	-	-	-	185,901	17,000	117,140	11,714
Sal	-	-	-	1,094	-	-	1,094	0,100	0,689	0,069
Estabilizador	-	-	-	-	4,921	-	4,921	0,450	3,101	0,310
Agua	-	-	-	-	-	746,262	746,262	68,243	748,527	74,853
Total	76,548	76,548	185,901	1,094	4,921	748,527	1093,538	-	1000,000	-
%	7,000	7,000	17,000	0,100	0,450	68,450	-	100,000	-	100,000

### 3.1.5. Cálculo del volumen de aire

El contenido máximo de aire se determina por la ecuación 2.14, a partir de la sumatoria del contenido de los sólidos no grasos, la grasa y los sólidos totales multiplicado por dos.

$$\% (\text{Aire})_{\text{máx}} = 2 \cdot [7,000 + 7,000 + 31,550] \qquad \% = \% + \% + \%$$

$$\% (\text{Aire})_{\text{máx}} = 91,100 \%$$



Se recomienda trabajar con un 5 % por debajo del máximo de aire que se debe añadir; se obtiene el volumen de aire por la ecuación 2.13.

$$v(\text{Aire}) = \frac{1000,000 \cdot 86,100}{100}$$

$$L = \frac{L \cdot \%}{\%}$$

$$v(\text{Aire}) = 861,000 \text{ L} = 1,113 \text{ kg}$$

**Tabla 3.2.** Resumen del balance de masa

Entrada											
Ingredientes	Grasa	SNG	Azucar	Sal	Estabilizador	Agua	Aire	Total kg	%	Total L	%
Grasa	56,926	-	-	-	-	-	-	56,926	5,200	82,309	4,423
Leche V	19,622	53,583	-	-	-	2,264	-	75,470	6,894	33,764	1,814
Soya	-	22,964	-	-	-	-	-	22,964	2,098	14,470	0,778
Azúcar	-	-	185,901	-	-	-	-	185,901	16,983	117,140	6,294
Sal	-	-	-	1,094	-	-	-	1,094	0,100	0,689	0,037
Estabilizador	-	-	-	-	4,921	-	-	4,921	0,450	3,101	0,167
Agua	-	-	-	-	-	746,262	-	746,262	68,174	748,527	40,222
Aire	-	-	-	-	-	-	1,113	1,113	0,102	861,000	46,265
Total	76,548	76,548	185,901	1,094	4,921	748,527	1,113	1094,651	-	1861,000	-
%	6,993	6,993	16,983	0,100	0,450	68,380	0,102	-	100,000	-	100,000
Salida											
Helado	76,548	76,548	185,901	1,094	4,921	748,527	1,113	1094,651	-	1861,000	100,000
Total	76,548	76,548	185,901	1,094	4,921	748,527	1,113	1094,651	-	1861,000	-
%	6,993	6,993	16,983	0,100	0,450	68,380	0,102	-	100,000	-	100,000

El balance de masa teóricamente se cumple con los parámetros requerido, pero debido a la falta de equipamiento en el laboratorio no se pudo comprobar prácticamente, la única posibilidad de comprobación práctica es:

Según los cálculos realizados el helado debe tener una densidad de 0,591 kg/m<sup>3</sup>, por lo tanto 10 L de helado deben tener una masa de 5,912 kg, se realizó un muestreo de 10 cubetas de helado de 10 L cada una y de obtuvieron los resultados siguientes:



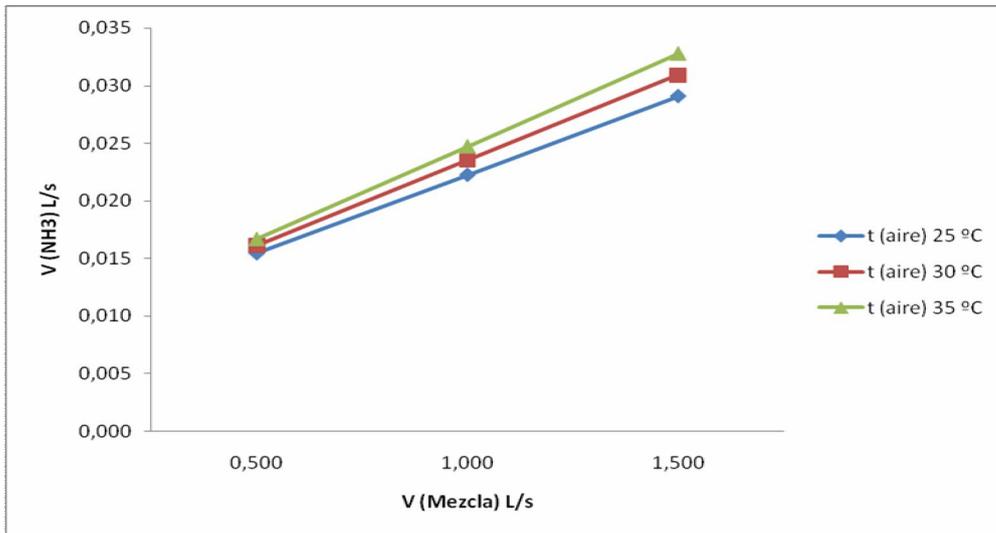
**Tabla 3.3.** Resultados del muestreo

Muestras	Masa, kg
1	5,840
2	6,540
3	5,500
4	6,200
5	5,900
6	5,100
7	5,302
8	6,520
9	6,500
10	6,010

Los resultados muestran que el equipamiento cumple con los parámetros requeridos pero el modo de operación no es el correcto. Para resolver el problema se recomienda instalar un dispositivo capaz de medir el flujo de aire que se añade al frigorizador para controlar las operaciones en el equipo y así obtener mejor calidad en el producto.

Otro problema de la planta está dado por la baja productividad que presenta.

Luego de analizar el proceso se llegó a la conclusión de que el equipo responsable es el frigorizador y las deficientes operaciones de trabajo, por lo cual a continuación se muestra la figura 3.1 que a partir de flujos de mezcla mayores que el alimentado actualmente cuando la temperatura del aire se encuentre en el rango de 25 a 35 °C se determinar el flujo de de amoníaco se necesita circular por el equipo para lograr -4 °C a la salida de la mezcla.



**Figura 3.1** Productividad del frigorizador

### 3.2. Cálculo del balance de energía.

Para realizar el cálculo se necesitan conocer algunos datos de las sustancias involucradas en el proceso. La capacidad calorífica de la leche se encuentra tabulado en el anexo 1, la de los restantes sustancias se tomaron de Perry.

La masa de los componentes de la materia prima se calcula anteriormente en el balance de masa y las temperaturas de estos componentes se toman de la práctica.

#### 3.2.1. Mezclador Pasteurizador

Como se indica en el capítulo anterior, el cálculo en el primer equipo (mezclador – Pasteurizador) se realiza en cada proceso que tienen lugar, por separado.

##### 3.2.1.1. Pasteurización de la leche

Calor aportado por el vapor de agua

Se sustituye en la ecuación 2.15 y se obtiene

$$Q_1 = 8,278 \cdot 4,190 \cdot 100,000 + 8,278 \cdot 2260,000$$

$$kJ = kg \cdot \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C + kg \cdot \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_1 = 22177,258 kJ$$



Para determinar el calor que aporta, el que se evacua con la leche y el que sale con el condensado, se sustituyen los datos en la ecuación 2.16.

Calor aportado por la leche

$$Q_2 = 75,470 \cdot 3,768 \cdot 25,000$$

$$kJ = \text{kg} \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$Q_2 = 7109,454 \text{ kJ}$$

Calor que sale con la leche

$$Q_3 = 75,470 \cdot 3,768 \cdot 90,000$$

$$kJ = \text{kg} \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$Q_3 = 25594,033 \text{ kJ}$$

Calor que sale con el condensado

$$Q_4 = 8,278 \cdot 4,190 \cdot 100,000$$

$$kJ = \text{kg} \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$Q_4 = 3468,560 \text{ kJ}$$

El calor que se pierde por las paredes del equipo se determina partiendo del cálculo del coeficiente de entrega térmica. (Ecuación 2.19)

$$at = 9,74 + 0,07 \cdot (45,000 - 25,000)$$

$$at = 11,140 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Luego se determina el flujo térmico específico por la ecuación 2.18

$$q = 11,140 \cdot (45,000 - 25,000)$$

$$\frac{\text{W}}{\text{m}^2} = \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} (\text{ } ^\circ\text{C} - \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$q = 222,800 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Como el flujo térmico específico caracteriza la cantidad de calor que se pierde en unidad de tiempo por un metro de superficie de contacto con el aire atmosférico, es necesario calcular el área total del equipo para obtener el flujo térmico de toda el área del mismo.

Cálculo del área de la pared lateral y el fondo del equipo según la ecuación 2.20

$$F = 3,140 \cdot 1,400 \cdot 1,350 + 0,785 \cdot 1,400^2$$

$$m^2 = \text{m} \cdot \text{m} + \text{m}^2$$

$$F = 8,680 \text{ m}^2$$



Cálculo de las pérdidas de calor por las paredes del equipo según la ecuación 2.17.

$$Q_5 = 222,800 \cdot 8,680 \cdot 115,895 \qquad kJ = \frac{W}{m^2} \cdot m^2 \cdot s$$

$$Q_5 = 224,119 \text{ kJ}$$

**Tabla 3.4.** Resumen del balance de energía para el proceso de pasteurización de la leche

Índices de entrada de calor	kJ	%
Q <sub>1</sub> calor que entra con la leche	7109,454	24,275
Q <sub>2</sub> Calor que entra con el vapor de agua	22177,258	75,725
Total	29286,711	100,000
<b>Índices de salida de calor</b>		
Q <sub>3</sub> Calor que sale con la leche	25594,033	87,391
Q <sub>4</sub> Calor que sale con el condensado	3468,560	11,843
Q <sub>5</sub> Calor que se pierde por las paredes del equipo	224,119	0,765
Total	29286,711	100,000

Con un flujo de vapor de 0,071 kg/s en 115,895 s se garantiza el objetivo del proceso, pero se recomienda instalar un medidor de flujo y temperatura en la red de entrada de vapor para poder controlar el proceso.

### 3.2.1.2. Preparación de la mezcla

Los cálculos de los calores aportados por los componentes de la materia prima y el que sale con el condensado se determinan por la ecuación 2.16

Calor aportado por la leche

$$Q_1 = 75,470 \cdot 3,768 \cdot 90,000 \qquad kJ = kg \cdot \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C$$

$$Q_1 = 25594,033 \text{ kJ}$$

Calor aportado por la soya

$$Q_2 = 22,964 \cdot 3,960 \cdot 60,000 \qquad kJ = kg \cdot \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C$$

$$Q_2 = 5456,316 \text{ kJ}$$



Calor que aporta el agua

$$Q_3 = 746,262 \cdot 4,190 \cdot 60,000$$

$$kJ = \text{kg} \cdot \frac{kJ}{\text{kg} \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C$$

$$Q_3 = 187610,386 \text{ kJ}$$

Calor aportado por la sal

$$Q_4 = 1,094 \cdot 0,781 \cdot 25,000$$

$$kJ = \text{kg} \cdot \frac{kJ}{\text{kg} \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C$$

$$Q_4 = 21,339 \text{ kJ}$$

Calor aportado por la azúcar

$$Q_5 = 185,901 \cdot 1,260 \cdot 25,000$$

$$kJ = \text{kg} \cdot \frac{kJ}{\text{kg} \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C$$

$$Q_5 = 5856,948 \text{ kJ}$$

Calor aportado por el estabilizador

$$Q_6 = 4,921 \cdot 3,898 \cdot 25,000$$

$$kJ = \text{kg} \cdot \frac{kJ}{\text{kg} \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C$$

$$Q_6 = 479,544 \text{ kJ}$$

Calor aportado por la grasa

$$Q_7 = 56,926 \cdot 1,760 \cdot 75,000$$

$$kJ = \text{kg} \cdot \frac{kJ}{\text{kg} \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C$$

$$Q_7 = 7514,175 \text{ kJ}$$

Calor que sale con la mezcla

La capacidad calorífica de la mezcla se determina por la ecuación siguiente:

$$Cp_{mezca} = \sum (Cp_{c.m} \cdot Xi_{c.m})$$

donde:

$Cp_{c.m}$  : Capacidades caloríficas de los componentes de la mezcla

$Xi_{c.m}$  : fracción másica de los componentes de la mezcla



$$Cp_m = 3,894 \cdot 0,049 + 3,960 \cdot 0,021 + 1,260 \cdot 0,170 + 0,781 \cdot 0,001 + 3,898 \cdot 0,005 + 4,185 \cdot 0,685$$

$$Cp_m = 3,371 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$$

$$Q_8 = 1093,538 \cdot 3,371 \cdot 75,000$$

$$kJ = kg \cdot \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C$$

$$Q_8 = 276485,569 \text{ kJ}$$

El calor que se pierde por las paredes del equipo en este proceso se determina por la misma metodología que en el proceso anterior lo único que varía es la temperatura de la pared en contacto con el aire y el tiempo de balance del equipo.

$$Q_9 = 104,400 \cdot 7,418 \cdot 900,000 \text{ kJ} = \frac{W}{m^2} \cdot m^2 \cdot s$$

$$Q_9 = 697,019 \text{ kJ}$$

**Tabla 3.5.** Resumen del balance de energía para el proceso de preparación de la mezcla

Índices de entrada de calor	kJ	%
Q <sub>1</sub> Calor aportado por la leche	25594,033	11,007
Q <sub>2</sub> Calor aportado por la soya	5456,316	2,346
Q <sub>3</sub> Calor que aporta el agua	187610,386	80,681
Q <sub>4</sub> Calor aportado por la sal	21,339	0,009
Q <sub>5</sub> Calor aportado por la azúcar	5856,948	2,519
Q <sub>6</sub> Calor aportado por la estabilizador	479,544	0,206
Q <sub>7</sub> Calor aportado por la grasa	7514,175	3,231
Total	232532,741	100,000
<b>Índices de salida de calor</b>		
Q <sub>8</sub> Calor que sale con la mezcla	276485,569	99,749
Q <sub>9</sub> Calor que se pierde por las paredes del equipo.	697,019	0,251
Total	277182,588	100,000

En el proceso de preparación de la mezcla añadiéndole a la leche ya pasteurizada a 90 °C, el azúcar, la sal y el estabilizador a temperatura ambiente, la leche de soya a 60 °C y la grasa a 75 °C, no se cumple con la temperatura que necesita la mezcla para el proceso de pasteurización, por lo que se recomienda calentar la mezcla hasta 75 °C, para realizar este proceso se necesita conocer la masa de



vapor de agua que garantiza el calentamiento, para obtener ese resultado se realiza el cálculo siguiente:

**Cálculo de la masa de vapor necesaria.**

El calor que necesita la mezcla para calentarse hasta 75°C, se determina por la ecuación 2.16;

$$Q_{nec} (mezcla) = 1093,538 \cdot 3,371 \cdot (75,000 - 62,888) \qquad kJ = kg \cdot \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C$$

$$Q_{nec} (mezcla) = 43952,828 \text{ kJ}$$

El calor que se pierde por las paredes del equipo, se determina por la metodología antes mencionada para el cálculo de perdidas en el proceso de pasteurización de la leche.

$$Q_5 = 222,800 \cdot 8,680 \cdot 300,000 \qquad kJ = \frac{W}{m^2} \cdot m^2 \cdot s$$

$$Q_5 = 495,836 \text{ kJ}$$

La suma de estos resultados nos brinda la cantidad de calor que se necesita en el proceso para calentar la mezcla hasta 75 °C, según la ecuación 2.21.

$$Q_{nec} = 43952,828 + 495,836 \qquad kJ = kJ + kJ$$

$$Q_{nec} = 44448,664 \text{ kJ}$$

Luego como el calor que transfiere el vapor de agua en el equipo es el del cambio de estado, la masa de vapor se determina por la ecuación 2.22.

$$m(vapor) = \frac{44448,664}{2260,000} \qquad kg = \frac{kJ}{\frac{kJ}{kg}}$$

$$m(vapor) = 19,668 \text{ kg}$$

Luego de obtener la masa de vapor de agua que se necesita, el balance se realiza mediante la metodología antes realizada.



**Tabla 3.5.1** Resumen del balance de energía para el proceso de preparación de la mezcla

<b>Índices de entrada de calor</b>	<b>kJ</b>	<b>%</b>
Q <sub>1</sub> Calor aportado por la materia prima	232532,741	81,527
Q <sub>2</sub> Calor aportado por el vapor de agua	52689,368	18,473
Tota	285222,109	100,000
<b>Índices de salida de calor</b>		
Q <sub>3</sub> Calor que sale con la mezcla	276485,569	96,937
Q <sub>4</sub> Calor que sale con el condensado	8240,704	2,889
Q <sub>5</sub> Calor que se pierde por las paredes del equipo.	495,836	0,174
Total	285222,109	100,000

### 3.2.1.3. Pasteurización de la mezcla

El calor que entra y sale con la mezcla se determina por la ecuación 2.16.

Calor aportado por la mezcla

$$Q_1 = 1093,538 \cdot 3,371 \cdot 75,000$$

$$kJ = kg \cdot \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C$$

$$Q_1 = 276485,569 \text{ kJ}$$

Calor que sale con la mezcla

$$Q_3 = 1093,538 \cdot 3,371 \cdot 74,811$$

$$Q_3 = 275788,550 \text{ kJ}$$

Calor que se pierde por las paredes del equipo

$$Q_2 = 104,400 \cdot 7,418 \cdot 900,000$$

$$kJ = \frac{W}{m^2} \cdot m^2 \cdot s$$

$$Q_2 = 697,019 \text{ kJ}$$



**Tabla 3.6.** Resumen del balance de energía para el proceso de pasteurización de la mezcla

<b>Índices de entrada de calor</b>	<b>kJ</b>	<b>%</b>
Q <sub>1</sub> Calor que aporta la mezcla	276485,569	100,000
Total	276485,569	100,000
<b>Índices de salida de calor</b>		
Q <sub>2</sub> Calor que se pierde por las paredes del equipo	697,019	0,252
Q <sub>3</sub> Calor que sale con la mezcla	275788,550	99,748
Total	276485,569	100,000

En el proceso de pasteurización de la mezcla, manteniéndola en el tanque tapado 30 min la única transferencia de calor está dado por las pérdidas hacia el medio ambiente por las paredes del tanque, con 697,019 kJ de pérdida la mezcla varía su temperatura en 0,189 °C, pero como la variación es tan pequeña no es perjudicial para el proceso.

### 3.2.2. Homogenización

En el proceso de homogenización no ocurre intercambio de calor forzado, el único cambio de temperatura es debido a las pérdidas, pero como el proceso en este equipo es tan rápido no se tiene en cuenta en el cálculo.

### 3.2.3. Cortina de enfriamiento

El cálculo de los calores que intervienen en el proceso de enfriamiento se calculan por la ecuación 2.23.

Calor aportado por la mezcla

$$Q_1 = 0,152 \cdot 3,371 \cdot 74,811 \qquad \frac{kJ}{s} = \frac{kg}{s} \cdot \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C$$

$$Q_1 = 38,304 \text{ kJ/s}$$

Calor que aporta el agua

$$Q_2 = 0,400 \cdot 4,190 \cdot 1,000 \qquad \frac{kJ}{s} = \frac{kg}{s} \cdot \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C$$

$$Q_2 = 1,676 \text{ kJ/s}$$



Calor que sale con la mezcla

$$Q_3 = 0,152 \cdot 3,371 \cdot 4,000$$

$$\frac{kJ}{s} = \frac{kg}{s} \cdot \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C$$

$$Q_3 = 2,048 \text{ kJ/s}$$

Calor que sale con el agua

$$Q_4 = 0,400 \cdot 4,190 \cdot 21,000$$

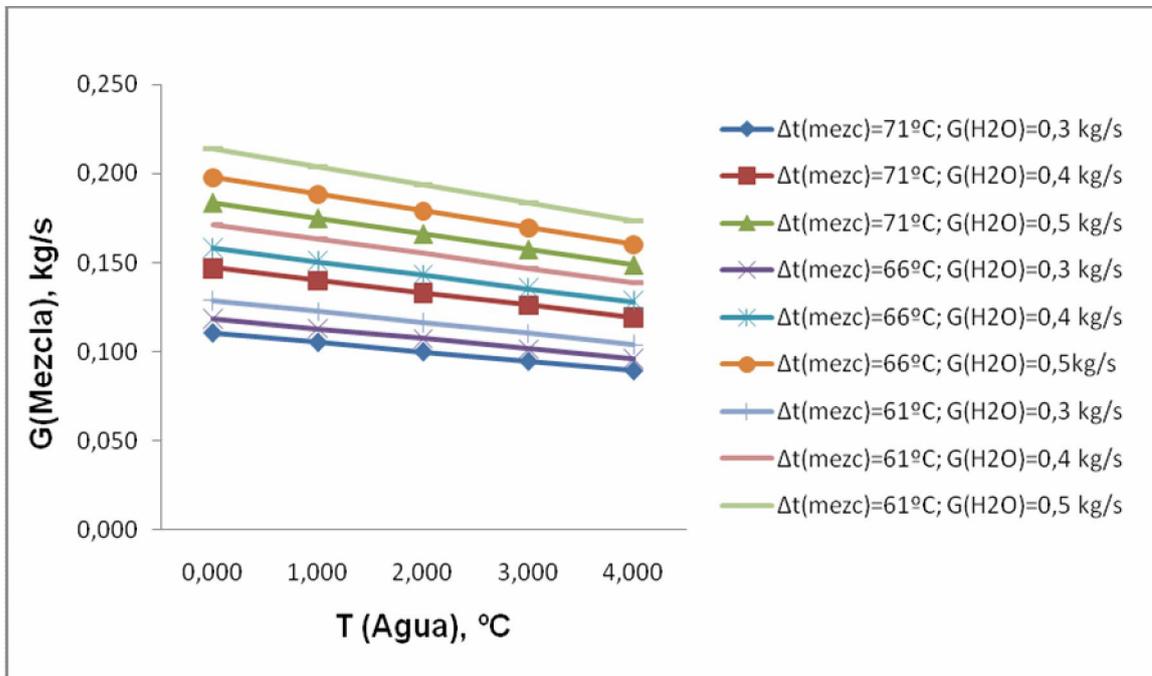
$$\frac{kJ}{s} = \frac{kg}{s} \cdot \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C$$

$$Q_4 = 35,196 \text{ kJ/s}$$

**Tabla 3.7.** Resumen del balance de energía para el proceso de enfriamiento

<b>Índice de entrada de calor</b>	<b>kJ/s</b>	<b>%</b>
Q <sub>1</sub> Calor aportado por la mezcla	38,304	95,808
Q <sub>2</sub> Calor aportado por el agua	1,676	4,192
Total	39,980	100,000
<b>Índice de salida de calor</b>		
Q <sub>3</sub> Calor que sale con la mezcla	2,048	5,499
Q <sub>4</sub> Calor que sala con el agua	35,196	94,501
Total	37,244	100,000

En el proceso de enfriamiento con un flujo de de mezcla de 0,152 kg/s a una temperatura de 75 °C y otro de agua de 0,400 kg/s y a la temperatura de 1 °C, no se cumple con el objetivo del proceso, por lo que se recomienda, primeramente, a partir de la figura la figura 3.1 que se muestra a continuación y con la temperatura, el flujo de agua y la variación de temperatura de la mezcla, se obtiene el flujo de mezcla que se debe alimentar al proceso para garantizar la temperatura requerida y segundo instalar dispositivos capaces de medir el flujo y la temperatura de entrada de la mezcla y del agua para poder controlar el proceso.



**Figura 3.2** Influencia de la temperatura del agua en el flujo de mezcla

En la figura 3.2 se muestra las curvas que representan los parámetros de operación de la cortina de enfriamiento para alcanzar 4 °C a la salida de la mezcla, donde en cada curva se prefija un valor de temperatura de entrada de la mezcla y un flujo de agua, en dependencia de la temperatura de entrada del agua se determina el flujo de mezcla que se debe alimentar al intercambiador para lograr el enfriamiento deseado.

### 3.2.4. Tanques de envejecimiento

Según la ecuación de cálculo, no es necesario circular un flujo de agua en el equipo, puesto que la mezcla no varía su temperatura, pero si obviamos esta operación entonces las pérdidas de calor hacia el medio ambiente superan los 0,774 kJ/s y como se mantiene en el equipo alrededor de 12 h, las pérdidas provocarían que variara su temperatura en 9,065 °C. Con un flujo de agua de 0,028 kg/s, se garantiza que las pérdidas sean mínimas.



### 3.2.5. Frigorizador

Para el cálculo del frigorizador es necesario conocer primeramente la capacidad calorífica antes y después del cambio de estado, la temperatura de congelación y el coeficiente de cambio de estado del helado, estos valores se encuentran tabulados en el anexo 1. También es necesario conocer la entalpía del amoníaco a la entrada y a la salida del equipo, estos datos se toman de la figura que se encuentra en los anexo 2.

El cálculo de la cantidad de calor que se necesita para enfriar la mezcla hasta la temperatura de congelación se realiza según la ecuación 2.24.

$$Q_1 = 0,070 \cdot 3,266 \cdot (5,403 - -1,900) \quad \frac{kJ}{s} = \frac{kg}{s} \cdot \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C$$

$$Q_1 = 1,670 \text{ kJ/s}$$

El calor necesario para el cambio de estado se realiza por la ecuación 2.25

$$Q_2 = 0,070 \cdot 124,348 \quad \frac{kJ}{s} = \frac{kg}{s} \cdot \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_2 = 8,707 \text{ kJ/s}$$

La cantidad de calor necesaria para seguir enfriando el helado desde la temperatura de congelación hasta la de salida, se realiza por la ecuación 2.26

$$Q_3 = 0,070 \cdot 1,884 \cdot (-4,000 - -1,900) \quad \frac{kJ}{s} = \frac{kg}{s} \cdot \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot ^\circ C$$

$$Q_3 = 0,277 \text{ kJ/s}$$

Una vez alcanzados estos valores se sustituyen en la ecuación 2.27 y se obtiene el flujo de amoníaco.

$$G(NH_3) = \frac{1,670 + 8,707 + 0,277}{1405,460 - 370,000} \quad \frac{kg}{s} = \frac{\frac{kJ}{s} + \frac{kJ}{s} + \frac{kJ}{s}}{\frac{kJ}{kg} - \frac{kJ}{kg}}$$

$$G(NH_3) = 0,010 \text{ kg/s}$$



En el equipo por falta de dispositivos capaces de medir el flujo de amoníaco no se pudo realizar el balance, pero con un flujo de amoníaco de 0,010 kg/s se garantiza enfriar un flujo de mezcla de 0,070 kg/s hasta -4 °C.



## CONCLUSIONES

Una vez finalizada la investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se realizó una evaluación de los equipos para la fabricación de helados en el Combinado Lácteo de Moa utilizando el balance de masa y energía.
- Se realizaron los cálculos de balance de masa y energía donde se determinó que las principales causas del incumplimiento de los parámetros de operación están dados por la deficiente operación del equipamiento.
- Con la instalación de equipos de medición de flujo y temperatura en los proceso de preparación, enfriamiento y congelación de la mezcla se logra tener un mejor control del proceso y con él, el cumplimiento de los parámetros de operación.



## RECOMENDACIÓN

- Se recomienda realizar el cálculo para comprobar si la instalación y los equipos de fabricación de helado de la empresa garantizan el flujo de amoníaco necesario para aumentar la productividad del frigorizador.



## BIBLIOGRAFÍA

- Blanco, Y. B. (2009 ). Análisis de las Potencialidades de Producción Más Limpia en la Planta de Hornos de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”. .
- Ducas, A. (2012). Análisis integral de la producción de frío en el combinado lácteo de Moa.
- Gallardo., K. L. G. (2009). Sistema para la Gestión Energética en el Combinado Lácteo “ El Vaquerito ” de Moa. Moa.
- Girón, Y. N. E. (2008). Determinación de la Eficiencia Energética del horno Herreshoff.
- González, J. R. (2000). Análisis energético y exergético de una instalación de vapor de la Industria Alimentaria. Pinar del Río.
- González, R. R. (2011). Metodología de cálculo dinámico de los Balances metalúrgicos del proceso de fundición para la producción de ferróníquel.
- Kasatkin, A. G. (1971). Operaciones básicas y aparatos en la tecnología química Moscú.
- Kerln, D. (1970). Procesos de transferencia de calor. La Habana.
- Labrada, Y. (2010). Análisis de Producción de Helado Crema.
- Machín, E. B. (1998). Proceso productivo para la fabricación de helados. Guadalajara – México.
- Manh, T. L. (2010). Perfeccionamiento de la metodología de Proyecto de Curso de la asignatura Procesos y Equipos Pirometalúrgicos II.
- Mariño, A., L. Mora, et al. (1994). "Equipos de la metalurgia no ferrosa."
- Pavlov, K. F. (1981). problemas y ejemplo para el curso de operaciones básicas y aparatos en la tecnología química Moscú.



Peña, A. C., J. C. F. Romero, et al. (2009). Análisis del proceso de producción de helados Siboney. Santiago de Cuba.

Perry, J. H. Manual del ingeniero químico.

Pineda, M. (1980). Recuperación de calor en Hornos de Reducción y Planta Eléctrica. MOA.

Plasencia, M. A. Á. G., J. C. A. Valdés, et al. (2000). TEMAS AVANZADOS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO. Cienfuegos.

Tamayo, G. E. (2008). Balance de Energía por zona del Horno Herreshoff de la Empresa Comandante Che Guevara.



## ANEXOS

### Anexo 1 Propiedades de algunos productos misceláneos.

PRODUCTO	ALMACENAMIENTO		TEMPERATURA, °C		HUMEDAD RELATIVA %		CALOR ESPECÍFICO kcal/kg°C		CALOR LATENTE kcal/kg	TEMP. DE CONG. Tc °C	CONTENIDO DE AGUA %	CALOR DE RESPIRAC. Kcal/TM d	VELOCIDAD MÁXIMA DEL AIRE (m/s)	ENFRIADOR INDICADO
	Tiempo	Tiempo Máx.	Indicada	Variación	Indicada	Variación	Sobre Tc	Bajo Tc						
Flores cortadas		3 - 14d	4.4	0.6 a 4.4	85	85 - 90	0.92			-2.8 a -0.6			0.30	S
Harina		6m	25.6	25.6 a 27.8	60	60 - 65	0.38	0.28			13.5		0.30	S
Helados	Corto			-17.7 a -12.2	85C								1.25	S
	Largo	2s		-28.9 a -17.8	85C		0.78	0.45	29.7	-1.9	60.0		1.25	S
Huevos (cajas)	Corto		4.4	4.4 a 7.2	85B	80 - 85							0.45	S
	Largo	12m	-1.7	-1.1 a -6.6	85B	85 - 87	0.85	0.45	55.6	-2.2	74.2		0.30	S o B
Huevos congelados (latas de 10)	Largo	18m	-20.6	-20.6 a -17.8	60			0.45	55.6				1.25	S
Leche en botellas	Corto	5d	1.7	1.7 a 4.4	70C	65 - 75	0.90	0.49	68.9	-0.6	87.5		1.25	S o B
Leche en polvo		1 - 6m		0.0 a 1.7		75 - 80								
Levadura		6m		-0.6 a 0.0										
Lúpulo				0.0 a 2.2	65							417(2grad)		
Malta	Corto			10.0 a 12.8		80 - 85								
	Largo			8.9 a 11.1		80 - 85						417(2grad)		
Manteca	Corto		7.2	7.2 a 10.0	80C	75 - 80							0.75	S
	Largo	6m	0.0	0.0 a 1.1	80C	75 - 80	0.60	0.31	50.0				0.75	S o B
Mantequilla	Corto	10d	4.4	1.7 a 7.2	80C	75 - 80							0.75	S
	Largo	6m	-17.8	-20.6 a -17.8	85	80 - 85	0.64	0.34	8.3	-1.1	15.0		1.25	S
Mermelada		6m	1.1		75									
Mieles	Corto			4.4 a 7.2	70									
	Largo			-0.6 a 0.6	70		0.35	0.26	14.5		18.0	395(4grad)		
Oleomargarina		6m	12.8			60 - 70	0.48							
Orquideas y Gardenias		1s	7.2	7.2 a 10.0	85	85 - 90					28 - 31		0.30	S
Pan							0.70	0.34	25.6	-29.5	32 - 37			
Pielas y lanas fumig. Y sin fumig.		6m	1.7	1.7 a 4.4	65	60 - 65							0.75	S
		6m	9.4	-9.4 a -7.8	70	65 - 70	0.40						0.75	S
Plasma sanguíneo		2m	3.9		75									
Pulpa de frutas		5 - 30d		-3.9 -2.8		69 - 70								
Quesos americanos	Corto		4.4	4.4 a 7.2	80B	75 - 80							0.45	S
	Largo	15m	0.0	0.0 a 1.1	80B	75 - 80	0.64	0.36	43.9	-8.3	55.0	1301(4grad)	0.45	S o B



### Anexo 2 Diagrama del ciclo de refrigeración del amoníaco

