



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

**“Diseño del Proceso Para la Elaboración de Helados de Fruta
Tipo Sorbete”**

TESIS DE GRADO

Previo a la Obtención del Título de:

INGENIERO DE ALIMENTOS

Presentada por:

Edison Alberto Zhindon Macías

Guayaquil – Ecuador

Año: 2010

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por todo lo que representa en mi vida. A mis padres, que me han apoyado en todo momento; a mis hermanos que además han sido como padres y amigos. Le agradezco a mi esposa e hijos por su apoyo incondicional y por llenar siempre mi corazón de felicidad. De manera especial quiero agradecerle a la Ingeniera Priscilla Castillo por su valioso apoyo en la dirección de esta tesis de grado.

EDISON ZHINDON MACÍAS (DISEÑO DEL PROCESO PA^r

DE FRUTA TIPO SORBETE)

DEDICATORIA

A Dios. A mi esposa e hijos: Anamaría Gardella, Sebastián y Alejandro. A mis padres: Manuel Zhindon y Rosa Macías. A mis hermanos: Manuel, Marcos, Omar y Roxana. A toda mi familia y amigos.

EDISON ZHINDON MACÍAS (DISEÑO DEL PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE HELADOS DE FRUTA TIPO SORBETE)

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Francisco Andrade S.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Priscila Castillo S.
DIRECTORA DE TESIS

Ing. Patricio Cáceres C.
VOCAL

EDISON ZHINDON MACÍAS (DISEÑO DEL PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE HELADOS DE FRUTA TIPO SORBETE)

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Edison Alberto Zhindon Macías

EDISON ZHINDON MACÍAS (DISEÑO DEL PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE HELADOS DE FRUTA TIPO SORBETE)

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE GENERAL..... | V |
| RESUMEN..... | VIII |
| ABREVIATURAS..... | X |
| SIMBOLOGÍA..... | XI |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | XII |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | XIII |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPÍTULO 1 | |
| 1. GENERALIDADES..... | 3 |
| 1.1 Orígenes y evolución de los helados..... | 3 |
| 1.2 Clasificación de los helados..... | 8 |
| 1.2.1 Tipos de helados y su composición..... | 8 |
| 1.2.2 El equilibrio de la mezcla..... | 10 |
| 1.3 Características de los sorbetes de frutas..... | 12 |
| 1.3.1 Materias primas..... | 12 |
| 1.3.2 Poder edulcorante (POD) y Poder Anticongelante (PAC)..... | 15 |
| 1.3.3 Aditivos utilizados..... | 16 |
| 1.4 Proceso de producción..... | 19 |
| 1.4.1 Preparación de la mezcla..... | 20 |
| 1.4.2 Maduración..... | 24 |

| | |
|--|----|
| 1.4.3 Mantecación..... | 25 |
| 1.4.4 Envasado y abatimiento de temperatura..... | 27 |
| 1.4.5 Conservación y transporte..... | 28 |

CAPÍTULO 2

| | |
|--|----|
| 2. DISEÑO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN..... | 29 |
| 2.1 Análisis actual de la empresa..... | 29 |
| 2.2 Determinación de la capacidad de producción..... | 31 |
| 2.3 Selección de equipos..... | 32 |
| 2.3.1 Caldero..... | 32 |
| • Cálculo de necesidades energéticas..... | 32 |
| • Alternativas comerciales..... | 55 |
| 2.3.2 Madurador..... | 66 |
| • Cálculo de necesidades energéticas..... | 66 |
| • Alternativas comerciales..... | 69 |
| 2.3.3 Congelador de superficie raspada..... | 72 |
| • Cálculo de necesidades energéticas..... | 74 |
| • Alternativas comerciales..... | 76 |
| 2.3.4 Túnel de congelación..... | 78 |
| • Cálculo de necesidades energéticas..... | 80 |
| • Alternativas comerciales..... | 80 |
| 2.3.5 Cámara de mantenimiento..... | 80 |
| • Cálculo de necesidades energéticas..... | 80 |

| | |
|--|----|
| • Alternativas comerciales | 84 |
| 2.4 Diseño de la línea de proceso | 85 |
| 2.5 Diagrama de flujo..... | 86 |
| 2.6 Diagrama de equipos..... | 87 |
| 2.7 Layout de la planta..... | 88 |
| 2.8 Otros requerimientos en el proceso | 89 |
| 2.8.1 Mano de Obra..... | 89 |
| 2.8.2 Materiales de empaque y embalaje | 90 |

CAPÍTULO 3

| | |
|---|----|
| 3. FACTIBILIDAD DEL PROYECTO..... | 91 |
| 3.1 Estimación de los costos fijos..... | 91 |
| 3.2 Inversión..... | 95 |
| 3.3 VAN y TIR..... | 96 |

CAPÍTULO 4

| | |
|--|----|
| 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 99 |
|--|----|

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

EDISON ZHINDON MACÍAS (DISEÑO DEL PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE HELADOS DE FRUTA TIPO SORBETE)

RESUMEN

El consumo de frutas a nivel mundial se ha incrementado con el pasar de los años, siendo mucho más el crecimiento de los subproductos a base de frutas. Gracias al desarrollo de la tecnología; uno de los mercados de mayor crecimiento es el de los helados en general, los cuales abarcan una gran gama de variedades y sabores que se consumen de acuerdo a la costumbre y estación climática. El incremento de consumidores, así como de productores, hacen que el negocio de los helados luzca bastante interesante.

Este estudio, se basa en la necesidad de desarrollar una nueva línea de producción de helados de fruta tipo sorbete en una empresa exportadora de pulpas de frutas congeladas; utilizando básicamente la misma materia prima, y algunos de los equipos ya existentes, para lo cual se realizó un estudio de las características del producto, del proceso de producción, y de los equipos necesarios para la nueva línea utilizando los criterios de balance de materia y energía. Los requerimientos energéticos fueron calculados utilizando como materia prima a la *Rubus Glaucus* (mora), agua, azúcar y neutro estabilizante.

Además del desarrollo del proceso, se determinó la ubicación de la nueva área de producción, siguiendo los parámetros de buenas prácticas de manufactura y tomando en cuenta el número de equipos, las capacidades, y las dimensiones de los mismos.

Una vez determinados los equipos apropiados para el proceso, se realizó un análisis de la inversión necesaria y un estudio de factibilidad del proyecto mediante los métodos del VAN y TIR, para determinar si el negocio es rentable o no.

Finalmente, se procede a analizar el proyecto y determinar los factores que incidirán a futuro en la nueva línea de producción.

EDISON ZHINDON MACÍAS (DISEÑO DEL PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE HELADOS DE FRUTA TIPO SORBETE)

ABREVIATURAS

| | |
|------------|--|
| BPM | Buenas Prácticas de Manufactura |
| BTU | British Thermal Units |
| CFR | Code of Federal Regulations (Código de Regulaciones Federales) |
| DE | Dextrosa Equivalente |
| HP | Horse Power (Caballos de Fuerza) |
| LPD | Leche en polvo descremada |
| MG | Materia Grasa |
| PAC | Poder Anticongelante |
| pH | Potencial de Hidrógeno |
| POD | Poder Edulcorante |
| psi | Pound Square Inch (Libras por Pulgada Cuadrada) |
| rpm | Revoluciones por minuto |
| ST | Sólidos Totales |
| TIR | Tasa Interna de Retorno |
| TR | Toneladas Refrigeradas |
| VAN | Valor Actual Neto |

EDISON ZHINDON MACÍAS (DISEÑO DEL PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE HELADOS DE FRUTA TIPO SORBETE)

SIMBOLOGÍA

| | |
|--------------------|----------------------------------|
| Q | Calor |
| $^{\circ}\text{C}$ | Grados centígrados |
| C_p | Calor específico |
| λ | Calor latente |
| cP | Centi poise |
| cm | Centímetros |
| ρ | Densidad |
| D | Diámetro |
| Δ | Diferencial |
| E | Eficiencia |
| H | Entalpía |
| g | Gramos |
| h | Horas |
| K | Grados Kelvin |
| Kcal | Kilo calorías |
| kg | Kilogramos |
| kJ | Kilo Joules |
| Lt | Litros |
| m | Metros |
| X | Fracción másica |
| m | Flujo másico |
| M | Peso molecular |
| m.c.a. | Metros de columna de agua |
| min | Minutos |
| Pa. s | Pascal por segundo |
| Re | Número de Reynolds |
| R_g | Constante universal de los gases |
| s | Segundos |
| T | Temperatura |
| t | Toneladas |
| v | Velocidad |
| μ | Viscosidad |

EDISON ZAMBRON MORALES (FIO DEL PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE HELADOS DE FRUTA TIPO SORBETE)

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 1 Consumo Per Cápita de Helado..... | 5 |
| Figura 2 Helados Preferidos..... | 6 |
| Figura 3 Balance de Energía..... | 43 |
| Figura 4 Viaje térmico del Jarabe..... | 46 |
| Figura 5 Preparación del Jarabe..... | 47 |
| Figura 6 Descongelamiento de la Pulpa de Mora..... | 51 |
| Figura 7 Viaje Térmico de la Pulpa de Mora Congelada..... | 52 |
| Figura 8 Caldero Horizontal..... | 56 |
| Figura 9 Esquema del Mezclado de Pulpa de Mora y Jarabe..... | 62 |
| Figura 10 Sistema de Tubo en Tubo en Contra Corriente..... | 64 |
| Figura 11 Intervalo de Tiempo (Preparación – Maduración)..... | 67 |
| Figura 12 Tina de Maduración..... | 70 |
| Figura 13 Curva de Congelación..... | 72 |
| Figura 14 Viaje Térmico en la Mantecadora..... | 74 |
| Figura 15 Mantecadora de Producción Continua..... | 77 |
| Figura 16 Viaje Térmico de Congelación de Sorbete de Mora..... | 79 |
| Figura 17 Túnel de Congelación en Espiral..... | 79 |
| Figura 18 Envase Para 1 Lt De Helado..... | 81 |
| Figura 19 Encajado de Envases Para Sorbetes..... | 82 |
| Figura 20 Palletizado de Cajas para Helados..... | 83 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1 Clasificación de los Helados..... | 11 |
| Tabla 2 Pulpas de Frutas Utilizadas en la elaboración de Sorbetes..... | 13 |
| Tabla 3 Características de Algunas Pulpas de Fruta..... | 14 |
| Tabla 4 PAC y POD de Algunos Azúcares..... | 16 |
| Tabla 5 Características de Algunos Estabilizantes..... | 19 |
| Tabla 6 Composición de un Helado de Crema..... | 21 |
| Tabla 7 Composición de un Sorbete de Mora..... | 22 |
| Tabla 8 Composición nutricional del Sorbete de Mora..... | 27 |
| Tabla 9 Producción Anual de Pulpas de Fruta..... | 30 |
| Tabla 10 Peso molecular en Pulpa de Mora..... | 33 |
| Tabla 11 Parámetros de producción..... | 42 |
| Tabla 12 Descripción de uso de las Marmitas..... | 45 |
| Tabla 13 Cálculo Número de Maduradores..... | 71 |
| Tabla 14 Cálculo Número de Mantecadoras..... | 78 |
| Tabla 15 Número de Empleados por Área..... | 89 |
| Tabla 16 Costo Mano de Obra..... | 91 |
| Tabla 17 Costo de Materia Prima y Materiales de empaque..... | 92 |
| Tabla 18 Energía Utilizada en el Proceso..... | 93 |
| Tabla 19 Inversión Inicial..... | 95 |
| Tabla 20 Flujo de caja..... | 96 |

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo trata de “Diseño del Proceso Para la Elaboración de Helados de Fruta Tipo Sorbete”, con el fin de innovar la gama de productos en una industria exportadora de pulpas de frutas congeladas, utilizando como base las mismas materias primas.

Aunque el negocio de fabricación de helados ha ido creciendo de manera acelerada a nivel mundial, y aunque se han desarrollado cada vez más variedades de sabores; en nuestro país son muy pocas las empresas que se dedican a la fabricación de helados, en comparación con países vecinos como Perú y Colombia.

Durante muchos años la empresa ha producido y exportado pulpas de frutas en diferentes presentaciones, hacia diferentes partes del mundo. Algunos de los clientes han consultado la posibilidad de que la compañía les pueda desarrollar y proveer algunas variedades de helados de fruta. Ellos ven con gran optimismo, la introducción y éxito de estos productos, ya que actualmente cuentan con un sistema ya establecido de distribución y

comercialización de alimentos congelados a nivel de supermercados y restaurantes.

Actualmente, la empresa productora no cuenta con la experiencia necesaria para la elaboración de helados de fruta, ni con algunos de los equipos necesarios para el proceso; pero sí cuenta con la logística del procesamiento de frutas, así como el abastecimiento de las mismas en la época adecuada, el control del proceso para la extracción de la pulpa, así como la experiencia en el manejo y transporte de productos congelados; por lo que la nueva línea de producción, le dará un mayor valor agregado a los productos que la compañía elabora.

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño del proceso para la elaboración de helados de fruta tipo sorbete en una empresa productora y exportadora de pulpas y trozos de frutas congeladas, permitiendo así, la innovación de la gama de productos y el desarrollo y generación de empleo, utilizando a las frutas como materia prima principal.

CAPÍTULO 1

1 GENERALIDADES

1.1 Orígenes y evolución de los helados

Está claro que el origen de los helados es muy antiguo. Hay quienes sostienen que los antiguos romanos son los inventores del “sorbete”. Ellos utilizaban nieve, frutas y miel para preparar este refrescante postre; con igual convicción, señalan que los chinos, muchos siglos antes de Jesucristo, ya mezclaban la nieve de las montañas con miel y frutas.

En su forma más simple, el helado, sorbete, crema helada o nieve es un postre congelado hecho de agua, leche, nata o natillas combinadas con saborizantes, edulcorantes y azúcar. En general los productos utilizados en su elaboración son: leche, azúcar, edulcorantes, nata de leche, huevo, frutas, chocolate, frutos secos, yogurt, agua mineral y estabilizantes.

Aunque el término *crema helada* se usa algunas veces para identificar a los postres congelados en general, usualmente está reservado para

aquellos postres congelados hechos con un alto porcentaje de grasa láctea, mientras que el sorbete, a veces denominado también como sherbet, sorbetto o sorbeto, es un postre helado, que se diferencia de la crema helada por no incorporar contenidos ni ingredientes grasos, además de no incluir yema de huevo. Es por esta razón por la que su textura resulta menos firme y más líquida y menos cremosa que el helado.

Las estadísticas de consumo mundial de helado¹ (litros al año/habitante) están lideradas por Nueva Zelanda, Estados Unidos, Canadá y Australia (ver figura # 1).

En el Ecuador se consume 1.5 litros per cápita al año por lo que el comercio de helados en Ecuador⁽²⁾ se diversifica. Los motivos principales para que las fábricas de esta golosina saquen nuevos productos es sencilla: un mercado de 20 millones de litros, que mueve \$71.5 millones al año.

1. Asociación Internacional de productos Lácteos (2006)

2. Diario Dinero (Diario de negocios) Quito, Miércoles 28 de Noviembre de 2007

Figura # 1

Consumo per Cápita de Helado



Elaborado por: Edison Zhindon M.

Basado en el consumo de helado, en Estados Unidos⁽³⁾ los cinco sabores preferidos son vainilla, chocolate, napolitano, fresa y cookies n' cream (ver figura # 2); aunque la tendencia actual es, también, el consumo de helados light.

³. The NPD Group National Eating Trends Services

Figura # 2

Helados Preferidos



Elaborado por: Edison Zhindon M.

El helado constituye uno de los triunfos de la industria de alimentos, y es digno de notarse que el aire es uno de sus principales ingredientes. Sin el aire, el helado sería una nieve de leche, pero con el aire se convierte en un sistema coloidal de alta complejidad. Consiste en una espuma semisólida de celdas de aire rodeadas por grasa emulsificada junto con una red de diminutos cristales de hielo que están rodeados por un líquido acuoso.

Para la elaboración de helados en sus principios, se utilizaba dos recipientes de madera o de estaño, uno metido dentro del otro. En el más pequeño de estos recipientes se preparaba la mezcla de helado. Luego rellenaban el espacio entre los recipientes con hielo y sal. Después de mezclar los ingredientes, se dejaba la mezcla en el recipiente, y el helado quedaba listo.

Grandes sabios como Fahrenheit (1686-1736), Faraday (1791-1867) y Reamur (1653 – 1757), contribuyeron con sus descubrimientos a hacer avanzar las ciencias de refrigeración y congelamiento que enseguida se aplicaron a los métodos de producción de los helados. Luego, en el siglo XIX, se inventaron las primeras máquinas de hacer hielo lo que facilitó la producción en masa. Ya en ese tiempo en algunos hogares se conservaba el hielo se conservaba cajas hechas de madera y corcho.

En 1913 se inventó en EE.UU. la primera máquina continua para elaborar helados, llamada comúnmente Mantecador, que es el corazón de todo el proceso de fabricación. Básicamente consta, en la parte exterior, de un gran cilindro de acero, que es congelado por un equipo muy potente de frío; en la parte interior, de un batidor con aspas (conectado mediante un eje a un potente motor eléctrico) que van raspando las paredes del cilindro y moviendo la mezcla continuamente hasta que dicha mezcla alcance la consistencia de una crema helada.

1.2 Clasificación de los helados

1.2.1 Tipos de helados y su composición

De acuerdo a la norma ecuatoriana NTE INEN 706:2005, la norma colombiana NT 1239, la norma americana 21 CFR 135, y el código alimentario argentino⁴, los helados tienen algunos tipos de clasificaciones, de acuerdo a las características de sus ingredientes y las cantidades utilizadas.

Existen también algunas discrepancias acerca del origen de los ingredientes utilizados en la elaboración helados, donde se clasifican también a los helados ya sea como “Helado Industrial” o “Helado Artesanal”.

Algunas personas interpretan que un producto artesanal es aquel que se elabora en casa, con leche recién ordeñada, huevos frescos, fruta macerada y procesada por el mismo heladero, etc. pero este concepto está errado.

⁴. Incluida en la Guía Para la Elaboración de Helados de Argentina

Si hablamos de helado artesanal, hablamos de un helado elaborado con leche, crema de leche (nata), frutas, chocolate, etc., es decir que no debe existir presencia de AVH (aceite vegetal hidrogenado), polvos, esencias o concentrados industriales con “sabor a...”

En cuanto a la forma de elaboración, aunque hoy en día se usa mucha tecnología, (máquinas de alta capacidad, controladas por teclados electrónicos de última generación, tanto las pasteurizadoras, como las tinas de maduración y las fabricadoras), esto no convierte a un helado en industrial.

Sorbete o Sherbet

En Estados Unidos, sorbete y sherbet son productos distintamente diferenciados; ya que sherbet es un término conocido y típicamente designado a productos elaborados a base de fruta con un contenido de grasa láctea menor al 2%. En cambio, sorbete es considerado como un producto congelado a base de fruta con una mínima o nula adición de algún ingrediente de origen lácteo.

No existe alguna norma en donde esté especificada la clasificación de sorbetes, por ser considerados un sinónimo de Sherbet. De acuerdo a la legislación americana (21 CFR PART-

135 FROZEN PRODUCTS), los sherbets deben incluir algún ingrediente de origen lácteo ya sea leche o crema, para alcanzar un contenido de grasa láctea de entre el 1% al 2%.

Por otra parte, si el contenido de grasa láctea es mayor al 2%, el producto debe ser considerado como un “helado de crema”, y si el contenido de grasa láctea es menor del 1%, se considera al producto como “helado de agua”.

En la tabla # 1 se detalla una clasificación simplificada de los diferentes tipos de helado, su composición y sus características.

1.2.2 El Equilibrio de la Mezcla

En la mezcla o mix que finalmente se convertirá en helado intervienen elementos de tan diferente naturaleza como los azúcares, materias grasas, magros de la leche, neutro estabilizantes o estabilizantes, agua y el mismo aire, entre otros; por lo cual es preciso que todos estos elementos estén conjuntados adecuadamente de tal manera que exista un perfecto equilibrio para lograr una óptima calidad de producto final.

Pese a las notables diferencias entre los diferentes tipos de helados, estos deberán presentar entre sí la misma o similar

textura, cantidad de aire incorporado y además, deberán ser capaces de mantenerse bajo la misma temperatura ya sea en vitrina o en una cámara de almacenamiento.

Tabla # 1

Clasificación de los helados

| | <u>TIPO DE HELADO</u> | <u>INGREDIENTES</u> | <u>CARACTERÍSTICAS</u> |
|----|---------------------------------|--|---|
| 1 | CREMA BLANCA | Leche entera, nata, leche en polvo descremada (LPD), azúcar y neutro estabilizante | Es la mezcla base para preparar helados de origen lácteo |
| 2 | CREMA DE YOGURT | Mezcla base + yogurt | El yogurt se agrega en la mantecación |
| 3 | CREMA DE YEMA DE HUEVO | Leche entera, nata, leche en polvo descremada (LPD), azúcar y yema de huevo | Color amarillo, yema actúa como neutro estabilizante |
| 4 | SORBETE DE FRUTAS | Agua + azúcar + neutro estabilizante + zumos o pulpas de frutas | Ausencia de materia grasa y leche en polvo descremada |
| 5 | CREMA DE FRUTAS | Mezcla base + trozos, zumos o pulpas de frutas | Helados de fruta con base láctea |
| 6 | CREMA DE CHOCOLATE | Mezcla base + chocolate + frutas, licor, etc | Comprenden todos los helados hechos con chocolate y otros ingredientes |
| 7 | CREMA DE FRUTOS SECOS | Mezcla base + frutos secos (polvo o trozos) | Debido a la gran cantidad de grasa, se solidifica demasiado al congelarse, por lo que se debe aumentar el poder anticongelante. |
| 8 | CREMA DE TE Y ESPECIAS | Agua de infusión + nata + LPD + neutro estabilizante | Se reemplaza la leche entera por el agua de la infusión de yerbas o plantas |
| 9 | SORBETE DE TE Y ESPECIAS | Agua de infusión + azúcar + neutro estabilizante | El agua que se usa es donde se hace la infusión de yerbas o plantas |
| 10 | CREMAS DE LICOR | Mezcla base + licor | Cada tipo de licor posee un PAC diferente |
| 11 | SORBETE DE LICOR | Agua + azúcar + licor + Neutro Estabilizante | Sabor más genuino del licor, se sirve como digestivo y en algunos platos |

Elaborado por: Edison Zhindon M.

1.3 Características de los sorbetes de frutas

1.3.1 Materias Primas

Agua

Es el ingrediente más importante en los sorbetes de frutas, además de la que se añade en la fórmula, hay que tomar en cuenta la que aportan las propias frutas, zumos o pulpas, por lo que en su totalidad, la cantidad de agua puede superar el 70%. Se debe tener un cuidado especial con la calidad de agua que se utiliza, la cual debe poseer adecuadas características de calidad e inocuidad para ser utilizadas.

Frutas

Se utilizará pulpas de frutas congeladas, las cuales serán obtenidas a partir de frutas seleccionadas y clasificadas para obtener una óptima calidad de materia prima, y se dosificará de acuerdo al gusto del productor (Tabla # 2), tomando en cuenta los criterios técnicos para elaboración de sorbetes de frutas, además de cumplir con las normas de buenas prácticas de manufactura (BPM) de la FDA 21CFR 110.

Tabla # 2

Pulpas de Frutas Utilizadas en la Elaboración de Sorbetes

| RENDIMIENTO EXPERIMENTAL DE VARIAS FRUTAS PARA ELABORAR 1 kg. DE MIX PARA HELADO | | | |
|---|----------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| FRUTA | GRAMOS PULPA / 1kg de MIX | GRAMOS DE FRUTA FRESCA | RENDIMIENTO (%) |
| Zumo limón* | 300 | 860 | 35% |
| Plátano* | 250 | 600 | 42% |
| Maracuyá* | 400 | 660 | 61% |
| Mora* | 400 | 470 | 85% |
| Mango* | 450 | 625 | 72% |
| Piña* | 450 | 700 | 64% |
| Manzana* | 500 | 660 | 76% |
| Pera* | 500 | 725 | 69% |
| Frutilla* | 500 | 550 | 91% |
| Durazno* | 500 | 640 | 78% |
| Sandía* | 700 | 1230 | 57% |

Elaborado por: Edison Zhindon M.

Las frutas aportan con diferentes propiedades de dulzor y acidez (Tabla # 3), por lo que dependiendo de la fruta y sus características, se tratará que los diferentes helados posean el mismo equilibrio y textura.

Tabla # 3

Características de Algunas Pulpas de Frutas

| FRUTAS | °BRIX | pH |
|-----------|-------|-----|
| Limón* | 5 | 2,3 |
| Plátano* | 20 | 5 |
| Piña* | 13 | 3,5 |
| Durazno* | 11 | 3,5 |
| Pera* | 13 | 4,3 |
| Manzana* | 12 | 4,1 |
| Mango* | 10 | 5 |
| Frutilla* | 8 | 3,5 |
| Mora* | 12 | 3,2 |
| Maracuyá* | 7 | 3 |
| Sandía* | 6 | 4 |

*Valores experimentales determinados

Elaborado por: Edison Zhindon M.

En el presente proyecto, la fruta que se utiliza como materia prima es la mora, y sus propiedades están detalladas en el anexo 5.

Azúcares

Cumplen la función de ligar el agua, retardando la congelación y controlando así el poder anticongelante del helado; además, realzan los sabores y destacan los colores de los sorbetes de frutas.

Para ello se utilizará sacarosa y dextrosa las cuales poseen notables diferencias en su poder edulcorante anticongelante,

por lo que se analizará los requerimientos de cada uno tomando en cuenta también, los azúcares presentes en los zumos y pulpas de frutas.

Hemos ya notado y analizado que los sorbetes, a diferencia de los helados de crema, no poseen ni grasa, ni leche en polvo. La leche en polvo en helados de crema representa un 10%, la mitad de esta, es decir, un 5% es lactosa, la cual es un azúcar que posee escaso poder edulcorante, pero con un poder anticongelante (PAC) igual al de la sacarosa.

Por lo tanto, si en los sorbetes queremos mantener el mismo poder anticongelante de los helados de crema, se sustituirá ese poder mediante la adición de sacarosa en la formulación.

1.3.2 Poder edulcorante (POD) y poder anticongelante (PAC)

Cada tipo de azúcar presenta un poder edulcorante (POD) y un poder anticongelante (PAC) específico; la sacarosa o azúcar común actúa como patrón, con un valor referencial para el resto de azúcares. Este valor se a fijado en 100 tanto para el POD como para el PAC.

Para conseguir un adecuado equilibrio en el mix, debemos conocer los poderes edulcorantes y anticongelantes de cada azúcar (Tabla # 4), con ello controlaremos el dulzor, la textura y la dureza de nuestro helado.

Tabla # 4

PAC y POD de Algunos Azúcares

| AZÚCARES | POD | PAC |
|-------------------------|-----|-----|
| SACAROSA | 100 | 100 |
| DEXTROSA | 70 | 190 |
| AZÚCAR INVERTIDO | 130 | 190 |
| LACTOSA | 16 | 100 |
| FRUCTOSA | 170 | 190 |
| GLUCOSA ATOMIZADA 52 DE | 58 | 110 |
| GLUCOSA ATOMIZADA 42 DE | 50 | 90 |
| GLUCOSA ATOMIZADA 21 DE | 10 | 20 |
| MIEL | 130 | 190 |

Fuente: Asociación Argentina de Ingenieros en la Industria

Alimentaria

1.3.3 Aditivos utilizados

Neutro estabilizante

Los estabilizantes son productos que contribuyen a estabilizar la estructura del helado. Son "hidrocoloides", y esto significa que

tienen la capacidad de absorber gran cantidad de agua y de aumentar la viscosidad de la mezcla. Esto permite evitar la formación de los cristales de hielo de grandes dimensiones.

Algunos proveedores y fabricantes utilizan combinaciones de diversos productos estabilizantes y espesantes. Cada uno de los productos que se utilizan para “armar” esta combinación, poseen características particulares y muy específicas, ya que solos no son tan eficaces, pero combinados con entre sí nos da los resultados deseados.

El neutro estabilizante en los sorbetes no desarrolla la función de emulsionante, dada la ausencia de grasa, por lo tanto, su función es de ligar agua y estabilizarla; en la fase de pasteurización se abre, dispersando sus moléculas en el mix, las cuales se hinchan y la recogen.

En la fase de maduración, el neutro estabilizante absorbe e introduce pequeñas burbujas de aire que hacen que éste se haga viscoso. Estas burbujas de aire, una vez colocada la mezcla en la mantecadora, mediante la agitación se rompen y son retenidas por el frío.

Un factor a tener en cuenta es que, al igual que otros agentes gelatinosos, pierde algo de su poder en presencia de un mix muy

ácido, como en el caso del limón, lima o maracuyá. En este caso se debe aumentar la dosis alrededor de 25% según el grado de acidez de la fruta. [1]

No todos los neutro estabilizantes son iguales, los fabricantes no siempre utilizan los mismos elementos para “armar” el neutro estabilizante. De allí la diferencia de precios de algunos de ellos, y también la diferencia del resultado final.

Según su origen, se distinguen:

- Las gomas de origen vegetal, esencialmente de naturaleza glucídica.
- Las gomas de origen animal, de naturaleza proteica (caseinatos y gelatina).

En la tabla # 5, se puede apreciar las características de algunos estabilizantes utilizados en la producción de helados.

Tabla # 5

Características de Algunos Estabilizantes

| NEUTRO ESTABILIZANTE | ORIGEN | PROPIEDADES |
|-----------------------------|---|---|
| Lecitina | Se extrae de la soya | La dosis normalmente no debe exceder el 0,5%. |
| Alginatos | Extraídos de algas marinas | grandes moléculas que le confieren al helado una alta viscosidad y son resistentes a los procesos de pasteurización |
| Agar | Extraídos de algas marinas | Se debe combinar con gelatinas o carragenatos ya que su sola aplicación le da una estructura "quebradiza" al helado. |
| Carragenatos | Extractos de algas gigantes | Retiene gran cantidad de agua pero también aumenta mucho la viscosidad por lo que es recomendable su uso en combinación con gomas |
| Goma de Garrofin | Extraído de las semillas del algarrobo. | Alta capacidad de retener agua, 70 a 80 veces su propio volumen. Es soluble en frío y en caliente. |
| Pectinas | Sub productos en la elaboración de jugos de frutas. | Tienen poca utilidad en los helados. |
| Carboximetil Celulosa (CMC) | Producto derivado de la celulosa | a) Alta capacidad de retención de agua. b) Ayuda al correcto batido de la mezcla c) No confiere una fuerte estructura al helado. d) Se utilizan en combinación con otros estabilizantes. |
| Gelatina | Producto alimenticio | a) Previene la formación de cristales. b) Proporciona una estructura suave al helado. |

Fuente: Timm Fritz, Fabricación de helados (1989)

1.4 Proceso de producción de sorbetes de frutas.

La ausencia de materia grasa y le leche en polvo desnatada, inciden en que los sorbetes conserven todo el sabor genuino de las frutas o zumos de cítricos que los componen.

Se recomienda no pasteurizar las frutas o zumos, ya que las altas temperaturas alteran el sabor fresco de los zumos y frutas; y además sabemos que la mayoría de las frutas poseen un pH (acidez) bien bajo, lo que evita el crecimiento de microorganismos en el helado.

Por otra parte, el resto de ingredientes sí deben ser sometidos a altas temperaturas para su preparación como el agua, el azúcar y muy especialmente el neutro estabilizante, pues con el calor, a partir de los 80°C se dispersan todas sus moléculas en el mix, hinchándose y absorbiendo agua, para luego, con el frío a 4°C en la etapa de maduración, que consiste en una agitación lenta, incorporar el aire a la mezcla.

Las frutas o zumos son añadidos al mix en frío, una vez terminada la etapa de pasteurización y luego colocados en el madurador a 4°C; finalmente la mezcla se coloca en el mantecador y luego envasadas en sus respectivos recipientes.

1.4.1 Preparación de la mezcla

Se pesará cada uno de los ingredientes y aditivos, tomando en cuenta que los sorbetes de frutas deben mantener un similar poder anticongelante PAC que los helados de crema (tabla # 6). Esto se logra mediante el incremento de azúcares, lo que

provoca que sean más dulces, algo característico en los sorbetes, ya que el dulzor acentúa el sabor de la fruta.

Tabla # 6

Composición de un Helado de Crema

| INGREDIENTES | PESO (g) | MG (g) | POD | LPD* (g) | ST | PAC |
|--------------------------|-------------|-----------|------------|------------|------------|--------------|
| Leche entera | 567 | 20 | | 48 | 68 | 24 |
| Nata 35% | 172 | 60 | | 10 | 70 | 5 |
| Leche en polvo desnatada | 42 | | | 42 | 42 | 21 |
| Dextrosa | 137 | | 96 | | 137 | 260 |
| Azúcar invertido | 26 | | 34 | | 20 | 49 |
| Sacarosa | 50 | | 50 | | 50 | 50 |
| Estabilizante para crema | 6 | | | | 6 | |
| TOTAL | 1000 | 80 | 180 | 100 | 393 | 409,7 |

* La leche en polvo desnatada esta compuesta por 50% de lactosa, la cual posee el mismo PAC que la sacarosa (100) y un poder edulcorante despreciable.

Elaborado por: Edison Zhindon M.

Con el fin de mantener similares características que el helado de crema, se desarrolla una fórmula para la elaboración de sorbete de mora (tabla # 7); de tal manera que utilizando dextrosa y sacarosa como edulcorantes, se obtiene un producto con similares características a un helado de crema.

Tabla # 7

Composición del Sorbete de Mora

| INGREDIENTE | GRAMOS | POD | PAC |
|--------------------|---------------|------------|------------|
| Agua | 272 | | |
| Dextrosa | 150 | 105 | 285 |
| Sacarosa | 73 | 73 | 73 |
| Estabilizante | 5 | | |
| Pulpa de mora | 500 | 60 | 60 |
| TOTAL | 1000 | 238 | 418 |

Elaborado por: Edison Zhindon Macías

Luego se procede a realizar paso a paso el mezclado de los ingredientes para poder obtener un correcto proceso:

1. Se descongela la pulpa, en una marmita con inyección de vapor, durante 50 minutos o hasta que la pulpa esté completamente descongelada.
2. Se coloca agua en otra marmita con agitador.
3. Se mezcla en un recipiente adecuado la dextrosa con el estabilizante de tal manera que el estabilizante este bien disperso.
4. Se calienta el agua en la marmita, manteniendo encendido el agitador.

5. Se agrega de a poco el azúcar y la mezcla de dextrosa – estabilizante para evitar que se formen grumos del estabilizante en el agua.
6. Se mantiene el flujo de vapor en la marmita hasta alcanzar una temperatura de 80-85°C.
7. Una vez alcanzada la temperatura deseada, se regula el flujo de vapor para mantener la temperatura estable, durante aproximadamente 15 minutos; esto permite que el azúcar y el estabilizante estén bien disueltos, formando un almíbar ligeramente espeso.
8. La pulpa descongelada y el almíbar preparado, se mezcla durante 15 minutos, en un tanque que tenga agitador; aquí se enfriará la mezcla de pulpa y jarabe por intercambio de calor.
9. Una vez realizada la mezcla se bombea a través de un intercambiador de tubo en tubo en cuyo tubo interno circulará la mezcla y en el externo circulará agua a 25°C en contra corriente; la mezcla enfriada será enviada al tanque de maduración

1.4.2 Maduración

Es de suma importancia, que en el mix que está listo para entrar a la mantecadora, toda el agua esté ligada pues de no ser así, el agua libre se transformaría en cristales de hielo que alterarían la estructura final del producto.

Es en la fase de maduración, a 4°C donde los estabilizantes realizan la mayor parte de su labor; cada molécula de emulsionante ata una minúscula parte de agua, aire y sólidos y mantiene la emulsión dispersa en el mix.

Consiste en una tina de doble camisa con agitador; en el interior de la camisa circula una sustancia refrigerante que puede ser agua, mezcla de agua-sal, glicol, u otros tipos de refrigerante que es enfriada por un sistema de refrigeración.

Esta sustancia refrigerante, enfría la mezcla para helados colocada dentro de la tina hasta una temperatura de 4°C y la mantiene en agitación por un periodo de tiempo que va entre 2 y 24 horas dependiendo del helado a fabricar.

En el caso presente proyecto se utiliza un tiempo de enfriamiento en las tinas de 2 horas, y posteriormente un tiempo de maduración de 18 horas. De esa manera se logra establecer

un flujo adecuado de producto, tomando en cuenta los horarios de trabajo y capacidad de los equipos

1.4.3 Mantecación

Consiste en una cuba en forma cilíndrica con un agitador, con palas adheridas a las paredes de la cuba, las cuales giran en el interior de la misma.

Este equipo trabaja mediante un sistema de enfriamiento y agitación, en donde las paredes de la mantecadora se enfrían provocando que el mix, el cual ya haya sido madurado, se congele.

A medida que la mezcla se congela por el contacto con las paredes, la agitación que las aspas realizan raspando las paredes en forma giratoria, permite obtener un endurecimiento uniforme de la mezcla, formando pequeños cristales de hielo y logrando producir una justa incorporación de aire final (overrun).

El Overrun consiste en el aumento de volumen de un mix de helado, determinado por el aire incorporado en la etapa de mantecación.

Esto incide directamente en la calidad del helado ya que una cantidad insuficiente, hace que el helado sea demasiado

pesado; mientras que un exceso de este, provoca que el helado no tenga cuerpo, y se disperse su sabor.

El porcentaje óptimo de overrun está alrededor de los 30 y 40 %; en el caso de los sorbetes se escogerá un intermedio para la formulación de nuestros helados, es decir, 35% de overrun.

El proceso de mantecación

El aire se incorpora en el mix a partir de -3°C , ya que a temperaturas más bajas, la densidad que alcanza la mezcla impide la incorporación de más aire. A partir de ese momento, la agitación distribuye las diminutas partículas de aire por todo el cuerpo del helado.

A medida que la mezcla disminuye su temperatura, presenta cada vez una mayor resistencia al frío y al congelamiento, y cuando el helado alcance una temperatura entre -8°C y -10°C , con alrededor del 75% de agua congelada, la congelación se detiene de modo automático, procediendo a la extracción del helado y su posterior envasado. [2]

Finalmente se obtendrá un helado con las características deseadas. La composición nutricional de el helado de mora tipo sorbete, se detalla a continuación en la tabla # 8:

Tabla # 8

Composición Nutricional del Helado de Mora Tipo Sorbete

| <u>Composición Nutricional en 100 g de muestra</u> | |
|--|--|
| Compuesto | Helado de Mora Tipo Sorbete (35% overrun) |
| Humedad | 46,0525 % |
| Carbohidratos | 18,72 % |
| Monosacáridos | 1,70625 % |
| Disacáridos | 17,01375 % |
| Lípidos | 0,0325 % |
| Proteínas | 0,19175 % |
| Cenizas | 0,00325 % |
| Energía | 75,9395 Kcal |

Elaborado por: Edison Zhindon M.

1.4.4 Envasado y abatimiento de temperatura

En el momento de la extracción del helado, existe un 25% de agua no congelada, es decir inestable, por lo que se debe estabilizar la mezcla en su totalidad para una conservación idónea. Para ello es imprescindible que la temperatura interior del helado alcance los -18°C en el menor tiempo posible, esto se puede lograr mediante túneles de congelación o sistemas de ultra congelación.

Mientras más rápido se realice la fase de abatimiento de temperatura, los cristales de hielo serán más diminutos, mejorando la textura del helado.

La capacidad mínima de enfriamiento, sin alteraciones importantes en la textura, la situamos entre 1 y 2°C por hora, es decir, entre 4 a 8 horas como límite para estabilizar el agua y poder conservar el producto en óptimas condiciones. [3]

1.4.5 Conservación y transporte

La temperatura de conservación de un helado se sitúa entre los -22 y -24°C; esto permite conservar establemente el helado por intervalos prolongados hasta su posterior uso.

Es importante que mientras un helado sea transportado de un sitio a otro, no pierda más de 4°C de temperatura, sin riesgo de alterar su estructura.

Para ello es importante mantener la cadena de frío dentro y fuera de la empresa. En el caso de un despacho en camiones, estos deberán tener incorporados sistemas de congelación debidamente aislados y con capacidad para mantener el producto a la temperatura ideal.

CAPÍTULO 2

2 DISEÑO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN.

Para el presente proyecto se analiza a una industria alimenticia, procesadora de pulpas de frutas congeladas; en donde se plantea planificar el desarrollo de una nueva línea de producción para así darle valor agregado y crear nuevas oportunidades de negocios.

La empresa se dedica a la exportación de pulpas de frutas por lo que se analizará los diferentes productos y las cantidades producidas para determinar cuál debe ser la capacidad instalada de los equipos a utilizar.

2.1 Análisis actual de la empresa

La empresa actualmente procesa alrededor de 900 toneladas de varias pulpas de frutas congeladas al año (tabla # 9); existe la necesidad de instalar una línea de producción de helados de fruta tipo sorbete, con la

posibilidad a largo plazo de ampliar el proyecto y desarrollar todo tipo de helados y postres congelados.

Tabla # 9

Producción Anual de Pulpas de Frutas

| PULPAS DE FRUTAS | PRODUCCIÓN t/AÑO | REPRESENTACIÓN % |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Pulpa de chirimoya | 36 | 4% |
| Pulpa de guanábana | 72 | 8% |
| Pulpa de guayaba | 81 | 9% |
| Pulpa de mamey | 90 | 10% |
| Pulpa de mango | 108 | 12% |
| Pulpa de maracuyá | 108 | 12% |
| Pulpa de mora | 108 | 12% |
| Pulpa de naranjilla | 81 | 9% |
| Pulpa de papaya | 72 | 8% |
| Pulpa de piña | 81 | 9% |
| Pulpa de tomate de árbol | 36 | 4% |
| Pulpa de frutilla | 27 | 3% |
| TOTAL | 900 | 100% |

Fuente: Empresa (AÑO 2009)

La mayor parte de la producción, alrededor de un 99% está destinada para la exportación y apenas el 1% es para mercado local; por lo que el presente proyecto planteará la estimación de la demanda de acuerdo a los índices de exportación.

2.2 Determinación de la capacidad de producción

De acuerdo al incremento anual en las exportaciones de los últimos 4 años, se ha mantenido un índice de crecimiento del 10% anual.

En el siguiente proyecto se tomará en cuenta diferentes criterios para determinar la capacidad de la planta:

1. La producción de sorbetes (anexo 6) corresponderá al 5% de la producción total, y anualmente mantendrá un índice de crecimiento del 10%.
2. De acuerdo a la proyección estimada para los próximos 4 años podemos afirmar lo siguiente:
 - a) La capacidad mínima de producción es de 54 t/año.
 - b) La capacidad máxima de producción es de 71.9 t/año.
3. Para efectos de cálculo de capacidades de maquinarias y equipos se tomará en cuenta el valor mayor, es decir 71.9 t/año más un 10% adicional de margen, ya que para ese período (año 2013) la empresa deberá adquirir nuevas maquinarias y equipos de acuerdo a una nueva proyección de la demanda.

Capacidad de producción: $71.9 + 10\% = \underline{79.1 \text{ t/año}}$

4. De acuerdo a la tabla de producción de la empresa, las frutas que mayor requerimiento tienen son mango, maracuyá y mora; por lo que procederemos a elegir de entre las tres, una de las frutas para efecto de cálculos, en este caso elegiremos a la mora (anexo 5).

2.3 Selección de equipos

De acuerdo a la proyección estimada de la producción de sorbetes de frutas, se procederá a analizar las necesidades energéticas en cada etapa del proceso.

Una vez analizados los datos energéticos se buscarán equipos que cumplan con estas condiciones, dando paso a la elección del equipo de acuerdo al mejor precio.

1.3.2 Caldero

Cálculo de necesidades energéticas

Para poder determinar las necesidades energéticas se debe conocer primero la composición nutricional (tabla # 10) de la pulpa de mora y del jarabe a utilizar, de esa manera se podrá conocer realmente los requerimientos para dicho proceso.

Tabla # 10

Pesos Moleculares en Pulpa de Mora

| Compuesto | Peso molecular (g/mol) | Pulpa de mora % | Jarabe % | Mezcla % |
|----------------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|
| Humedad | 18,02 | 87,3 | 54,4 | 70,85 |
| Carbohidratos | | 12 | 45,6 | 28,8 |
| Monosacáridos | 180,20 | 5,25 | | 2,625 |
| Disacáridos | 342,30 | 6,75 | 45,6 | 26,175 |
| Lípidos | 50000,00 | 0,1 | 0 | 0,05 |
| Proteínas | 50000,00 | 0,59 | 0 | 0,295 |
| Cenizas⁵ | 36,7966 | 0,01 | 0 | 0,005 |
| TOTAL | | 100 | 100 | 100 |

Elaborado por: Edison Zhindon M.

- **Propiedades térmicas de las materias primas**

Calor específico (C_p)

Calor específico es la cantidad de calor ganada o perdida por una unidad de peso de producto para provocar un determinado incremento de temperatura, sin que tenga lugar un cambio de estado.

⁵. Anexo 7

El calor específico depende de la composición del producto, así como su temperatura y presión. En la mayoría de las aplicaciones se utiliza el calor específico a presión constante ya que esta generalmente no varía.

Existen ecuaciones y tablas, en donde se indica el calor específico de diferentes productos. Dickerson (1969) propuso la siguiente ecuación para determinar el calor específico según la composición del alimento.

$$C_p = 1.424 m_c + 1.549 m_p + 1.675 m_f + 0.837 m_a + 4.187 m_m$$

(Ecuación 1)

En la que m es la fracción de peso y los subíndices c , p , f , a y m corresponden respectivamente a carbohidratos, proteína, grasa, cenizas y humedad. Sus unidades se expresan en kJ/kg °C; y también kJ/kg °K ya que 1°C es igual a 1°K.

Mientras que Heldman (2001), demuestra que el calor específico de un alimento, propuesto en la ecuación 2; puede ser predicho en base a su composición y el calor específico de cada componente, en función de su temperatura:

$$C_p = \sum (C_{p_{si}} m_{si})$$

(Ecuación 2)

En donde m_{si} corresponde a la fracción másica de cada componente en el alimento, mientras que el calor específico fue estimado por Choi y Okos (1986) para cada componente según las fórmulas presentadas en el anexo 8.

Calor específico de la pulpa de mora, del jarabe y de la mezcla no congelada.

Según los datos proporcionados en la tabla # 10, se procede a aplicar la ecuación 1 utilizando los valores correspondientes a la pulpa de mora del jarabe preparado y de la mezcla para helados.

$$C_{p_{\text{pulpa mora no congelada}}} = 3.83703 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$C_{p_{\text{jarabe no congelado}}} = 2.92707 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$C_{p_{\text{mezcla para helados no congelada}}} = 3.38205 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Calor específico de alimentos congelados (pulpa de mora y mezcla)

Desglosando la ecuación 2, tenemos como resultado la siguiente ecuación:

$$Cp = m_u Cp_u + m_{ac} Cp_{ac} + m_c Cp_c + m_p Cp_p + m_l Cp_l + m_a Cp_a$$

(ecuación 3)

En donde m es la fracción másica, Cp es calor específico en función de la temperatura y los subíndices u , ac , c , p , l y a corresponden respectivamente al agua no congelada, agua congelada, carbohidratos, proteína, lípido y cenizas.

Para determinar la fracción másica de agua no congelada a una temperatura específica se debe aplicar la ecuación propuesta por Heldman (1974) y Schwartzberg (1976):

$$\frac{\lambda}{Rg} \left[\frac{1}{T_{a0}} - \frac{1}{T_A} \right] = \ln X_A$$

(Ecuación 4)

En donde λ corresponde al calor latente de fusión molar, Rg la constante universal de los gases, T_{a0} la temperatura de congelamiento del agua pura, T_A la temperatura del producto congelado en °K y X_A la Fracción mol de agua no congelada.

Siendo:

- $\lambda = \text{Peso molecular del agua} \times 333,9 \text{ kJ/kg} = 6016.878$
- $Rg = 8.3144 \text{ Pa m}^3/\text{mol } ^\circ\text{K}$

- $T_{Ao} = 273 \text{ }^{\circ}\text{K}$
- $T_A \text{ (}^{\circ}\text{K)} = T \text{ (}^{\circ}\text{C)} + 273$

$$X_A = \frac{\frac{m_u}{M_A}}{\frac{m_u}{M_A} + \frac{m_{si}}{M_{si}}}$$

(Ecuación 5)

Una vez obtenida la fracción mol de agua no congelada, se debe determinar la fracción másica de agua no congelada, aplicando la ecuación 5; tomando en cuenta que la fracción mol de agua en el producto está en función de la humedad, expresada como fracción másica de agua no congelada (m_u), el peso molecular del agua (M_A), los porcentajes de los componentes del alimento expresados en fracción másica (m_{si}), y el peso molecular de cada componente (M_{si}) (Tabla 10).

A su vez, mediante el anexo 8, se procede a calcular el calor específico de los componentes del alimento en función de la temperatura, mediante las siguientes ecuaciones:

$$C_{p_u} = 4.0817 - 0.0053062 T + 9.9516 \times 10^{-4} T^2$$

(Ecuación 6)

$$Cp_c = 1.5488 + 0.00196250 T - 5.9399 \times 10^{-6} T^2$$

(Ecuación 7)

$$Cp_p = 2.0082 + 0.0012089 T - 1.3129 \times 10^{-6} T^2$$

(Ecuación 8)

$$Cp_l = 1.9842 + 0.0014733 T - 4.8006 \times 10^{-6} T^2$$

(Ecuación 9)

$$Cp_a = 1.0926 + 0.0018896 T - 3.6817 \times 10^{-6} T^2$$

(Ecuación 10)

$$Cp_{ac} = 2.0623 + 0.0060769 T$$

(Ecuación 11)

CALCULO DE CALOR ESPECÍFICO Y FRACCIÓN MÁSCICA

DE AGUA NO CONGELADA

- **Pulpa de mora congelada**

Mediante la ecuación 4 se determina que la fracción mol de agua no congelada es:

$$X_A (\text{pulpa de mora congelada}) = 0.90412$$

A su vez, se procede a calcular la fracción másica de agua no congelada mediante la ecuación 5:

$$m_u (\text{pulpa de mora congelada}) = 0.0835$$

Para efectos de cálculos, al valor de m_u se le debe añadir un margen de seguridad del 10% con respecto a la fracción másica del agua en el alimento, es decir $0,837 \times 10\%$; por lo tanto:

$$m_u = 0.0835 + 0.0873$$

$$m_u (\text{pulpa de mora congelada}) = 0.1708$$

Conociendo que la temperatura de la pulpa de mora es de -10°C ; se procede a determinar el calor específico de los componentes mediante las ecuaciones 6, 7, 8, 9, 10, 11.

Una vez conocidos todos los valores correspondientes a fracción másica y calor específico de los componentes de la pulpa de mora, se aplica la ecuación 3, dando como resultado el calor específico de la pulpa de mora ($C_{p_{pmc}}$) a -10°C :

$$C_{p_{pmc}} = 2,31719064 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

- **Mezcla para helado de mora tipo sorbete.**

Siguiendo el mismo procedimiento se determina mediante la ecuación 4 que la fracción mol de agua de agua no congelada en la mezcla es:

$$X_A (\text{agua en la mezcla}) = 0.977335$$

A su vez, se procede a calcular la temperatura de congelamiento de la mezcla para helado utilizando la ecuación 4 en donde $T_A = 270.659^\circ\text{K}$, por lo tanto:

$$T_A = -2.34^\circ\text{C}$$

Nuevamente se procede a determinar mediante la ecuación 4 la fracción mol de agua no congelada en la mezcla a la temperatura de congelamiento:

$$X_A (\text{mezcla a } -2.34^\circ\text{C}) = 0.977335$$

De acuerdo a la ecuación 5 tenemos que:

$$m_u (\text{mezcla a } -2.34^\circ\text{C}) = 0.813 \times \text{fracción másica de agua en la mezcla}$$

$$m_u (\text{mezcla a } -2.34^\circ\text{C}) = 0.813 \times 0.7085 + 0.7085 (10\%)$$

$$m_u (\text{mezcla a } -2.34^\circ\text{C}) = 0.6469$$

Por lo que se determina que la fracción másica de agua congelada es:

$$m_{ac} (\text{mezcla a } -2.34^{\circ}\text{C}) = 0.7085 - 0.6469$$

$$m_{ac} (\text{mezcla a } -2.34^{\circ}\text{C}) = 0.0616$$

Finalmente, se procede a determinar el calor específico de la mezcla para helado de mora tipo sorbete a la temperatura de congelamiento ($T = -2.3^{\circ}\text{C}$), mediante la ecuación 3:

$$Cp(\text{mezcla para helado a } -2.34^{\circ}\text{C}) = 3.2141 \text{ kJ/kg } ^{\circ}\text{C}$$

Cálculo de capacidad de caldero requerida

De acuerdo a los parámetros de producción establecidos en la tabla # 11, y utilizando los datos obtenidos anteriormente, se procede a realizar un balance de materia y energía para determinar la capacidad que debe tener el caldero, para suministrar el calor requerido en el proceso.

Tabla # 11

Parámetros de Producción

| | | |
|---|---------------------------|---------------------------|
| Producción anual: | | 79100 kg |
| Semanas laborables por año | | 52 semanas |
| Días laborables por semana | | 5 días |
| Horas de trabajo por día | | 8 h |
| Densidad de la mezcla para helado | | 1.1165 kg /Lt |
| Overrun del helado | | 35% |
| Volumen de helado sin overrun | | 70846 Lt |
| Litros de helado producidos por año | | 108994 Lt |
| Litros de helado diarios | | 419 Lt |
| Kilos de mezcla para helado diario | | 304 kg |
| Composición de la mezcla para helado demora tipo sorbete | Pulpa de mora | 50% 152 kg |
| | Jarabe | 50% 152 kg |
| Capacidades de las marmitas en el proceso | marmita 1 (pulpa) | 100 Lt 2 paradas / día |
| | marmita 2 (jarabe) | 100 Lt 2 paradas / día |

Elaborado por: Edison Zhindon M.

- **Balance de energía**

Calor (Q)

Es la energía intercambiada debido a la diferencia de temperatura entre el sistema y los alrededores (ver figura # 3).

Figura # 3

Balance de Energía



Elaborado por: Edison Zhindon M.

En el procesado de alimentos, los procesos a presión constante son muy habituales, por lo que la energía requerida se la conoce simplemente como “calor necesario”, siendo este positivo si el calor entra al sistema y negativo si se transfiere del sistema al exterior.

Si el proceso de calentamiento supone un incremento de temperatura sin cambio de fase a presión constante, entonces:

$$Q = m C_p (T_2 - T_1)$$

(Ecuación 12)

En donde, m es el flujo másico, C_p es el calor específico, T_1 es la temperatura inicial y T_2 es la temperatura final.

Existen procesos, en los que el calentamiento/enfriamiento suponen un cambio de fase a presión constante; aquí se da como resultado una transferencia de calor latente, en donde el alimento experimenta un cambio de estado sólido/líquido/gas a una determinada temperatura:

$$Q = m \lambda$$

(Ecuación 13)

En donde λ corresponde al calor latente de fusión/vaporización del producto que va a cambiar de estado. El calor latente varía en función de la temperatura u sus unidades están dadas en Kj/kg. Por lo tanto:

Calor cedido

=

Calor ganado

En donde:

$$Q_{cedido} = Q_{ganado} + Q_{perdido\ al\ ambiente}$$

(Ecuación 14)

- **Descripción del uso de las marmitas.**

A continuación en la tabla # 12, se detalla el flujo másico, los tiempos de proceso y las temperaturas de trabajo para la elaboración de la mezcla para helado de mora tipo sorbete:

Tabla # 12

Descripción de Uso de las Marmitas

| | |
|--|--|
| Preparación de jarabe (Marmita 1) | 0 - 10 min > Arranque de proceso y adición de ingredientes |
| | 10 - 40 min > Calentamiento de [25] °C a [85] °C |
| | 40 - 55 min > Mantenimiento de temperatura a 85°C |
| | 55 - 60 min > Evacuación de jarabe a mezclado y enfriamiento |
| | Tiempo de proceso 60 min |
| | Flujo por parada 152 kg / h (m_j) |
| Descongelamiento de pulpa de mora (Marmita 2) | 0 - 10 min > Arranque de proceso y adición de pulpa congelada |
| | 10 - 55 min > Calentamiento de [-10] °C a [0] °C |
| | 55 - 60 min > Evacuación de la pulpa descongelada para mezclado y enfriamiento |
| | Tiempo de proceso 60 min |
| | Flujo por parada 101 kg / h (m_{pmc}) |

Elaborado por: Edison Zhindon M.

Tomando en cuenta que el calor perdido hacia el ambiente, depende de la eficiencia del equipo de proceso, tenemos que:

$$Q_{cedido} = Q_{preparación\ de\ jarabe} + Q_{descongelación\ de\ pulpa\ de\ mora}$$

Necesidades energéticas

La energía o calor necesario para el sistema, se basa en la energía total utilizada en el proceso durante un período de

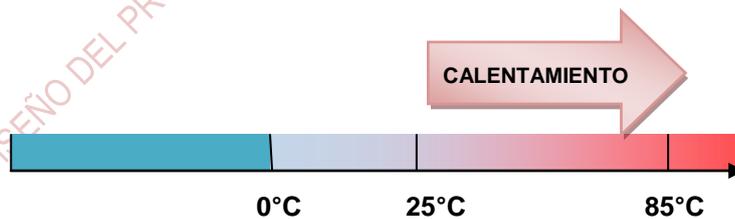
tiempo. Debido a que el sistema posee dos procesos que se realizan simultáneamente.

- **Preparación del jarabe**

El jarabe se lo procede a calentar en una marmita mediante la inyección de vapor. Las características del proceso están detalladas en las figuras 4 y 5 en donde E_m es la eficiencia de la marmita, T_s , P_s y X_s son respectivamente la temperatura, presión y calidad de vapor utilizado; T_c es la temperatura de salida del condensado y T_{j1} y T_{j2} son las temperaturas de entrada y salida del jarabe.

Figura # 4

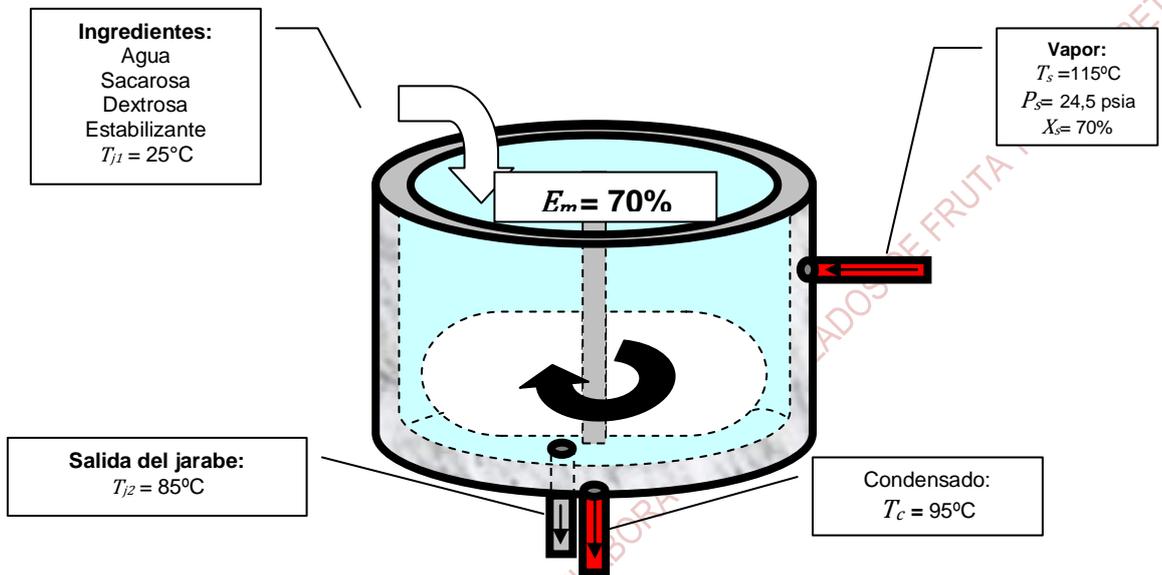
Viaje térmico del Jarabe



Elaborado por: Edison Zhindon M.

Figura # 5

Preparación del Jarabe



Elaborado por: Edison Zhindon M.

a) Calor necesario para preparación del jarabe

Aplicando la ecuación 12 se procede a determinar el calor requerido para la preparación del jarabe (Q_{pj}):

$$Q_j = m_j C_{p_{jnc}} \Delta t_j$$

$$Q_j = 26695 \text{ kJ/h}$$

b) Flujo de calor tomando en cuenta la eficacia de la marmita

$$Q_{total1} = 38136 \text{ kJ/h}$$

De acuerdo al flujo de calor obtenido, se determina que la potencia requerida para preparar el jarabe es de 14.91 HP.

c) Determinación de la energía de vapor utilizado

Para determinar la energía de vapor utilizado se debe tomar en cuenta las propiedades de vapor de agua (anexo 10), para luego proceder a desarrollar la siguiente ecuación:

$$H = F_l H_c + F_s H_v$$

(Ecuación 15)

En donde H es la entalpía de vapor utilizada, F_l y F_s son respectivamente la fracción másica de líquido y vapor de acuerdo a la calidad de vapor de entrada en los equipos, y H_c y H_v son las entalpías de líquido y de vapor a la presión del proceso. Por lo tanto, la entalpía de vapor recomendada para el equipo es:

$$H = 2034.044 \text{ kJ/kg}$$

d) Contenido energético del condensado (H_c)

Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$H_c = C_{p_c} T_c$$

(Ecuación 16)

En donde C_{p_c} es el calor específico del condensado, propiedad del agua a presión de saturación (anexo 9) y T_c corresponde a la temperatura de salida del condensado. Por lo tanto:

$$H_c = 400 \text{ kJ/kg}$$

e) Determinar flujo másico de vapor necesario (m_s)

$$Q = m_s (H - H_c)$$

(Ecuación 17)

En donde m_s corresponde al flujo másico de vapor o calor total requerido por el proceso (Q_{total}), por lo tanto:

$$m_s = 23.33 \text{ kg de vapor/h}$$

f) Determinar el volumen de vapor (V)

$$V = F_l V'_c + F_s V'_v$$

(Ecuación 18)

En donde V'_c y V'_v son respectivamente los volúmenes específicos (m^3/kg) de líquido y de vapor a la temperatura y presión de proceso (anexo 10). Por lo tanto:

$$V' = 0.7259 \text{ m}^3/\text{kg}$$

g) Determinar el caudal volumétrico de vapor (V)

$$V = m_s \times V'$$

(Ecuación 19)

Por lo que el flujo de vapor de acuerdo a las propiedades descritas, debe ser:

$$V = 16.938 \text{ m}^3/\text{h}$$

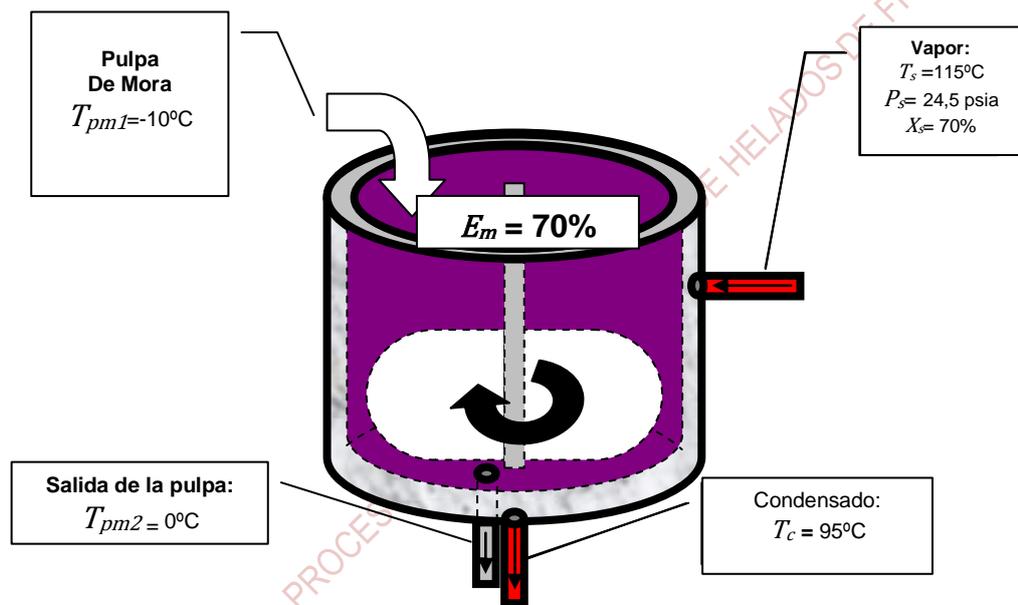
- **Descongelamiento de la pulpa de mora**

La pulpa se la procede a descongelar en una marmita mediante la inyección de vapor. Las características del proceso están detalladas en la figura # 6, en donde E_m es la eficiencia de la marmita, T_s , P_s y X_s son respectivamente la temperatura, presión y calidad de vapor utilizado; T_c es la temperatura de salida del

condensado y T_{pm1} y T_{pm2} son las temperaturas de entrada y salida de la pulpa de mora.

Figura # 6

Descongelamiento de la Pulpa de Mora



Elaborado por: Edison Zhindon M.

De acuerdo a las propiedades de la pulpa de mora congelada, se determinó que el porcentaje de humedad de la pulpa de mora congelada es casi el 90%. Ya que el objetivo del descongelamiento de la pulpa de mora es facilitar el mezclado con el jarabe y a su vez disminuir la temperatura de la mezcla;

los cálculos se realizarán de tal manera que la pulpa de mora alcanzará una temperatura de 0°C sin realizar un cambio de fase (ver figura # 7), por lo que la energía utilizado en este proceso corresponderá solamente al calor sensible determinado.

Figura # 7

Viaje Térmico de la Pulpa de Mora Congelada



Elaborado por: Edison Zhindon M.

a) Calor necesario para descongelamiento de la pulpa

Aplicando la fórmula 12 se procede a determinar el calor requerido para la descongelar la pulpa de mora (Q_{dpm}). Por lo tanto:

$$Q_{dpm} = 2339 \text{ kJ/h}$$

b) Flujo de calor tomando en cuenta la eficacia de la marmita

De acuerdo al sistema, la eficacia de la marmita es despreciable debido a que la pulpa de mora, está más fría que el ambiente; por lo tanto, además de la energía absorbida por el vapor se determina que existe un 10% de energía adicional que se recibe del ambiente. Por lo que la energía necesaria disminuye a:

$$Q_{total2} = 2105 \text{ kJ/h}$$

De acuerdo al flujo de calor requerido para el descongelamiento de la marmita, se determina que la potencia requerida para descongelar pulpa de mora congelada a -10°C es 0.82 HP.

c) Determinación de la entalpía de vapor (H)

De acuerdo a la ecuación 15 se obtiene:

$$H = 2034.044 \text{ kJ/kg}$$

d) Contenido energético del condensado (H_c)

Mediante la ecuación 16 se obtiene que:

$$H_c = 400 \text{ kJ/kg}$$

e) Determinar flujo másico de vapor necesario (m_s)

$$m_s = 1.01 \text{ kg de vapor/h}$$

f) Determinar el volumen de vapor (V')

$$V' = 0.7259 \text{ m}^3/\text{kg}$$

g) Determinar el caudal volumétrico de vapor (V)

$$V = 0.945 \text{ m}^3/\text{h}$$

• Potencia requerida para el proceso

Una vez determinadas las energías necesarias para cada proceso, se procede a determinar cuál debe ser la potencia requerida para el proceso. Por lo tanto:

$$Q_{requerido} = Q_{total1} + Q_{total2}$$

Potencia total requerida para el proceso = 15.73 HP

Esto significa que para el proceso de preparación del jarabe y descongelamiento de pulpa de mora, se necesita una potencia mínima por parte del caldero de 15 HP por cada hora de trabajo.

Se debe tomar en cuenta que el vapor generado por los calderos sufre una caída de presión hasta llegar al proceso debido a

varios factores como la distancia desde el caldero hasta los equipos, flujo de vapor, diámetro de la tubería, ubicación de accesorios como codos, uniones, etc.

Alternativas comerciales

En sí, los calderos son instalaciones industriales que, aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan el agua para aplicaciones en la industria.

Existen varios tipos de caldero en el mercado, entre ellos se encuentran las de tipo horizontal y vertical. También existen calderas que utilizan diferentes tipos de combustible como diesel, gas o bunker para trabajar.

Actualmente la empresa cuenta con un caldero de tipo horizontal con una potencia de 30 HP para ser utilizado en todos los procesos de la empresa.

Se debe considerar que el proceso de preparación del jarabe y la pulpa de fruta requiere un tiempo de 2 horas al día, es decir que se necesita 15 HP/h; por lo tanto, la potencia requerida para el resto de procesos que se realicen simultáneamente, no debe ser mayor a 10 HP para que el caldero pueda abastecer del calor necesario a todo el sistema.

Se recomienda que los procesos que utilizan vapor como medio de calentamiento, mantengan un horario establecido de uso para que, en caso de que se realicen de manera simultánea, se pueda mantener un flujo adecuado de energía en los procesos.

La potencia requerida en el resto de procesos es alrededor de 13 HP, pero se debe tomar en cuenta que no todos los procesos que utilizan vapor se realizan de manera simultánea. Por lo tanto, se puede afirmar que la potencia total a ser utilizada para toda la planta se puede abastecer mediante el uso del mismo caldero (figura # 8).

Figura # 8

Caldero Horizontal 30 Hp



Fuente: Catálogo Alba Makina Co. Ltd.

Caída de presión en el proceso

Una vez analizado la potencia requerida y la capacidad del caldero, se debe conocer la caída de presión que existe en el sistema desde que sale del caldero hasta que llega a las marmitas.

Para esto, se debe tomar en cuenta algunas características iniciales del proceso:

- Presión de vapor del caldero: Regulable de 40 psi a 130 psi
- Tuberías: 26 m de tubería de acero inoxidable 1' cédula 40.
- Accesorios: 6 uniones, 6 codos 90°.

Para efectos de cálculo en el proceso de preparación de helados de fruta tipo sorbete, se tomó en cuenta que la presión a la que trabajan las marmitas es de 24.5 psi y que se reguló la presión de vapor del caldero a 70 psi para que pueda abastecer a las dos marmitas.

Las propiedades del vapor a 70 psi son:

- Presión manométrica (P_m) = 4.826 bar.
- Presión absoluta (P_a) = 5.859 bar.
- Temperatura (T) = 157.51°C
- Volumen específico (V) = 0.325 m³/kg
- Densidad (ρ) = 3.076 kg/m³

- Viscosidad (μ) = 0.427 cP = 2.27 x 10⁻⁴ Pa. s

Se procede a determinar la velocidad (v) de vapor saturado tomando en cuenta la siguiente ecuación: [12]

$$v = 50. \sqrt{D}$$

(ecuación 20)

Siendo D , el diámetro interior de la tubería utilizada. Por lo tanto la velocidad del vapor saturado es de 8.154 m/s.

Con los datos anteriores se procede a realizar los cálculos para determinar la caída de presión, de la siguiente manera:

1. Se determina el número de Reynolds para verificar si el flujo es laminar o Turbulento:[11]

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu}$$

(ecuación 21)

El número de Reynolds determinado es de 1562.60.

2. Debido a que el número de Reynolds es menor a 2000, se considera que el flujo es de tipo laminar. Por lo tanto se utiliza la siguiente ecuación para determinar el factor de fricción (f): [11]

$$f = \frac{64}{Re}$$

(ecuación 22)

El factor de fricción en el recorrido es 0.0409.

3. Se calcula el flujo másico de vapor en circulación (Fi) [12]

$$Fi = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot v \cdot \rho \cdot 3600}{4}$$

(ecuación 23)

Por lo tanto, Fi es 4.011 kg de vapor/h

4. Se determina el coeficiente de resistencia local (Kit) en tuberías. [12]

$$Kit = K1(n)$$

(ecuación 24)

Donde K_1 es el coeficiente de fricción del accesorio y n es el número de accesorios en el trayecto. El valor de K_1 para tuberías es 0.04. Por lo tanto, el K_{it} para 6 tuberías es 0.24.

5. Se determina el coeficiente de resistencia local (K_{ic}) en codos. [12]

$$K_{ic} = \frac{K_1}{Re} + K\alpha \left(1 + \frac{0.0254}{D}\right)$$

(ecuación 25)

Donde $K\alpha$ es el factor de coeficiente de resistencia del accesorio. En el caso de los codos de 90°, K_1 es 800 y $K\alpha$ es 0.4(anexo 12); por lo tanto K_{ic} para 6 codos es 7.76.

6. Se determina el coeficiente total de pérdida (K).

$$K = \frac{0.0826546}{D^4} \cdot \left(f \cdot \frac{L}{D} \cdot \sum K_i\right)$$

(ecuación 26)

Donde $\sum K_i$ corresponde a la sumatoria de los coeficientes de resistencia de todos los accesorios que hay en el recorrido. Por lo tanto, K es 7919745.05.

7. Se calculan las pérdidas totales (Hf).

$$Hf = K \cdot \left(\frac{V \cdot Fi}{3600} \right)^2$$

(ecuación 27)

Por lo tanto, las pérdidas totales en el tramo analizado (Hf) es 1.03 m c.a.

8. Se determina la caída de presión total (ΔP).

$$\Delta P = \frac{Hf \cdot 10^{-4}}{V}$$

(ecuación 28)

Por lo tanto, la caída de presión que existe en el recorrido desde que sale del caldero hasta que llega a los equipos es de $3.16 \times 10^{-4} \text{ kg/cm}^2$; que bien podría expresarse como $3.0989 \times 10^{-4} \text{ bar}$ o $4.49 \times 10^{-3} \text{ psi}$.

Esto quiere decir que existe una disminución despreciable en la presión de vapor en el recorrido por la tubería. En el caso de que exista un incremento en la distancia o la instalación

de nuevos accesorios como válvulas, cambio de tuberías, o aumento del flujo de vapor, se debe analizar la caída de vapor en el sistema, ya que este varía dependiendo de las condiciones de trabajo.

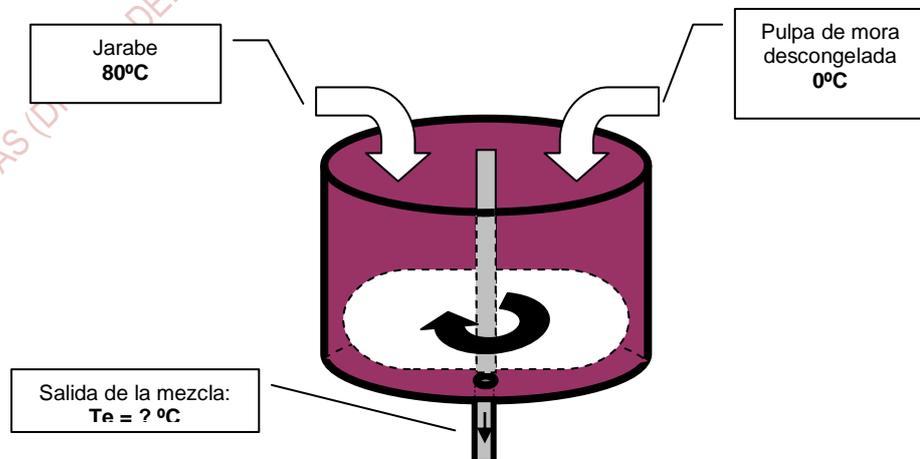
- **Mezclado del jarabe con la pulpa de mora descongelada**

Una vez descongelada la pulpa de mora y preparado el jarabe, estos se mezclan en un tanque con agitación por un tiempo aproximado de 20 minutos, hasta que la mezcla se encuentre lo más homogénea posible. Asumiendo que en el momento del mezclado existen pérdidas de calor debido al ambiente, ver figura

9:

Figura # 9

Esquema de Mezclado de la Pulpa de Mora y Jarabe



Elaborado por: Edison Zhindon Macías

Una vez realizada la mezcla, esta procede a enfriarse mediante un intercambiador de calor de tubo en tubo hasta la temperatura ambiente; pero para esto, se debe determinar la temperatura de equilibrio de la mezcla. Por lo tanto:

$$Q_{cedido} = Q_{ganado}$$

$$-Q_{jarabe} = Q_{pulpa}$$

Despejando el valor de T_1 del jarabe y T_2 de la pulpa de mora que corresponden a la temperatura de equilibrio de la mezcla, obtenemos que $T_{equilibrio}$ es 37.05°C.

- **Enfriamiento de la mezcla**

Una vez realizada la mezcla, esta debe pasar a través de un intercambiador de calor de tubo en tubo, en donde circulará la mezcla a través del tubo interior, mientras que en el tubo exterior circulará agua a temperatura ambiente en contra corriente, ver figura # 10:

Figura # 10

Sistema de Tubo en Tubo en Contra Corriente



Elaborado por: Edison Zhindon Macías

Se determinará el flujo de agua de enfriamiento para disminuir la temperatura de la mezcla que posteriormente ingresará al proceso de maduración.

El producto pasará a través de un intercambiador de calor de tubo en tubo con las siguientes características:

- Tiempo de enfriamiento = 30 min
- Caudal de la mezcla no congelada (m_{mnc}) = 0.0422 kg/s
- Temperatura de entrada de la mezcla = 37.05°C
- Temperatura de salida de la mezcla = 26°C
- Diámetro del tubo interno = 0.025 m
- Temperatura de entrada del agua de enfriamiento = 25°C
- Temperatura de salida del agua de enfriamiento = 30°C
- Longitud de la tubería = 8 m.

Se aplica el criterio de la ecuación 14, en donde:

$$Q_{ganado} = Q_{cedido}$$

$$Q_{agua\ de\ enfriamiento} = - Q_{mezcla\ no\ congelada}$$

$$m_{ae} C_{p_{ae}} \Delta t_{ae} = - (m_{mnc} C_{p_{mnc}} \Delta t_{mnc})$$

Tomando en cuenta que m_{ae} es el flujo másico de agua de enfriamiento, $C_{p_{ae}}$ es el calor específico del agua a 20°C (4.182kJ/kg °C), Δt_{ae} es la diferencia entre temperatura inicial y final del agua de enfriamiento, m_m es el flujo másico de la mezcla, $C_{p_{mnc}}$ es el calor específico del la mezcla no congelada, y Δt_{mnc} es la diferencia entre temperatura inicial y final de la mezcla a enfriar. Por lo que tenemos como resultado que:

$$m_a = 0.08 \text{ kg/s} \longrightarrow 1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ kg}$$

$$m_a = 0.00008 \text{ m}^3/\text{s}$$

EDISON ZHINDON MACÍAS (DISEÑO DEL PROCESO PARA LA LABORACIÓN DE HELADOS DE FRUTA TIPO SORBETE)

2.3.2 Madurador

Cálculo de necesidades energéticas

Tal como ha sido explicado el funcionamiento del equipo, se procede a colocar la mezcla en su interior para primeramente ser enfriado en un tiempo máximo de 2 horas, y luego mantener su temperatura a 4°C por un tiempo aproximado de 18 horas, cumpliendo con dos necesidades importantes:

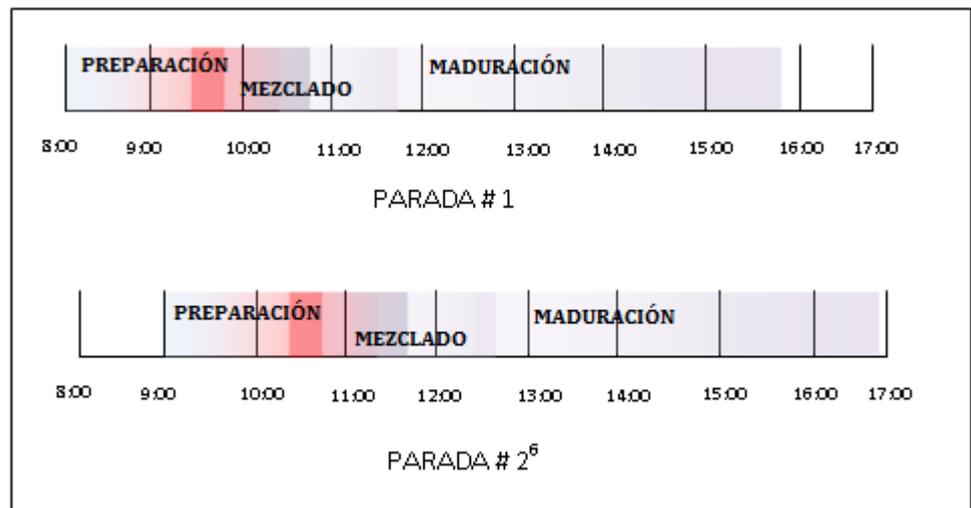
- Lograr una mejor textura del helado, debido a la rehidratación de los coloides.
- Cumplir con los horarios de trabajo establecidos

Las etapas de congelamiento y abatimiento de temperatura, se efectúan al día siguiente, de manera simultánea con la preparación de los siguientes lotes de producción.

Ya que, el número de paradas de de producción es 2, y que el flujo de producto por parada es de 150 kg/h; se debe considerar que una vez finalizado los dos procesos, estos no deben ocasionar un cuello de botella en esta etapa. Es por eso que se debe determinar el flujo de producción, el calor sensible a remover y el número de equipos a utilizar.

Figura # 11

Intervalos de Tiempo (Preparación - Maduración)



ELABORADO POR: Edison Zhindon

Por lo tanto, el flujo másico total (m_t) corresponde a la suma de las primera parada (m_{1p}) y la segunda parada (m_{2p}), ya que como se puede apreciar en la figura # 11, estos se cruzan en cierto intervalo de la jornada de trabajo.

^{6.} La parada # 2 empieza 1 hora más tarde, una vez finalizada la preparación de la parada # 1, debido a que se utilizan los mismos equipos.

$$m_t = m_{1p} + m_{2p}$$

(ecuación 29)

Por lo tanto:

$$m_t = 304 \text{ kg/día}$$

Considerando que la mezcla total debe ser enfriada en un tiempo de 2 horas, de calor sensible (Q) a remover mediante la ecuación 12:

$$Q = m_t C_{p_{mnc}} \Delta t_{mnc}$$

- $m_t = 152 \text{ kg/hr}$
- $C_{p_{mnc}} = 3.38205 \text{ kJ/kg}$
- $\Delta t_{mnc} = 4^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C}$

Por lo que la cantidad de calor sensible a remover es:

$$Q = - 11309.58 \text{ kJ/h}$$

Siendo el signo negativo, una referencia de que el producto está recibiendo calor y no cediendo. De acuerdo a las características del madurador, y debido a la continua agitación de la mezcla y la pérdida de calor al ambiente por parte del equipo, se estima que

se pierde alrededor del 40% de la energía. Por lo tanto, la energía total a extraer es:

$$Q = 18849.3 \text{ kJ/h}$$

También se lo puede expresar como 17877.6 BTU; Lo que quiere decir que la capacidad mínima del equipo debe ser de 7.02 HP.h o 1.49 TR expresado en Toneladas Refrigeradas.

Alternativas comerciales

De acuerdo a las características del proceso se procede a determinar el número de equipos, tomando en cuenta las capacidades operativas de los mismos.

Para esto se seleccionaron tres modelos de tinas de maduración industriales que se comercializan en el mercado (figura # 12) con diferentes características.

EDISON ZHINDON MACÍAS (DISEÑO DEL PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE HELADOS DE FRUTA TIPO CORBETE)

Figura # 12

Tinas de Maduración



| CARACTERÍSTICA | MODELO | | |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|
| | Crios 60 | Crios 120 | Crios 60 + 60 |
| Capacidad | 60 Lt | 120 Lt | 2 x 60 Lt |
| Potencia Compresor | 2 HP | 4 HP | 3 HP |
| Potencia motor | 0.75 kW | 1 kW | 1.5 kW |
| Voltaje | V.220/1HP/50Hz | V.220/1HP/50Hz | V.400/3HP/50Hz |
| Enfriador | Agua | Agua | Agua |
| Gas refrigerante | R22 – R 404A | R22 – R 404A | R22 – R 404A |
| Largo cm. | 49 | 68 | 85 |
| Profundidad cm. | 94 | 98 | 98 |
| Aura cm. | 117 | 117 | 114 |
| Peso neto kg. | 145 | 192 | 235 |

Fuente: Catálogo MATRIX Gelatto Machine, Italia.2009

Selección de equipos

- Siendo 1.12 kg/Lt la densidad de la mezcla para helados y de acuerdo al flujo másico diario de mezcla. Tenemos que el volumen total es de 271 Lt Y para efectos de cálculos lo haremos por 300 Lt

- El número de equipos de acuerdo a sus capacidades y en función de los requerimientos se encuentran establecidos a continuación en la tabla # 13.

Tabla # 13

Cálculo Número de Maduradores

| | Crios 60 | Crios 120 | Crios 60+60 |
|--|-----------------|------------------|--------------------|
| Capacidad | 60 Lt | 120 Lt | 120 Lt |
| Potencia | 2 HP | 4 HP | 3 HP |
| Número de equipos segun capacidad | 5 | 2,5 | 2,5 |
| Número de equipos segun compresor | 3,51 | 1,755 | 2,808 |

Elaborado por: Edison Zhindon M.

De acuerdo con los datos establecidos en la tabla # 13, se debe adquirir 3 tinas de maduración del modelo Crios 120. También se puede optar por 3 tinas Crios 60+60, pero al comprar la Crios 120 tenemos un mayor margen de seguridad con respecto a la capacidad.

2.3.3 Congelador de superficie raspada

Una vez finalizada la maduración se procede a colocar la mezcla en las mantecadora industrial. Recordando que la cantidad de mezcla para helado que fue colocada en el madurador desde el día anterior, debe congelarse en la mantecadora en un período de 2 horas. Por lo tanto:

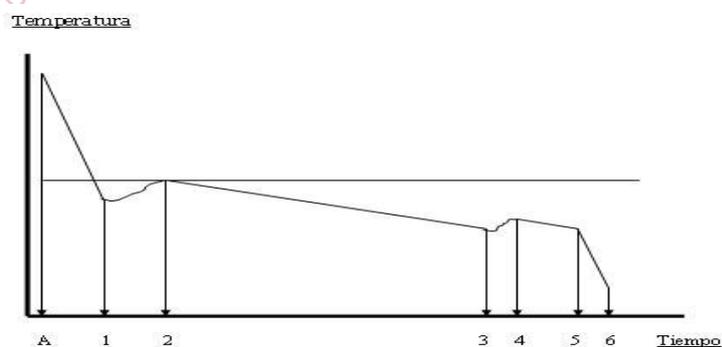
$$\text{Flujo másico} = 152 \text{ kg/h}$$

Congelación de la mezcla

En la figura # 13 se puede apreciar la curva de congelamiento de una solución, la cual varía dependiendo de la composición y las condiciones del proceso de congelamiento.

Figura # 13

Curva de Congelación



Fuente: Z. GRUDA, J. POTOLSKI. Tecnología de la Congelación de Alimentos. España 2006

En donde:

A-1: El alimento se enfría desde su temperatura inicial hasta por debajo de su punto de inicio de congelación que está por debajo, siempre, de cero grados. En el punto 1 el agua todavía se encuentra en estado líquido. Es el fenómeno de sub enfriamiento.

1-2: La temperatura del alimento aumenta ya que comienza a cristalizar el agua y se genera calor del calor latente de congelación a una velocidad superior a la que se elimina del alimento.

2-3: El agua sigue cristalizando y la temperatura del alimento es casi constante pero con un ligero descenso ya que al concentrarse los solutos en el agua que todavía está líquida, el punto de congelación irá disminuyendo.

3-4: Uno de los solutos se sobresatura y cristaliza. Será en este caso el primer soluto que cristalice el que tenga un punto de congelación más alto. A este punto se le denomina eutéctico y como en el caso del agua al cristalizar al hielo, la liberación de calor latente de congelación del soluto provoca un aumento en la temperatura del alimento.

4-5: La cristalización del agua y los solutos continúa.

5-6: La temperatura desciende hasta alcanzar la temperatura del congelador. El grado de congelación alcanzada por el alimento dependerá de la temperatura del congelador (cuánto más baja, más porcentaje de alimento congelado) y de las características del alimento que se está congelando.

Necesidades energéticas

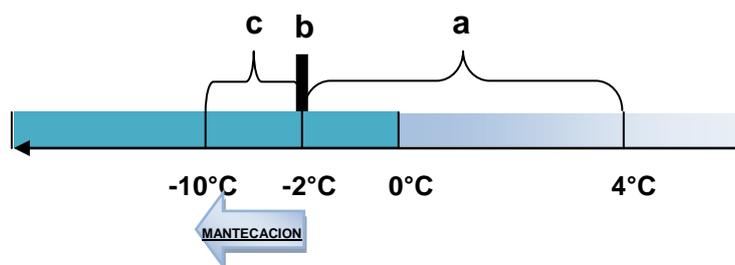
Bajo el mismo criterio representado en la ecuación 14 en donde:

$$Q_{ganado} = Q_{removido} + Q_{ambiente}$$

En donde la pérdida de calor el calor que adiciona el ambiente corresponde al 20% del total de calor removido. La figura # 14 describe el viaje térmico que mezcla en el mantecador.

Figura # 14

Viaje Térmico en la Mantecadora



Elaborado por: Edison Zhindon M.

Siendo **a** el calor sensible de la mezcla desde 4°C hasta llegar a su punto de congelación, **b** corresponde al calor latente de fusión/congelamiento del alimento a la temperatura de congelación ya obtenida que es -2.34°C; y **c** corresponde al calor sensible de la mezcla desde el punto de congelación hasta la temperatura de salida del mantecador que es entre -4°C y -8°C.

Tomando en cuenta los criterios establecidos, mediante las ecuaciones 12 y 13; el calor total a remover será:

$$Q_{total} = Q_{sensible\ a} + Q_{latente\ b} + Q_{sensible\ c}$$

- **Calor sensible “a” (Q_a)**

$$Q_a = m_m + Cp_{mnc} + (T_{2m} - T_{1m})$$

$$Q_a = -3259.21 \text{ (20\%adicional)}$$

$$Q_a = -4074.01 \text{ kJ/hr}$$

- **Calor latente “b” (Q_b)**

$$Q_b = m_{am} \lambda_m$$

Donde λ_m es el calor latente de fusión de agua, la cual está en función de la fracción másica de agua no congelada de la mezcla a la temperatura de congelamiento. Por lo tanto:

$$Q_a = -32736.16 \text{ kJ/h (20\% adicional)}$$

$$Q_a = -40953.94 \text{ kJ/h}$$

- **Calor sensible “c” (Q_c)**

$$Q_c = m_m + Cp_{(mezcla\ para\ helado\ a\ -2.34^{\circ}C)} + (T_{2m} - T_{1m})$$

$$Q_a = -3742.24 \text{ (20\% adicional)}$$

$$Q_a = -4677.8 \text{ kJ/h}$$

- **Calor total (Q_{total})**

$$Q_{total} = -49704.81 \text{ kJ/h}$$

También se lo puede expresar como 47142.6 BTU o 13.8 kW.h;
Lo que quiere decir que la capacidad mínima del equipo debe ser de 18.5 HP.h o 3.93 TR expresado en Toneladas Refrigeradas.

Alternativas comerciales

De acuerdo a las características del proceso se procede a determinar el número de equipos, tomando en cuenta las capacidades operativas de los mismos.

Para esto se seleccionaron algunos modelos de mantecadores para producción continua industriales que se comercializan en el mercado (Figura # 15) con diferentes características.

Figura # 15

Mantecadoras de Producción Continua



TIPO SORBETE)

| Modelo | ZX 200 | ZX 300 | ZX 400 | ZX 600 | ZX 1100 |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| Max cap. l/h overrun 100% | 200 | 300 | 400 | 600 | 1100 |
| Min cap. l/h overrun 100% | 50 | 100 | 100 | 100 | 250 |
| Min Overrun | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Max Overrun | 100 | 100 | 140 | 140 | 140 |
| Compresor Kw. | 3.7 | 5.5 | 7.5 | 11.2 | 11.2+11.2 |
| Turbina Kw | 2.2 | 3 | 3 | 4 | 4+5.5 |
| Bomba Kw | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 1.1 | 1.8 |
| Tot potencia instalada | 6.8 | 9.5 | 11.5 | 16.5 | 34 |
| Cantidad de pistones bomba | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Sistema overrun | Mec. | Mec. | Mec. | Mec. | Mec. |
| Temp. salida helado | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 |
| Temp. min. salida helado | -9.2 | -9.5 | -10.5 | -11 | -11.4 |
| Temp. max. salida helado | -3 | -3 | -3 | -3 | -3 |
| Gas refrigerante | R507 | R507 | R507 | R507 | R507 |
| Peso neto Kg | 460 | 580 | 610 | 790 | 1410 |
| Largo | 680 | 680 | 680 | 680 | 1280 |
| Profundidad | 1250 | 1510 | 1510 | 1760 | 1760 |
| Altura | 1500 | 1500 | 1500 | 1550 | 1610 |

Fuente: Catálogo de la compañía Zuris, Italia.2009

Selección de equipos

- Siendo el volumen de producción de 271 Lt; para efectos de cálculos lo haremos por 300 Lt.

EDISON ZHINDON MACÍAS (DISEÑO DEL)

- El número de equipos necesarios de acuerdo a sus capacidades y en función de los requerimientos se encuentran establecidos a continuación en la tabla # 14.

Tabla # 14

Cálculo Número de Mantecadoras

| | ZX 200 | ZX 300 | ZX 400 | ZX 600 | ZX 1100 |
|---|--------|--------|--------|---------|---------|
| Capacidad overrun 100% | 200 Lt | 300 Lt | 400 Lt | 600 Lt | 1100 Lt |
| Capacidad sin overrun | 100 Lt | 150 Lt | 200 Lt | 300 Lt | 550 Lt |
| Potencia | 3,8 kW | 5,5 kW | 7,5 kW | 11,2 kW | 22,4 kW |
| Número de equipos según capacidad de mezcla sin overrun | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Número de equipos según potencia | 4 | 3 | 2 | 2 | 1 |

Elaborado por: Edison Zhindon M.

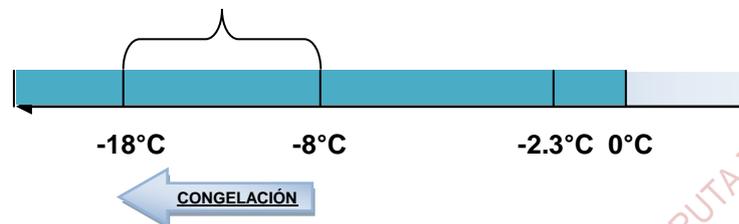
De acuerdo con los datos obtenidos, podemos determinar que se debe adquirir 2 equipos de maduración continua modelo ZX 400.

2.3.4 Túnel de congelación

La mezcla que sale del mantecador tiene alrededor del 75% de agua congelada, y tendrá un overrun del 35%; la textura de la mezcla permite un correcto envasado y posteriormente pasa a ser congelada hasta -18°C (figura # 16).

Figura # 16

Viaje Térmico de Congelación del Sorbete de Mora

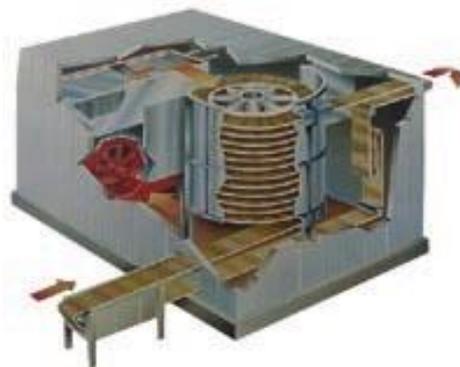


Elaborado por: Edison Zhindon M.

La empresa actualmente ya cuenta con un túnel de congelación en espiral (figura # 17), con una capacidad instalada de 30 HP. Se determinará las cargas totales de calor a retirar para verificar si puede ser utilizada para la congelación de los helados.

Figura # 17

Esquema de Túnel de Congelación en Espiral



Fuente: Cortesía Invesmasl Inc.

Necesidades energéticas

Bajo el mismo criterio representado en la ecuación 14 en donde:

$$Q_{ganado/h} = Q_{removido/h} + Q_{ambiente/h}$$

En donde la pérdida de calor el calor que adiciona el ambiente corresponde al 20% del total de calor removido. Por lo tanto:

$$Q_{congelacion} = 3908.35 \text{ kJ/h}$$

Alternativas comerciales

Ya que la capacidad instalada del túnel de congelación es de 30 HP, y que para el proceso de congelación de la mezcla solo se necesitan 1.45 HP, se puede afirmar que el equipo actual con el que cuenta la empresa, servirá adecuadamente para ser utilizado en el proceso. Por lo tanto, no hay necesidad de adquirir otro sistema de congelación.

2.3.5 Cámara de mantenimiento

Necesidades Energéticas

Para poder determinar la capacidad volumétrica de almacenamiento debemos conocer primero las dimensiones de

los envases en función a su flujo. Se utilizará como base la producción de 4 semanas de trabajo, ya que ese es el tiempo estimado de tránsito de producto hasta su posterior despacho.

Volumen de producción 4 semanas = 8380 Lt

Las dimensiones del envase para helados utilizados para la elaboración de este proyecto están detallados en la figura # 18, pero se debe tomar en cuenta también, que el helado puede ir envasado en otro tipo de presentaciones.

Figura # 18

Envase para 1 L de Helado



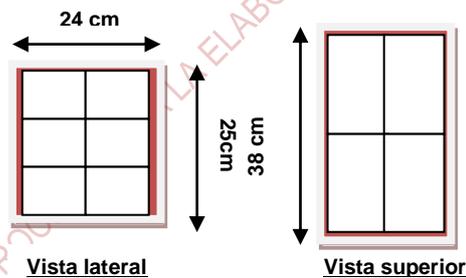
Elaborado por: Edison Zhindon M.

De acuerdo a la producción mensual de helados, se van a necesitar 8380 envases, pero estos a su vez tienen otras dimensiones para su embalaje y comercialización. (Largo 18.5cm, ancho 11.5cm alto 8cm).

En una caja entrarán 12 envases de helados por lo tanto las medidas del cartón se reflejan en la figura # 19:

Figura # 19

Encajado de Envases Para Sorbetes

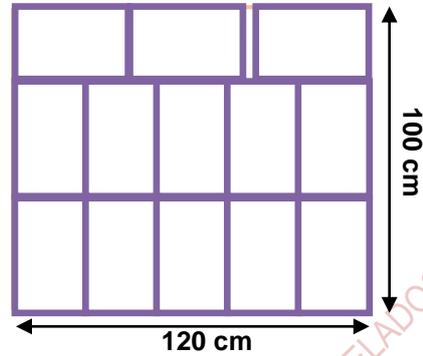


Elaborado por: Edison Zhindon M.

De acuerdo a las dimensiones de un pallet se procede a hacer un esquema para el palletizado, detallado en la figura # 20 a continuación:

Figura # 20

Palletizado de Cajas Para Helados



Elaborado por: Edison Zhindon M.

Según las dimensiones estándares internas de un contenedor:

| | <u>LARGO</u> | <u>ANCHO</u> | <u>ALTO</u> |
|--------------------|--------------|--------------|-------------|
| Contenedor 20 pies | 5.896 m | 2.35 m | 2.393 m |
| Contenedor 40 pies | 12.032 m | 2.35 m | 2.393 m |

Según las normas internacionales, se debe dejar un espacio mínimo de 20 cm. desde el techo hasta el producto, para evitar obstaculizar el aire dentro del contenedor.

Tomando en cuenta que el alto de un pallet es de 12 cm, entonces el número de filas de cajas por pallet no debe ser mayor a 8. Entonces el número de cajas por pallet es 104.

Conociendo que 1 pallet contiene 1248 envases de helado de mora tipo sorbete, entonces el número de pallets mensual que se deben almacenar según la producción es de 6.71 pallets. Para efectos de seguridad se establecerá que el número a almacenar será de 7 pallets.

Alternativas comerciales

La cámara de mantenimiento de la empresa, está diseñada para almacenar alrededor de 2 contenedores de 40 pies de producto terminado, es decir, alrededor de 40 pallets a -22°C .

La cámara de mantenimiento posee dos equipos de congelación de 20 HP cada uno. Debido a que todos los productos que entran a la cámara de mantenimiento están congelados a -18°C , la carga calórica a retirar será mínima, incluyendo las cargas correspondientes a focos, ventiladores, aperturas de puertas, ingreso de personal, etc.

Por lo tanto, se puede confirmar que se puede utilizar la misma cámara de mantenimiento para almacenar la producción de helados de fruta tipo sorbete.

2.4 Diseño de la línea de proceso

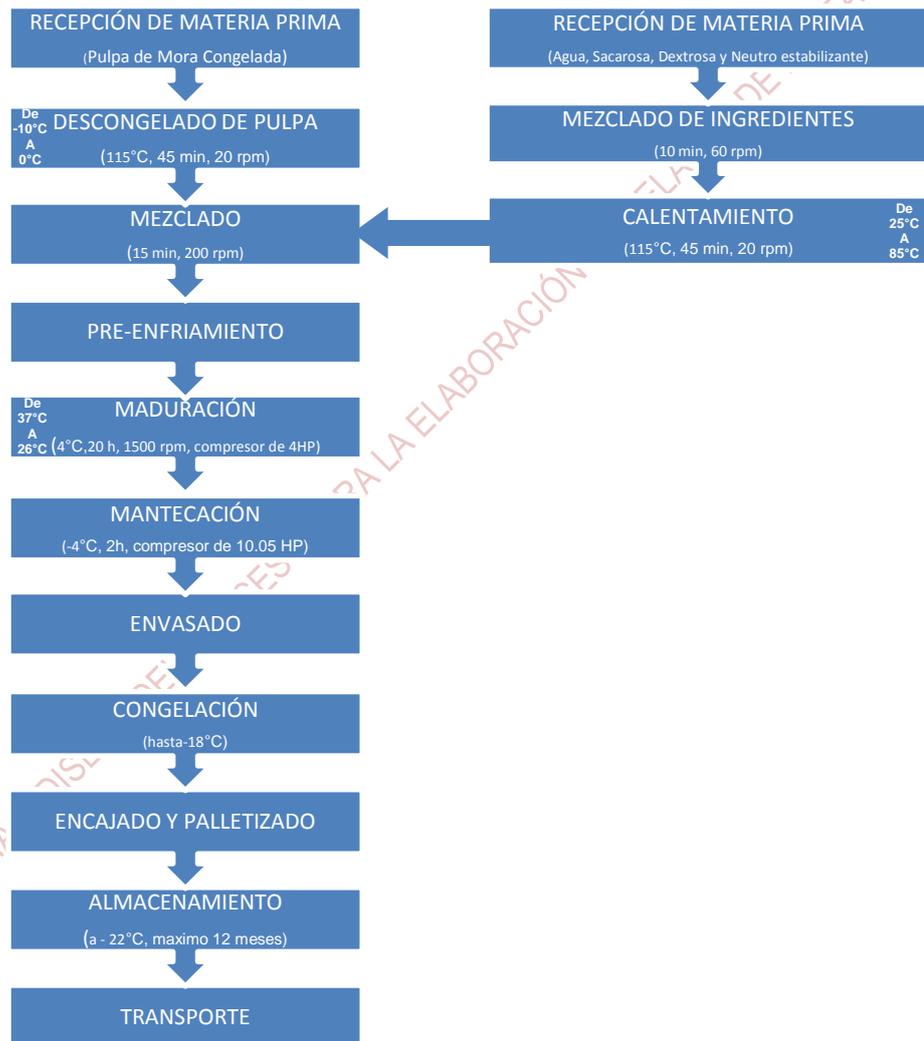
Para diseñar la línea de proceso en la planta se cumplirá en base a 6 principios básicos:

- Integración de conjunto. La mejor distribución es la que integra las actividades auxiliares.
- Mínima distancia recorrida en igualdad de condiciones.
- Circulación o flujo de materiales. el mismo orden o secuencia en que se transforma un producto.
- Espacio cúbico, efectivizando todo el espacio disponible, tanto vertical como horizontal.
- Flexibilidad, para que la producción pueda ser ajustada o reordenada al menos costo posible
- Satisfacción y de la seguridad en la línea de producción.

Se debe tomar en cuenta que la fruta que se utiliza para elaborar helado de mora tipo sorbete, corresponde a la pulpa de fruta congelada y no a la mora fresca. El diagrama de flujo, será realizado en función al proceso de producción, ya que los helados de fruta tipo sorbete tienen básicamente el mismo proceso de elaboración y utilizan los mismos equipos.

2.5 Diagrama de flujo

DIAGRAMA DE FLUJO



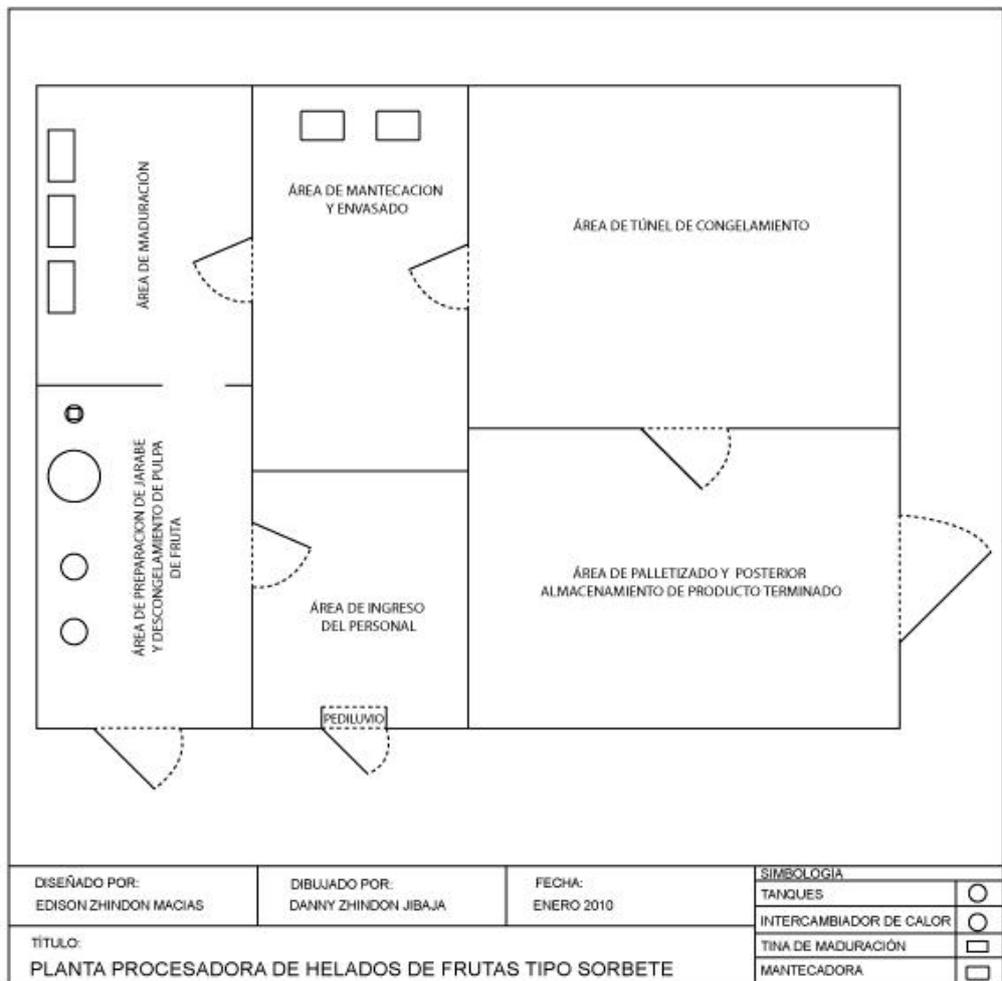
2.6 Diagrama de equipos



2.7 Layout de la planta

La distribución de las áreas de producción se estableció en función de los procesos. El diseño de la planta (layout) se puede observar a continuación en el plano # 1.

Plano # 1
Layout de Planta



Elaborado por: Edison Zhindon M. (Autocad 2008)

2.8 Otros requerimientos en el proceso

De acuerdo al proceso establecido, procederemos a determinar el número de empleados por cada etapa, y a su vez procederemos a determinar la cantidad de envases y cajas necesarias para el primer año de producción.

2.8.1 Mano de obra

El número de empleados utilizados para el proceso estará en función de las necesidades del proceso, tomando en cuenta que actualmente ya existe un personal encargado de realizar el encajado y manejo de bodega de todos los productos terminados. De acuerdo al número de máquinas establecidas, y el flujo de producción; la cantidad de empleados serán los indicados en la tabla # 15 a continuación:

Tabla # 15

Número de Empleados Por Área

| ÁREA | EMPLEADOS |
|--|-----------|
| <u>PREPACACIÓN DE MEZCLA</u> MARMITAS + MEZCLADOR | 2 |
| <u>MANTECACIÓN</u> MADURADOR - MANTECADOR | 2 |
| <u>ENVASADO</u> | 4 |
| <u>CONGELADOS</u> CONGELADOR - ALMACENAMIENTO | 1 |

Elaborado Por: Edison Zhindon M.

Por lo tanto, el número de empleados que se necesita para el proceso de elaboración de helados de fruta tipo sorbete, será 9.

2.8.2 Materiales de empaque y embalaje

Recordando que el número de cajas mensuales a producir es 699, y que el número de envases por cada caja es de 12. Las cantidades de envases, etiquetas pegables o termoencogibles, cajas de cartón necesarias para el primer año de producción son:

- Envases con tapa = 108994 unidades
- Etiquetas o termoencogibles = 108994 unidades
- Cajas de cartón = 9083 unidades.

CAPÍTULO 3

2 FACTIBILIDAD DEL PROYECTO.

3.1 Estimación de los costos fijos

Para conocer el costo de producción se determinarán los costos fijos y los costos variables. Los costos fijos corresponden al costo de mano de obra directa (tabla #16), mientras que los costos variables están en función de la energía consumida en la producción, materia prima, envases, cajas y cartones (tablas # 17 y 18). Por lo tanto:

Costos fijos

Tabla # 16

Costo Mano de Obra Directa

| MANO DE OBRA | | SUELDO/MES + OBLIGACIONES | TOTAL MENSUAL |
|--------------|---|---------------------------|---------------|
| supervisores | 3 | \$ 450 | \$ 13500.00 |
| Operadores | 6 | \$ 350 | \$ 2100.00 |
| TOTAL | | | \$ 3450.00 |

Elaborado por: Edison Zhindon M.

Costo variable

Tabla # 17

Costo Materia Prima y Materiales de Empaque

| | COSTO | CANTIDAD/LITRO | TOTAL |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|
| Pulpa de mora | \$ 3.00 /kg | 0.375 Kg | \$ 1.125 |
| Agua | \$ 0.02 /Lt | 0.204 Kg | \$ 0.004 |
| Dextrosa | \$ 3.00 /kg | 0.113 Kg | \$ 0.338 |
| Sacarosa | \$ 1.50 /kg | 0.055 Kg | \$ 0.082 |
| Neutro estab. | \$ 5.00 /kg | 0.004 Kg | \$ 0.019 |
| envase | \$ 0.20 /unidad | 1 Unidad | \$ 0.200 |
| tapa | \$ 0.05 /unidad | 1 Unidad | \$ 0.050 |
| termoencogible | \$ 0.04 /unidad | 1 Unidad | \$ 0.040 |
| caja de cartón | \$ 0.45 /unidad | 0.083 Unidad | \$ 0.038 |
| TOTAL/LITRO DE SORBETE DE MORA | | | \$ 1.895 |

Elaborado por: Edison Zhindon M.

Tabla # 18

Energía Utilizada en el Proceso

| | NECESIDAD | TOTAL/DÍA |
|-------------------|--------------------------|----------------------|
| Marmitas | 2 gal diesel/h 1.5 kW | 4 gal diesel 3 kW |
| Madurador | 3.98 kW/h | 11.94 kW/h |
| Mantecador | 23.00 kW/h | 46.00 kW/h |
| Túnel | 5.24 kW/h | 10.48 kW/h |
| | TOTAL | 71.42 kW |

Elaborado por: Edison Zhindon M.

Conociendo que el valor a pagar de electricidad es de \$0.048 kW/hr, y el precio del combustible es de \$1.50 c/galón, entonces el costo de trabajo por cada día es:

- Diesel = \$6.00 diarios
- Energía eléctrica = \$ 3.42 diarios

De acuerdo a la producción diaria que es de 419 litros de helado por día, tenemos que el costo de energía por litro es de \$0.023. Para efectos de márgenes de seguridad, estableceremos el costo de energía por litro en \$0.03.

Por lo tanto el costo variable correspondiente al proceso de elaboración de helado de mora tipo sorbete es:

$$\text{Costo variable} = \$1.93 \text{ c/Lt}$$

Costo total

De acuerdo a los costos fijos y a los costos variables, en función de la producción tenemos que nuestro costo total anual es:

$$\text{Costo total} = \$ 251758.42 \text{ al año}$$

Precio de venta

Dividiendo el costo total de producción anual, para la producción de helados en el año tenemos que el precio de venta no debe ser menor a:

$$\text{Precio de venta} = \text{mayor a } \$ 2.30$$

Dicho valor corresponde al precio para alcanzar el punto de equilibrio en función a los costos de producción; cualquier aumento en el precio de venta generará utilidades en el proceso.

Para un mejor estudio del precio del producto, se debe analizar el estado de resultados de pérdidas y ganancias de la empresa; tomando en cuenta el total de la producción, los gastos totales generados, gastos

administrativos, de comercialización, etc. de tal manera que nos permita establecer un costo real del producto a comercializar.

3.2 Inversión

Para poder realizar una estimación de la inversión a realizar, se debe tomar en cuenta que además de los gastos de construcción y adquisición de maquinarias, en la práctica existen cantidades mínimas de pedidos correspondientes a materiales de empaque, envases, cartones, etc.; los cuales a veces representan un valor muy alto de inversión. Por esta razón, se estimará el valor de la inversión de acuerdo a la tabla # 19:

Tabla # 19
Inversión Inicial

| Equipo | Precio Unitario | Unidades Requeridas | Total |
|---|-----------------|---------------------|---------------------|
| Marmita Acero Inoxidable Capacidad 100 lts. | \$ 3.000,00 | 2 | \$6.000,00 |
| Tanque agitación Capacidad 300 lts | \$ 3.000,00 | 1 | \$3.000,00 |
| Intercambiador de calor Pre-enfriamiento | \$ 2.000,00 | 1 | \$2.000,00 |
| Tinas de Maduración Modelo 120. | \$ 10.000,00 | 3 | \$30.000,00 |
| Mantecador Modelo ZX 400 | \$ 45.000,00 | 2 | \$90.000,00 |
| Construcción y Adecuación Área de producción | | | \$50.000,00 |
| TOTAL INVERSION | | | \$181.000,00 |

Elaborado por: Edison Zhindon M.

3.3 VAN y TIR

Se procede a calcular el VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno) para ver la rentabilidad y conveniencia del proyecto y de la inversión realizada (ver tabla # 19). Para esto se debe tener en cuenta que:

- Inversión inicial = \$ 181000.00
- Precio de venta estimado = \$ 4.00 c/Lt
- Interés = 17%

Tabla # 20

Flujo de Caja

| FLUJO DE CAJA | AÑO 0 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|-----------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Ingreso por ventas | | \$ 278.098,19 | \$ 308.997,99 | \$ 343.331,10 | \$ 381.479,00 |
| (-)Costo de operación | | \$ 194.751,29 | \$ 211.790,32 | \$ 230.722,58 | \$ 251.758,42 |
| Utilidad antes del impuesto | | \$ 83.346,90 | \$ 97.207,67 | \$ 112.608,52 | \$ 129.720,58 |
| Impuesto a la renta 25% | | \$ 20.836,73 | \$ 24.301,92 | \$ 28.152,13 | \$ 32.430,15 |
| Utilidad neta | | \$ 62.510,18 | \$ 72.905,75 | \$ 84.456,39 | \$ 97.290,44 |
| Inversión inicial | 191000,00 | | | | |
| FLUJO NETO EFECTIVO | -191000,00 | \$ 62.510,18 | \$ 72.905,75 | \$ 84.456,39 | \$ 97.290,44 |

Elaborado por: Edison Zhindon M.

VAN

Es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión.

$$VAN = \sum_{T=1}^n \frac{V_t}{(1+i)^t} - I_o$$

(ecuación 30)

La ecuación 21 nos permite calcular el valor actual neto, donde V_t representa los flujos netos de efectivo en cada período t , I_o representa a la inversión inicial, n es el número de períodos considerados; i representa al tipo de interés promedio en el período establecido. El resultado del VAN se puede analizar de tres maneras:

- Cuando el VAN es mayor a cero, la inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida, por lo tanto el proyecto debe aceptarse.
- Cuando el VAN es menor a cero la inversión produciría pérdidas de acuerdo a la rentabilidad exigida, por lo tanto el proyecto debe rechazarse.
- Cuando el VAN es igual a cero, la inversión no produciría ni pérdidas ni ganancias; dado que el proyecto no genera rentabilidad alguna, la decisión de aprobación o no del proyecto, debe basarse en otros criterios.

De acuerdo al flujo de caja establecido para el período de 4 años, tenemos un VAN de 20337, lo que quiere decir que el proyecto es bastante conveniente.

TIR

La tasa interna de retorno (TIR) de una inversión, está definida como la tasa de interés con el cual el VAN es igual a cero. Se lo puede describir mas para un mejor entendimiento de las siguientes maneras:

- Es la tasa de interés por medio de la cual se recupera la inversión.
- Es la tasa de interés máxima a la que se pueden endeudar para no perder dinero con la inversión.

Dado que el TIR nos permite conocer en porcentaje, la factibilidad del proyecto, se puede deducir que, a mayor TIR, mayor rentabilidad.

En el caso del presente proyecto el TIR estimado es de 21.91%.

Por lo tanto, en base al TIR podemos afirmar que el negocio si es rentable.

CAPÍTULO 4

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones

1. Según la proyección de la demanda de helados de fruta tipo sorbete para los siguientes 4 años, se determinó que la capacidad de producción es de 108994 Lt/año.
2. De acuerdo con las necesidades caloríficas del proceso, se determinó que éstas pueden ser abastecidas mediante el caldero de 30 HP con el que actualmente cuenta la empresa. Los requerimientos calóricos en descongelación y preparación de jarabe son 15 HP
3. Según los requerimientos energéticos correspondientes al proceso de maduración, se determinó que se deben adquirir 3 tinas de maduración con capacidad para 120 litros y compresores de 4 HP cada una.
4. De acuerdo a la metodología de Heldman (1974) y Schwartzberg (1976), la temperatura de inicio de congelación es de -2.34°C .

5. En función de las necesidades energéticas para el proceso de mantecación, se determinó que se deben adquirir 2 mantecadoras de producción continua, cada una con compresores de 7.5 kW y con capacidad para procesar 200 Lt/h de mezcla para helados.
6. Según los requerimientos energéticos correspondientes al congelamiento final del helado de mora tipo sorbete, éstas pueden ser abastecidas mediante el túnel de congelamiento de 30 HP con el que cuenta la empresa, por lo tanto no es necesario adquirir otro sistema de congelamiento para el proceso.
7. En función de las necesidades energéticas y de espacio para el almacenamiento de la producción, se determinó que la cámara de mantenimiento con la que ya cuenta la empresa, tiene la capacidad de almacenar sin ningún inconveniente 7 pallets de helados de frutas tipo sorbete al mes.
8. De acuerdo al estudio de factibilidad del proyecto, se determinó que el punto de equilibrio en función de los costos de producción es de 2.30 dólares por litro.
9. Según los análisis realizados en función de la capacidad estimada de producción para los próximos 4 años, se determinó que se deben invertir \$191000,00 correspondiente a marmitas de acero inoxidable, tanque de agitación, intercambiador de calor, tinas de maduración, mantecadoras y construcción y adecuación de la planta.

10. En función del análisis de la factibilidad del proyecto, realizado mediante los métodos de VAN y TIR, se determinó que el proyecto se debe aprobar sin ningún inconveniente.

Recomendaciones

1. A mediano plazo, se recomienda que la empresa invierta en la adquisición de otros equipos como chiller, homogeneizador y tanques de almacenamiento refrigerados; estos servirán para el desarrollo y producción de otros tipos de helados que no necesariamente sean a base de frutas. Esto es conveniente debido a que, una vez adquirida cierta experiencia en la elaboración de sorbetes y sus procesos, se puede empezar a incursionar en helados que tengan mayor demanda a nivel mundial.
2. Se debe tomar en cuenta las épocas de cosecha de las frutas, para de esa manera adquirir las frutas al mejor precio posible; esto le permite a la empresa ser más competitivo en el mercado.
3. Se debe programar la producción para elaborar un solo tipo de helado por día, ya que el proceso de preparación hasta que entra al madurador, ocupa toda la jornada de trabajo.
4. Si se necesita aumentar la producción se puede trabajar a doble turno, siendo necesario disminuir el tiempo de maduración del helado.

ANEXOS

EDISON ZHINDON MACÍAS (DISEÑO DEL PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE HELADOS DE FRUTA TIPO SORBETE)

ANEXO 1

Definición de Helado, Sorbete o Sherbet, Helados de Fruta y Helado de Agua según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 706:2005

3.1.1 Helado

Producto alimenticio, higienizado, edulcorado, obtenido a partir de una emulsión de grasas y proteínas, con adición de otros ingredientes y aditivos permitidos en los códigos normativos vigentes, o sin ellos, o bien a partir de una mezcla de agua, azúcares y otros ingredientes y aditivos permitidos en los códigos normativos vigentes, sometidos a congelamiento con batido o sin él, en condiciones tales que garanticen la conservación del producto en estado congelado o parcialmente congelado durante su almacenamiento y transporte.

3.1.12 Helado de sorbete o sherbet

Producto definido en numeral 3.1.1, preparado con agua potable, con o sin leches o productos lácteos, frutas, productos a base de frutas u otras materias primas alimenticias; tiene un bajo contenido de grasa y proteínas, las cuales pueden ser total o parcialmente de origen no lácteo.

3.1.13 Helado de fruta

Producto fabricado con agua potable o leche, adicionado con frutas o productos a base de frutas, en una cantidad mínima del 10% m/m de fruta natural, a excepción del limón cuya cantidad mínima es del 5% m/m. el helado de fruta se puede reforzar con colorantes y saborizantes permitidos.

3.1.14 Helado de agua o nieve

Producto definido en el numeral 3.1.1, preparado con agua potable, azúcar y otros aditivos permitidos. No contienen grasa, ni proteína, excepto las provenientes de los ingredientes adicionales y puede contener frutas o productos a base de frutas.

ANEXO 2

Definición de Sorbete o Sherbet, Helados de Fruta y Helado de Agua según la Norma Técnica Colombiana NTC 1239

Sorbete o sherbet:

Helado preparado con agua potable leche, productos lácteos, frutas, productos a base de frutas u otras materia primas alimenticias; tiene un bajo contenido de grasa y proteínas las cuales pueden ser total o parcialmente de origen lácteo.

Helado de fruta:

Producto fabricado con agua potable, adicionado con frutas o productos a base de fruta, en una cantidad mínima del 10% m/m de fruta natural, a excepción del limón cuya cantidad mínima es del 5 % m/m. El helado de fruta se puede reforzar con esencias naturales, idénticas a la naturales y/o artificiales.

Helado de Agua o nieve:

Helado preparado con agua potable, azúcar y otros aditivos permitidos. No contiene grasa, ni proteína excepto las provenientes de la ingredientes adicionados y puede contener frutas o productos a base de fruta.

EDISON ZHINDON MACÍAS (DISEÑO DEL PROCESO PARA LA FABRICACIÓN DE HELADOS DE FRUTA TIPO SORBETE)

ANEXO 3

Definición de Sherbet y Helados de Agua según la Norma americana 21 CFR 135

PART 135 -- FROZEN DESSERTS

Subpart B--Requirements for Specific Standardized Frozen Desserts

Sec. 135.140 Sherbet.

(a)Description. (1) Sherbet is a food produced by freezing, while stirring, a pasteurized mix consisting of one or more of the optional dairy ingredients specified in paragraph (b) of this section, and may contain one or more of the optional caseinates specified in paragraph (c) of this section subject to the conditions hereinafter set forth, and other safe and suitable nonmilk-derived ingredients; and excluding other food fats, except such as are added in small amounts to accomplish specific functions or are natural components of flavoring ingredients used. Sherbet is sweetened with nutritive carbohydrate sweeteners and is characterized by the addition of one or more of the characterizing fruit ingredients specified in paragraph (d) of this section or one or more of the nonfruit-characterizing ingredients specified in paragraph (e) of this section.

(2) Sherbet weighs not less than 6 pounds to the gallon. The milkfat content is not less than 1 percent nor more than 2 percent, the nonfat milk-derived solids content not less than 1 percent, and the total milk or milk-derived solids content is not less than 2 percent nor more than 5 percent by weight of the finished food. Sherbet that is characterized by a fruit ingredient shall have a titratable acidity, calculated as lactic acid, of not less than 0.35 percent.

Sec. 135.160 Water ices.

(a)Description. Water ices are the foods each of which is prepared from the same ingredients and in the same manner prescribed in 135.140 for sherbets, except that the mix need not be pasteurized, and complies with all the provisions of 135.140 (including the requirements for label statement of ingredients), except that no milk or milk-derived ingredient and no egg ingredient, other than egg white, is used.

ANEXO 4

Clasificación de los Helados Según el Código Alimentario Argentino

Helados de agua o Sorbetes

Esta denominación corresponde a los productos en los que el componente básico es el agua.

Deberán responder a las siguientes exigencias:

- *Extracto seco, Mín: 20,0% p/p1*
- *Materia grasa de leche, Máx: 1,5% p/p*

Helados o Helados de leche

Esta denominación corresponde a los productos que han sido elaborados a base de leche.

Deberán responder a las siguientes exigencias:

- *Sólidos no grasos de leche, Mín: 6,0% p/p*
- *Materia grasa de leche, Mín: 1,5 % p/p*

Cremas heladas o Helados de crema

Esta denominación corresponde a los productos que han sido elaborados a base de leche y han sido adicionados de crema de leche y/o manteca.

Deberán responder a las siguientes exigencias:

- *Sólidos no grasos de leche, Mín: 6,0 % p/p*
- *Materia grasa de leche, Mín: 6,0 % p/p*

ANEXO 5

| COMPOSICIÓN NUTRICIONAL PULPA DE MORA (valores en 100 g de muestra)* | |
|---|-------------------|
| <u>TIPO</u> | <u>FRUTA</u> |
| Nombre común | Mora |
| Nombre Científico | Rubus Glaucus Spp |
| Orígen | América |
| Familia | Rosaceae |
| Género | Rubus |
| Agua | 87,3% |
| Proteína | 0,6% |
| Grasas | 0,1 % |
| Carbohidratos | 12% |
| monosacáridos | 5.25% |
| disacáridos | 6,75% |
| Energía | 51,3 Kcal |
| °BRIX | 12 |
| pH | 3.5 |

*Datos proporcionados por la empresa AGRIEXELL S.A.

EDISON ZHINDON MACÍAS (D,

IA TIPO SORBETE)

ANEXO 6

PROYECCIÓN DE LA PRODUCCION ESTIMADA DE HELADOS DE FRUTA TIPO SORBETE

| PULPAS DE FRUTAS | PROYECCIÓN PRODUCCION SORBETES (TON/AÑO) | | | |
|----------------------------|--|-------------|-------------|-------------|
| | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| Sorbete de chirimoya | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 2,9 |
| Sorbete de guanábana | 4,3 | 4,8 | 5,2 | 5,7 |
| Sorbete de guayaba | 4,9 | 5,3 | 5,9 | 6,5 |
| Sorbete de mamey | 5,4 | 5,9 | 6,5 | 7,2 |
| Sorbete de mango | 6,5 | 7,1 | 7,8 | 8,6 |
| Sorbete de maracuyá | 6,5 | 7,1 | 7,8 | 8,6 |
| Sorbete de mora | 6,5 | 7,1 | 7,8 | 8,6 |
| Sorbete de naranjilla | 4,9 | 5,3 | 5,9 | 6,5 |
| Sorbete de papaya | 4,3 | 4,8 | 5,2 | 5,7 |
| Sorbete de piña | 4,9 | 5,3 | 5,9 | 6,5 |
| Sorbete de tomate de árbol | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 2,9 |
| Sorbete de frutilla | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 |
| TOTAL | 54 | 59,4 | 65,3 | 71,9 |

| | |
|---------------------------|-----|
| Porcentaje representacion | 5% |
| Incremento anual | 10% |

EDISON ZHINDON MACÍAS (DIST. PARA LA ELABORACIÓN DE HELADOS DE FRUTA TIPO SORBETE)

ANEXO 7

DETERMINACIÓN DE PESO MOLECULAR EN CENIZAS DE ACUERDO A LOS MINERALES PRESENTES

| Mineral | Composición de minerales en la mora | | Tabla Periódica | Peso molecular |
|--------------|-------------------------------------|----------------|-----------------|----------------|
| | mg/100g | Porcentaje | Masa atómica | |
| Ca | 25 | 10,91% | 40,07800 | 4,3706 |
| Fe | 0,069 | 0,03% | 55,84500 | 0,0168 |
| Mg | 22 | 9,60% | 24,30500 | 2,3324 |
| P | 29 | 12,65% | 30,97376 | 3,9182 |
| K | 151 | 65,87% | 39,09830 | 25,7530 |
| Na | 1 | 0,44% | 22,98977 | 0,1003 |
| Zn | 0,42 | 0,18% | 65,40900 | 0,1198 |
| Cu | 0,09 | 0,04% | 63,54600 | 0,0249 |
| Mn | 0,67 | 0,29% | 54,93805 | 0,1606 |
| TOTAL | 229,249 | 100,00% | | 36,7966 |

EDISON ZHINDON MACÍAS (DISEÑO)

TIPO SORBETE)

ANEXO 8

TABLE 11.2
Thermal Properties of Major Components of Foods
as Functions of Temperature

| Thermal | Main component | Equation |
|--|----------------|--|
| k (W/m°C) | Carbohydrate | $k = 0.20141 + 1.3874 \cdot 10^{-3} T - 4.3312 \cdot 10^{-6} T^2$ |
| | Ash | $k = 0.32962 + 1.4011 \cdot 10^{-3} T - 2.9069 \cdot 10^{-6} T^2$ |
| | Fiber | $k = 0.18331 + 1.2497 \cdot 10^{-3} T - 3.1683 \cdot 10^{-6} T^2$ |
| | Fat | $k = 0.18071 + 2.7604 \cdot 10^{-4} T - 1.7749 \cdot 10^{-7} T^3$ |
| | Protein | $k = 0.17881 + 1.1958 \cdot 10^{-3} T - 2.7178 \cdot 10^{-6} T^2$ |
| | Water | $k_A = 0.57109 + 1.7625 \cdot 10^{-3} T - 6.7036 \cdot 10^{-6} T^2$ |
| | Ice | $k_H = 2.2196 - 6.2489 \cdot 10^{-3} T + 1.0154 \cdot 10^{-4} T^2$ |
| α (m ² /s) × 10 ⁶ | Carbohydrate | $\alpha = 8.0842 \cdot 10^{-2} + 5.3052 \cdot 10^{-4} T - 2.3218 \cdot 10^{-6} T^2$ |
| | Ash | $\alpha = 1.2461 \cdot 10^{-1} + 3.7321 \cdot 10^{-4} T - 1.2244 \cdot 10^{-6} T^2$ |
| | Fiber | $\alpha = 7.3976 \cdot 10^{-2} + 5.1902 \cdot 10^{-4} T - 2.2202 \cdot 10^{-6} T^2$ |
| | Fat | $\alpha = 9.8777 \cdot 10^{-2} + 1.2569 \cdot 10^{-4} T - 3.8286 \cdot 10^{-6} T^2$ |
| | Protein | $\alpha = 6.8714 \cdot 10^{-2} + 4.7578 \cdot 10^{-4} T - 1.4646 \cdot 10^{-6} T^2$ |
| | Water | $\alpha_A = 0.1317 + 6.2477 \cdot 10^{-4} T - 2.4022 \cdot 10^{-6} T^2$ |
| | Ice | $\alpha_H = 1.1756 - 6.0833 \cdot 10^{-3} T + 9.5037 \cdot 10^{-6} T^2$ |
| ρ (kg/m ³) | Carbohydrate | $\rho = 1.5991 \cdot 10^3 - 0.31046 T$ |
| | Ash | $\rho = 2.4238 \cdot 10^3 - 0.28063 T$ |
| | Fiber | $\rho = 1.3115 \cdot 10^3 - 0.36589 T$ |
| | Fat | $\rho = 9.2559 \cdot 10^2 - 0.41757 T$ |
| | Protein | $\rho = 1.3299 \cdot 10^3 - 0.51840 T$ |
| | Water | $\rho = 997.18 + 3.1439 \cdot 10^{-3} T - 3.7574 \cdot 10^{-6} T^2$ |
| | Ice | $\rho = 916.89 - 0.13071 T$ |
| C _p (kJ/kg°C) | Carbohydrate | $C_p = 1.5488 + 1.9625 \cdot 10^{-3} T - 5.9399 \cdot 10^{-6} T^2$ |
| | Ash | $C_p = 1.0926 + 1.8896 \cdot 10^{-3} T - 3.6817 \cdot 10^{-6} T^2$ |
| | Fiber | $C_p = 1.8459 + 1.8306 \cdot 10^{-3} T - 4.6509 \cdot 10^{-6} T^2$ |
| | Fat | $C_p = 1.9842 + 1.4733 \cdot 10^{-3} T - 4.8008 \cdot 10^{-6} T^2$ |
| | Protein | $C_p = 2.0082 + 1.2089 \cdot 10^{-3} T - 1.3129 \cdot 10^{-6} T^2$ |
| | Water | $C_{p1} = 4.0817 - 5.3062 \cdot 10^{-3} T + 9.9516 \cdot 10^{-6} T^2$ (-40 < T < 0°C) $C_{p2} = 4.1762 - 9.0864 \cdot 10^{-3} T + 5.4731 \cdot 10^{-6} T^2$ (0 < T < 150°C) |
| | Ice | $C_p = 2.0623 + 6.0769 \cdot 10^{-3} T$ |

From Choi, Y. and Okos, M. R., 1986, Effects of Temperature and composition on the thermal properties of foods, *Food Engineering and Process Applications*, Vol. 1, *Transport Phenomena*, LeMaguar, M. and Jelen, P., Eds., Elsevier, New York. With permission.

EDISON ZHINDON MACÍAS (DISEÑO DEL

DE FRUTA TIPO SORBETE)

ANEXO 9

A.4 Propiedades físicas del agua y del aire

TABLA A.4.1.
Propiedades físicas del agua a la presión de saturación.

| Temperatura | | Densidad | Coefficiente de expansión térmica volumétrica | Calor específico | Conductividad térmica | Difusividad térmica | Viscosidad absoluta | Viscosidad cinemática | Número De Prandtl |
|-------------|--------|----------------------|---|------------------|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| T | T | ρ | β | C_p | κ | α | μ | ν | Pr |
| (°C) | (K) | (kg/m ³) | (x10 ⁻⁴ K ⁻¹) | (kJ/kg.K) | (W/m.K) | (x10 ⁻⁶ m ² /s) | (x10 ⁻⁶ Pa.s) | (x10 ⁻⁶ m ² /s) | |
| 0 | 273.15 | 999.9 | -0.7 | 4.266 | 0.558 | 0.131 | 1793.636 | 1.789 | 13.7 |
| 5 | 278.15 | 1000.0 | - | 4.206 | 0.568 | 0.135 | 1534.741 | 1.535 | 11.4 |
| 10 | 283.15 | 999.7 | 0.95 | 4.195 | 0.577 | 0.137 | 1296.439 | 1.300 | 9.5 |
| 15 | 288.15 | 999.1 | - | 4.187 | 0.587 | 0.141 | 1135.610 | 1.146 | 8.1 |
| 20 | 293.15 | 998.2 | 2.1 | 4.182 | 0.597 | 0.143 | 993.414 | 1.006 | 7.0 |
| 25 | 298.15 | 997.1 | - | 4.178 | 0.606 | 0.146 | 880.637 | 0.884 | 6.1 |
| 30 | 303.15 | 995.7 | 3.0 | 4.176 | 0.615 | 0.149 | 792.377 | 0.805 | 5.4 |
| 35 | 308.15 | 994.1 | - | 4.175 | 0.624 | 0.150 | 719.808 | 0.725 | 4.8 |
| 40 | 313.15 | 992.2 | 3.9 | 4.175 | 0.633 | 0.151 | 658.026 | 0.658 | 4.3 |
| 45 | 318.15 | 990.2 | - | 4.176 | 0.640 | 0.155 | 605.070 | 0.611 | 3.9 |
| 50 | 323.15 | 988.1 | 4.6 | 4.178 | 0.647 | 0.157 | 555.056 | 0.556 | 3.55 |
| 55 | 328.15 | 985.7 | - | 4.179 | 0.652 | 0.158 | 509.946 | 0.517 | 3.27 |
| 60 | 333.15 | 983.2 | 5.3 | 4.181 | 0.658 | 0.159 | 471.650 | 0.478 | 3.00 |
| 65 | 338.15 | 980.6 | - | 4.184 | 0.663 | 0.161 | 435.415 | 0.444 | 2.76 |
| 70 | 343.15 | 977.8 | 5.8 | 4.187 | 0.668 | 0.163 | 404.034 | 0.415 | 2.55 |
| 75 | 348.15 | 974.9 | - | 4.190 | 0.671 | 0.164 | 376.575 | 0.366 | 2.23 |
| 80 | 353.15 | 971.8 | 6.3 | 4.194 | 0.673 | 0.165 | 352.059 | 0.364 | 2.25 |
| 85 | 358.15 | 968.7 | - | 4.198 | 0.676 | 0.166 | 328.523 | 0.339 | 2.04 |
| 90 | 363.15 | 965.3 | 7.0 | 4.202 | 0.678 | 0.167 | 308.909 | 0.326 | 1.95 |
| 95 | 368.15 | 961.9 | - | 4.206 | 0.680 | 0.168 | 292.238 | 0.310 | 1.84 |
| 100 | 373.15 | 958.4 | 7.5 | 4.211 | 0.682 | 0.169 | 277.528 | 0.294 | 1.75 |
| 110 | 383.15 | 951.0 | 8.0 | 4.224 | 0.684 | 0.170 | 254.973 | 0.268 | 1.57 |
| 120 | 393.15 | 943.5 | 8.5 | 4.232 | 0.685 | 0.171 | 235.360 | 0.244 | 1.43 |
| 130 | 403.15 | 934.8 | 9.1 | 4.250 | 0.686 | 0.172 | 211.824 | 0.226 | 1.32 |
| 140 | 413.15 | 926.3 | 9.7 | 4.257 | 0.684 | 0.172 | 201.036 | 0.212 | 1.23 |
| 150 | 423.15 | 916.9 | 10.3 | 4.270 | 0.684 | 0.173 | 185.346 | 0.201 | 1.17 |
| 160 | 433.15 | 907.6 | 10.8 | 4.285 | 0.680 | 0.173 | 171.616 | 0.191 | 1.10 |
| 170 | 443.15 | 897.3 | 11.5 | 4.396 | 0.679 | 0.172 | 162.290 | 0.181 | 1.05 |
| 180 | 453.15 | 886.6 | 12.1 | 4.396 | 0.673 | 0.172 | 152.003 | 0.173 | 1.01 |
| 190 | 463.15 | 876.0 | 12.8 | 4.480 | 0.670 | 0.171 | 145.138 | 0.166 | 0.97 |
| 200 | 473.15 | 862.8 | 13.5 | 4.501 | 0.665 | 0.170 | 139.254 | 0.160 | 0.95 |
| 210 | 483.15 | 852.8 | 14.3 | 4.560 | 0.655 | 0.168 | 131.409 | 0.154 | 0.92 |
| 220 | 493.15 | 837.0 | 15.2 | 4.605 | 0.652 | 0.167 | 124.544 | 0.149 | 0.90 |
| 230 | 503.15 | 827.3 | 16.2 | 4.690 | 0.637 | 0.164 | 119.641 | 0.145 | 0.88 |
| 240 | 513.15 | 809.0 | 17.2 | 4.731 | 0.634 | 0.162 | 113.757 | 0.141 | 0.86 |
| 250 | 523.15 | 799.2 | 18.6 | 4.857 | 0.618 | 0.160 | 109.834 | 0.137 | 0.86 |

Fuente: Adaptado de Raznjevic (1978)

ANEXO 10

TABLA A.4.2

Propiedades del vapor saturado

| Temperatura (°C) | Presión de vapor (kPa) | Volumen Específico (m ³ /kg) | | Entalpía (kJ/kg) | | Entropía (kJ/kg.K) | |
|---------------------|------------------------------|--|-------------------|------------------------------|--|--------------------|-------------------|
| | | Líquido | Vapor saturado | Líquido (H _l) | Vapor saturado (H _v) | Líquido | Vapor saturado |
| 0.01 | 0.6113 | 0.0010002 | 206.136 | 0.00 | 2501.4 | 0.0000 | 9.1562 |
| 3 | 0.7577 | 0.0010001 | 168.132 | 12.57 | 2506.9 | 0.0457 | 9.0773 |
| 6 | 0.9349 | 0.0010001 | 137.734 | 25.20 | 2512.4 | 0.0912 | 9.0003 |
| 9 | 1.1477 | 0.0010003 | 113.386 | 37.80 | 2517.9 | 0.1362 | 8.9253 |
| 12 | 1.4022 | 0.0010005 | 93.784 | 50.41 | 2523.4 | 0.1806 | 8.8524 |
| 15 | 1.7051 | 0.0010009 | 77.926 | 62.99 | 2528.9 | 0.2245 | 8.7814 |
| 18 | 2.0640 | 0.0010014 | 65.038 | 75.58 | 2534.4 | 0.2679 | 8.7123 |
| 21 | 2.487 | 0.0010020 | 54.514 | 88.14 | 2539.9 | 0.3109 | 8.6450 |
| 24 | 2.985 | 0.0010027 | 45.883 | 100.70 | 2545.4 | 0.3534 | 8.5794 |
| 27 | 3.567 | 0.0010035 | 38.774 | 113.25 | 2550.8 | 0.3954 | 8.5156 |
| 30 | 4.246 | 0.0010043 | 32.894 | 125.79 | 2556.3 | 0.4369 | 8.4533 |
| 33 | 5.034 | 0.0010053 | 28.011 | 138.33 | 2561.7 | 0.4781 | 8.3927 |
| 36 | 5.947 | 0.0010063 | 23.940 | 150.86 | 2567.1 | 0.5188 | 8.3336 |
| 40 | 7.384 | 0.0010078 | 19.523 | 167.57 | 2574.3 | 0.5725 | 8.2570 |
| 45 | 9.593 | 0.0010099 | 15.258 | 188.45 | 2583.2 | 0.6387 | 8.1648 |
| 50 | 12.349 | 0.0010121 | 12.032 | 209.33 | 2592.1 | 0.7038 | 8.0763 |
| 55 | 15.758 | 0.0010146 | 9.568 | 230.23 | 2600.9 | 0.7679 | 7.9913 |
| 60 | 19.940 | 0.0010172 | 7.671 | 251.13 | 2609.6 | 0.8312 | 7.9096 |
| 65 | 25.03 | 0.0010199 | 6.197 | 272.06 | 2618.3 | 0.8935 | 7.8310 |
| 70 | 31.19 | 0.0010228 | 5.042 | 292.98 | 2626.8 | 0.9549 | 7.7553 |
| 75 | 38.58 | 0.0010259 | 4.131 | 313.93 | 2635.3 | 1.0155 | 7.6824 |
| 80 | 47.39 | 0.0010291 | 3.407 | 334.91 | 2643.7 | 1.0753 | 7.6122 |
| 85 | 57.83 | 0.0010325 | 2.828 | 355.90 | 2651.9 | 1.1343 | 7.5445 |
| 90 | 70.14 | 0.0010360 | 2.361 | 376.92 | 2660.1 | 1.1925 | 7.4791 |
| 95 | 84.55 | 0.0010397 | 1.9819 | 397.96 | 2668.1 | 1.2500 | 7.4159 |
| 100 | 101.35 | 0.0010435 | 1.6729 | 419.04 | 2676.1 | 1.3069 | 7.3549 |
| 105 | 120.82 | 0.0010475 | 1.4194 | 440.15 | 2683.8 | 1.3630 | 7.2958 |
| 110 | 143.27 | 0.0010516 | 1.2102 | 461.30 | 2691.5 | 1.4185 | 7.2387 |
| 115 | 169.06 | 0.0010559 | 1.0366 | 482.48 | 2699.0 | 1.4734 | 7.1833 |
| 120 | 198.53 | 0.0010603 | 0.8919 | 503.71 | 2706.3 | 1.5276 | 7.1296 |
| 125 | 232.1 | 0.0010649 | 0.7706 | 524.99 | 2713.5 | 1.5813 | 7.0775 |
| 130 | 270.1 | 0.0010697 | 0.6685 | 546.31 | 2720.5 | 1.6344 | 7.0269 |
| 135 | 313.0 | 0.0010746 | 0.5822 | 567.69 | 2727.3 | 1.6870 | 6.9777 |
| 140 | 316.3 | 0.0010797 | 0.5089 | 589.13 | 2733.9 | 1.7391 | 6.9299 |
| 145 | 415.4 | 0.0010850 | 0.4463 | 610.63 | 2740.3 | 1.7907 | 6.8833 |
| 150 | 475.8 | 0.0010905 | 0.3928 | 632.20 | 2746.5 | 1.8418 | 6.8379 |
| 155 | 543.1 | 0.0010961 | 0.3468 | 653.84 | 2752.4 | 1.8925 | 6.7935 |
| 160 | 617.8 | 0.0011020 | 0.3071 | 675.55 | 2758.1 | 1.9427 | 6.7502 |
| 165 | 700.5 | 0.0011080 | 0.2727 | 697.34 | 2763.5 | 1.9925 | 6.7078 |
| 170 | 791.7 | 0.0011143 | 0.2428 | 719.21 | 2768.7 | 2.0419 | 6.6663 |
| 175 | 892.0 | 0.0011207 | 0.2168 | 741.17 | 2773.6 | 2.0909 | 6.6256 |
| 180 | 1002.1 | 0.0011274 | 0.19405 | 763.22 | 2778.2 | 2.1396 | 6.5857 |
| 190 | 1254.4 | 0.0011414 | 0.15654 | 807.62 | 2786.4 | 2.2359 | 6.5079 |
| 200 | 1553.8 | 0.0011565 | 0.12736 | 852.45 | 2793.2 | 2.3309 | 6.4323 |
| 225 | 2548 | 0.0011992 | 0.07849 | 966.78 | 2803.3 | 2.5639 | 6.2503 |
| 250 | 3973 | 0.0012512 | 0.05013 | 1085.36 | 2801.5 | 2.7927 | 6.0730 |
| 275 | 5942 | 0.0013168 | 0.03279 | 1210.07 | 2785.0 | 3.0208 | 5.8938 |
| 300 | 8581 | 0.0010436 | 0.02167 | 1344.0 | 2749.0 | 3.2534 | 5.7045 |

Fuente: Abreviado de Keenan et al. (1969) Copyright © 1969 John Wiley and Sons. Impreso con permiso de John Wiley and Sons, Inc.

ANEXO 11

| Dynamic Viscosity - μ - (centiPoise) | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Temperature (°F) | Absolute pressure - p - (psia) | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 | 5000 | 7500 | 10000 |
| Saturated Water | 0.667 | 0.524 | 0.388 | 0.313 | 0.255 | 0.197 | 0.164 | 0.138 | 0.111 | 0.094 | 0.078 | - | - | - |
| Saturated Steam | 0.010 | 0.010 | 0.011 | 0.012 | 0.012 | 0.013 | 0.014 | 0.015 | 0.017 | 0.019 | 0.023 | - | - | - |
| 1500 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.042 | 0.042 | 0.042 | 0.044 | 0.046 | 0.048 |
| 1450 | 0.040 | 0.040 | 0.040 | 0.040 | 0.040 | 0.040 | 0.040 | 0.040 | 0.040 | 0.041 | 0.041 | 0.043 | 0.045 | 0.047 |
| 1400 | 0.039 | 0.039 | 0.039 | 0.039 | 0.039 | 0.039 | 0.039 | 0.039 | 0.039 | 0.040 | 0.040 | 0.042 | 0.044 | 0.047 |
| 1350 | 0.038 | 0.038 | 0.038 | 0.038 | 0.038 | 0.038 | 0.038 | 0.038 | 0.038 | 0.038 | 0.039 | 0.041 | 0.044 | 0.047 |
| 1300 | 0.037 | 0.037 | 0.037 | 0.037 | 0.037 | 0.037 | 0.037 | 0.037 | 0.037 | 0.037 | 0.038 | 0.040 | 0.043 | 0.046 |
| 1250 | 0.035 | 0.035 | 0.035 | 0.035 | 0.035 | 0.035 | 0.035 | 0.036 | 0.036 | 0.036 | 0.037 | 0.039 | 0.042 | 0.045 |
| 1200 | 0.034 | 0.034 | 0.034 | 0.034 | 0.034 | 0.034 | 0.034 | 0.034 | 0.035 | 0.035 | 0.036 | 0.038 | 0.041 | 0.045 |
| 1150 | 0.034 | 0.034 | 0.034 | 0.034 | 0.034 | 0.034 | 0.034 | 0.034 | 0.034 | 0.034 | 0.034 | 0.037 | 0.041 | 0.045 |
| 1100 | 0.032 | 0.032 | 0.032 | 0.032 | 0.032 | 0.032 | 0.032 | 0.032 | 0.033 | 0.033 | 0.034 | 0.037 | 0.040 | 0.045 |
| 1050 | 0.031 | 0.031 | 0.031 | 0.031 | 0.031 | 0.031 | 0.031 | 0.031 | 0.032 | 0.032 | 0.033 | 0.036 | 0.040 | 0.047 |
| 1000 | 0.030 | 0.030 | 0.030 | 0.030 | 0.030 | 0.030 | 0.030 | 0.030 | 0.030 | 0.031 | 0.032 | 0.035 | 0.041 | 0.049 |
| 950 | 0.029 | 0.029 | 0.029 | 0.029 | 0.029 | 0.029 | 0.029 | 0.029 | 0.029 | 0.030 | 0.031 | 0.035 | 0.042 | 0.052 |
| 900 | 0.028 | 0.028 | 0.028 | 0.028 | 0.028 | 0.028 | 0.028 | 0.028 | 0.028 | 0.028 | 0.029 | 0.035 | 0.045 | 0.057 |
| 850 | 0.026 | 0.026 | 0.026 | 0.026 | 0.26 | 0.026 | 0.027 | 0.027 | 0.027 | 0.027 | 0.028 | 0.035 | 0.052 | 0.064 |
| 800 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.026 | 0.026 | 0.027 | 0.040 | 0.062 | 0.071 |
| 750 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.025 | 0.025 | 0.026 | 0.057 | 0.071 | 0.078 |
| 700 | 0.023 | 0.023 | 0.023 | 0.023 | 0.023 | 0.023 | 0.023 | 0.023 | 0.023 | 0.024 | 0.026 | 0.071 | 0.079 | 0.085 |
| 650 | 0.022 | 0.022 | 0.022 | 0.022 | 0.022 | 0.022 | 0.022 | 0.022 | 0.023 | 0.023 | 0.023 | 0.082 | 0.088 | 0.092 |
| 600 | 0.021 | 0.021 | 0.021 | 0.021 | 0.021 | 0.021 | 0.021 | 0.021 | 0.021 | 0.021 | 0.087 | 0.091 | 0.096 | 0.101 |
| 550 | 0.020 | 0.020 | 0.020 | 0.020 | 0.020 | 0.020 | 0.020 | 0.020 | 0.020 | 0.019 | 0.095 | 0.101 | 0.105 | 0.109 |
| 500 | 0.019 | 0.019 | 0.019 | 0.019 | 0.019 | 0.019 | 0.019 | 0.018 | 0.018 | 0.103 | 0.105 | 0.111 | 0.114 | 0.119 |
| 450 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.017 | 0.017 | 0.017 | 0.017 | 0.115 | 0.116 | 0.118 | 0.123 | 0.127 | 0.131 |
| 400 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.131 | 0.132 | 0.134 | 0.138 | 0.143 | 0.147 |
| 350 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.152 | 0.153 | 0.154 | 0.155 | 0.160 | 0.164 | 0.168 |
| 300 | 0.014 | 0.014 | 0.014 | 0.014 | 0.014 | 0.014 | 0.182 | 0.183 | 0.183 | 0.184 | 0.185 | 0.190 | 0.194 | 0.198 |
| 250 | 0.013 | 0.013 | 0.013 | 0.013 | 0.013 | 0.228 | 0.228 | 0.228 | 0.228 | 0.229 | 0.231 | 0.235 | 0.238 | 0.242 |
| 200 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.300 | 0.300 | 0.300 | 0.300 | 0.301 | 0.301 | 0.303 | 0.306 | 0.310 | 0.313 |
| 150 | 0.011 | 0.011 | 0.427 | 0.427 | 0.427 | 0.427 | 0.427 | 0.427 | 0.427 | 0.428 | 0.429 | 0.431 | 0.434 | 0.437 |
| 100 | 0.680 | 0.680 | 0.680 | 0.680 | 0.680 | 0.680 | 0.680 | 0.680 | 0.680 | 0.680 | 0.680 | 0.681 | 0.682 | 0.683 |
| 50 | 1.299 | 1.299 | 1.299 | 1.299 | 1.299 | 1.299 | 1.299 | 1.299 | 1.299 | 1.299 | 1.296 | 1.289 | 1.284 | 1.279 |
| 32 | 1.753 | 1.753 | 1.753 | 1.753 | 1.753 | 1.753 | 1.753 | 1.752 | 1.751 | 1.753 | 1.745 | 1.733 | 1.723 | 1.713 |

- The critical point for water is 705.40 ° F and 3206.2 psia (374 ° C - 218 atm) - For pressure beyond this point the fluid is supercritical ¹⁾.
- Gray - viscosity of water

¹⁾ Supercritical fluids are phases of substances at high pressures above their critical temperatures. Supercritical water is superheated steam under high pressure of more than 3206.2 psia (200 atm) . Under these conditions supercritical water decomposes to many substances.

Engineering ToolBox (Tools and Basic Information for Design, Engineering and Construction of Technical Applications)

ANEXO 12

COEFICIENTE DE RESISTENCIA LOCAL PARA CODOS

| Codos | K1 | kcc |
|-------------------|------|------|
| 90° roscable | 800 | 0,40 |
| 90° soldable | 800 | 0,25 |
| 90° radio largo | 800 | 0,20 |
| 90° sector 45° | 1000 | 1,15 |
| 90° sector 22,5° | 800 | 0,35 |
| 90° sector 15° | 800 | 0,30 |
| 90° sector 11,25° | 800 | 0,27 |
| 90° sector 9° | 800 | 0,25 |
| 45° roscable | 500 | 0,20 |
| 45° radio largo | 500 | 0,15 |
| 45° sector 22,5° | 500 | 0,25 |
| 45° sector 11,25° | 500 | 0,15 |
| 180° roscable | 1000 | 0,60 |
| 180° soldable | 1000 | 0,35 |
| 180° radio largo | 1000 | 0,30 |

FUENTE: LUIS VEGA PEÑA, LUIS RODRIGUEZ GONZALES. Pérdidas de Presión en Tuberías de Vapor.2007

BIBLIOGRAFÍA

1. TIMM FRITZ. Fabricación de Helados. Editorial Acribia. Zaragoza, España, 1989.
2. ANGELO CORVITTO. Los Secretos del Helado. Grupo Vilbo. Barcelona, España. 2004.
3. EDUARDO DI BARTOLO. Guía Para la Elaboración de Helados. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Buenos Aires, Argentina. 2005
4. MULTON J. L. Aditivos y Auxiliares de Fabricación en Industrias Agroalimentarias. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 1988.
5. WHISTLER ROY L. Industrial Gums. Academic Press. Indiana, United States. 1973.
6. R. PAUL SINGH, DENNIS R. HELDMAN, Introducción a la Ingeniería de Alimentos. Editorial Acribia. Orlando, Estados Unidos. 1997.
7. KENETH J. VALENTAS, ENRIQUE ROTSTEIN, R.PAUL SINGH. Handbook of Food Engineering Practice. CRC Press. Boca Raton, Estados Unidos. 1997.
8. DENNIS R. HELDMAN, DARYL B. LUND. Handbook of Food Engineering, Second edition. CRC Press. Boca Raton, Estados Unidos. 2007.

9. DIANE M. BARRETT, LASZLO SOMOGYI, HOSAHALLI RAMASWAMY. Processing Fruits, second edition. CRC PRESS. Boca Raton, United States. 2007.
10. Z. GRUDA, J. POTOLSKI. Tecnología de la Congelación de Alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 2006.
11. CRANE. Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías. McGraw-Hill. México D.F. México. 1992.
12. LUIS VEGA PEÑA, LUIS RODRIGUEZ GONZALES. Pérdidas de Presión en Tuberías de Vapor. Revista Electrónica Ciencias Holguín. 2007.
13. GABRIELA BACA URBINA. Evaluación de Proyectos. Mc Graw-Hill. México D.F., México. 1999.
14. GUSTAVO GUERRERO MACÍAS. Proyectos de Inversión. Centro de Difusión y Publicaciones – ESPOL. Guayaquil, Ecuador. 2007

EDISON ZHINDON MACÍAS (DISEÑO DEL PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE HELADO DE FRUTA TIPO SORBETE)