

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Diseño piloto de una bebida dirigida a personas que padecen de Diabetes
tipo I"

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO EN ALIMENTOS

Presentado por:

José Fernando Medina Salguero

Gabriela Melissa Gallo Córdova

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2017

AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarme sabiduría, salud y fortaleza para realizar este proyecto y poder culminar la carrera. A mis padres por su apoyo incondicional y motivación para salir adelante día a día. A la Ing. Janaina Sánchez por la confianza y ayuda desinteresada cuando lo necesité. Al Ph.D. A. Sócrates Palacios y la Ph.D. Sandra Acosta por los sabios consejos y guía brindada a lo largo del proyecto.

José F. Medina S.

A Dios por guiarme a lo largo de la carrera y brindarme la sabiduría para realizar este proyecto, a mi familia y amigos que con su confianza y constante apoyo me motivan a mejorar cada día.

Gabriela Gallo C.

DEDICATORIA

A mis padres que siempre desean lo mejor para mí y anhelaban este logro. A mis hermanos para brindarles un ejemplo de esfuerzo, constancia y disciplina. A mi abuela Anna Cusangüa quien en vida me aconsejó siempre que estudie y no me deje llevar por malas amistades.

José F. Medina S.

A mi madre que siempre anhelo por este momento, con su amor y enseñanzas he logrado cumplir una de las metas propuestas.

Gabriela Gallo C.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

JOSÉ FERNANDO MEDINA SALGUERO

GABRIELA MELISSA GALLO CÓRDOVA

Ph.D. ARTURO SÓCRATES PALACIOS

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



AUTOR 1
JOSÉ F. MEDINA S.



AUTOR 2
GABRIELA M. GALLO C.



PROFESOR TUTOR
PROYECTO INTEGRADOR
A. SÓCRATES PALACIOS P. Ph.D.

RESUMEN

La Diabetes mellitus tipo I es una enfermedad metabólica cuyo síntoma típico es la presencia de episodios fortuitos de hipoglucemia por la falta de insulina que no permiten tener un óptimo control metabólico, generando frecuentes cuadros de hiperglucemia al tratar de elevar los niveles de glucosa con la ingesta de cualquier fuente de azúcar.

En el presente trabajo se realizó el desarrollo de una bebida para personas que presenten cuadros de hipoglucemia, en una presentación de 59 ml categorizada nutricionalmente como alta en azúcar. Así mismo, se planteó un esquema de proceso y selección de equipos que permitan la producción a escala piloto para su comercialización.

Para la obtención de la fórmula de la bebida se planteó un diseño experimentos con diferentes concentraciones de agua, dextrosa y ácido cítrico a partir del cual se realizó una preselección de fórmulas, las cuales fueron evaluadas a través de una prueba sensorial de aceptación y preferencia con panelistas no entrenados para realizar la selección de la fórmula final. Posteriormente, se realizó la caracterización microbiológica de la formula seleccionada, así como la evaluación del proceso térmico en función del microorganismo más termorresistente, para asegurar la inocuidad del producto terminado. Finalmente, se realizó la selección de equipos con capacidad para una producción de 800 litros de producto terminado y se estimó el costo de producción y el precio de venta al público con el que será comercializado.

Palabras Clave:

Diabetes tipo I, hipoglucemia, equipos, costos

ABSTRACT

Diabetes mellitus type I is a metabolic disease whose typical symptom is the presence of incidental episodes of hypoglycemia due to the lack of insulin that do not allow an optimal metabolic control, generating frequent hyperglycemia when trying to increase glucose levels with intake from any source of sugar.

In the present work, the development of a drink for people presenting hypoglycemia was made, in a 59ml presentation categorized nutritionally as high in sugar. Likewise, a process schema and selection of equipment that allow production at pilot scale for commercialization was proposed.

To obtain the drink formula, a experimental design was proposed with different concentrations of water, dextrose and citric acid from which a pre-selection of formulas was carried out, and then evaluated through a sensory test of acceptance and preference with untrained panelists to make the selection of the final formula. Subsequently, the microbiological characterization of the selected formula was carried out, as well as the evaluation of the thermal process in function of the most heat-resistant microorganism, to ensure the safety of the finished product. Finally, it was selected the equipment to produce 800 liters of product, and the cost of production and the sale price were estimated.

Keywords:

Type I diabetes, hypoglycemia, equipment, costs

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Objetivos	1
1.2.1 Objetivo General.....	1
1.2.2 Objetivos Específicos.....	1
1.3 Justificación.....	2
1.4 Marco teórico.....	2
1.4.1 Generalidades.....	2
1.4.2 Materias primas	4
1.4.3 Equipos.....	5
1.4.4 Proceso.....	5
1.4.5 Caracterización del producto final.....	6
CAPÍTULO 2.....	8
2. Metodología	8
2.1 Formulación.....	8
2.1.1 Fórmulas propuestas	8
2.1.2 Caracterización Físico-Química.....	8
2.1.3 Análisis del diseño experimental.....	8
2.2 Evaluación sensorial.....	8
2.2.1 Análisis estadístico de la evaluación sensorial	9
2.3 Caracterización microbiológica del producto final	9
2.4 Estudio de penetración de calor	10
2.4.1 Selección del microorganismo más termorresistente.....	10
2.4.2 Cálculos para determinar el tiempo de muerte térmica objetivo	10

2.4.3	Cálculos para determinar el tiempo de muerte térmica del proceso	11
2.4.4	Validación del proceso térmico	12
2.5	Selección de equipos	12
2.5.1	Dimensionamiento del tanque y agitador	13
2.5.2	Cálculos para determinar potencia requerida por el motor del agitador.....	14
2.5.3	Cálculos para determinar la potencia y presión de salida de la bomba	15
2.6	Tiempo de las etapas del proceso térmico	20
2.7	Flujo de vapor y combustible requerido	26
2.7.1	Cálculos para la determinación del consumo de diésel de la caldera.....	26
2.7.2	Cálculos para determinar el flujo de vapor requerido por el tanque	27
2.8	Equipos seleccionados.....	28
2.9	Caracterización del producto final	28
2.9.1	Valoración del producto	28
2.9.2	Etiqueta y envase	28
2.10	Estimación de Costos.....	29
CAPÍTULO 3.....		30
3.	Resultados.....	30
3.1	Formulación.....	30
3.1.1	Fórmulas propuestas	30
3.1.2	Caracterización Físico-Química de fórmulas propuestas.....	30
3.1.3	Análisis del diseño experimental.....	31
3.2	Evaluación Sensorial.....	35
3.2.1	Análisis estadístico de la evaluación sensorial	35
3.3	Caracterización microbiológica del producto final	37
3.4	Estudio de Penetración de Calor	38
3.4.1	Selección del Microorganismo más termorresistente.....	38
3.4.2	Determinación del tiempo de muerte térmica objetivo	38
3.4.3	Determinación del tiempo de muerte térmica del proceso	38
3.4.4	Validación del proceso térmico	39
3.5	Selección de Equipos.....	40
3.5.1	Dimensionamiento de tanque y agitador.....	40
3.5.2	Determinación de potencia requerida por el motor del agitador	41
3.5.3	Determinación de potencia y presión de salida de Bomba centrífuga	41

3.6	Determinación del tiempo de las etapas del proceso térmico	42
3.6.1	Determinación del tiempo de calentamiento	42
3.6.2	Determinación de tiempo de enfriamiento	43
3.7	Flujo de vapor y combustible requeridos	44
3.7.1	Determinación de la cantidad de diésel consumido	44
3.7.2	Determinación de flujo de vapor consumido por chaqueta	45
3.8	Equipos seleccionados.....	46
3.9	Características del producto final	46
3.9.1	Valoración del producto	46
3.9.2	Etiqueta y Envase	47
3.10	Estimación de Costos.....	47
3.11	Diagrama de Flujo del proceso.....	51
3.12	Diagrama de equipos	52
CAPÍTULO 4.....		69
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
4.1	Conclusiones.....	69
4.2	Recomendaciones.....	69
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

ABREVIATURAS

GLUT-4	Glucose transporter type 4
DM	Diabetes mellitus
DM I	Diabetes mellitus I
DM II	Diabetes mellitus II
DM G	Diabetes mellitus Gestacional
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
INEN	Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización
NTU	Número de unidades de Transferencia
ANOVA	Análisis de Varianza
LMTD	Media logarítmica de temperatura
PCI	Poder calorífico inferior
UMB	Unidad de medida base
EE	Energía Eléctrica
MOD	Mano de obra directa
PVP	Precio de Venta al Público
ARCONEL	Agencia de Regulación y Control de Electricidad

SIMBOLOGÍA

T	Temperatura
°F	Fahrenheit
°C	Grados Celsius
°Brix	Grados Brix
\bar{L}	Letalidad Promedio
m	Metro
Pa. s	Pascal segundo
RPM	Revoluciones por minuto
kg/m ³	Kilogramo por metro cúbico
L/min	Litro por minuto
m ³ /s	Metro cúbico por segundo
m/s	Metro por segundo
J/kg	Joule por Kilogramo
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
kcal/min	Kilocaloría por minuto
m ² °C/ W	Metro cuadrado grados Celsius por watts
W/m. °C	Watts por metro grados Celsius
ρ	Densidad
μ	Viscosidad
n	Número de revoluciones
N _p	Número de Potencia
PCI	Poder Calorífico Inferior
NTU	Número de unidades de transferencia
cm	Centímetro
ml	Mililitro
mm	Milímetro
Kw-h	Kilovatios-hora
kg	Kilogramo
pH	Concentración de iones de hidrógeno
V	Voltios
Re	Reynolds
D	Diámetro
v	Velocidad
Q	Flujo volumétrico
A	Área
g	Gravedad
W	Trabajo
L	Longitud
ϵ	Rugosidad relativa
e	Rugosidad equivalente

f	Factor de fricción Fanning
h_p	Pérdidas de carga por fricción
m	Flujo másico
Pr	Número de Prandtl
C_p	Calor específico
k	Coeficiente de conductividad térmica
Nu	Número de Nusselt
h	Coeficiente de transferencia de calor convectivo
U_c	Coeficiente total limpio de transferencia de calor
%	Porcentaje
\$	Dólares

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Área preparada para evaluación sensorial	8
Figura 2 Muestras codificadas.....	9
Figura 3 Turbina de palas inclinadas.....	13
Figura 4 Medidas estándar de un agitador de turbina	14
Figura 5 Análisis de Varianza (ANOVA)	31
Figura 6 Diagrama de Pareto cada variable respuesta	32
Figura 7 Gráficas de contorno de cada variable respuesta	33
Figura 8 Perfil de deseabilidad de respuesta.....	34
Figura 9 Curva de letalidades.....	40
Figura 10 Semáforo nutricional del producto	47
Figura 11 Etiquetado del producto.....	47
Figura 12 Punto de equilibrio.....	50
Figura 13 Diagrama de flujo del proceso.....	52
Figura 14 Diagrama de equipos	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Diagnostico en laboratorio de Diabetes Mellitus	3
Tabla 2 Formulaciones propuestas para la bebida	8
Tabla 3 Requisitos físicos y químicos para los refrescos no carbonatados.....	8
Tabla 4 Escala Hedónica para Evaluación Sensorial	9
Tabla 5 Requisitos microbiológicos del agua envasada	10
Tabla 6 Criterios de validación térmica del proceso térmico	12
Tabla 7 Especificaciones básicas del tanque	12
Tabla 8 Especificaciones básicas del agitador propuesto	13
Tabla 9 Proporciones típicas para el diseño estándar de un tanque agitado	13
Tabla 10 Características de tubería instalada	15
Tabla 11 Número de Accesorios y tuberías instalados.....	15
Tabla 12 Especificaciones de la llenadora propuesta.....	16
Tabla 13 Coeficientes de resistencia.....	18
Tabla 14 Coeficientes de transferencia típicos de calor por convección	20
Tabla 15 Parámetros de la bebida en el tanque en fase de calentamiento	25
Tabla 16 Parámetros de la bebida en el tanque en fase de enfriamiento.....	25
Tabla 17 Parámetros del fluido en chaqueta en fase de calentamiento	25
Tabla 18 Parámetros del fluido en chaqueta en fase de enfriamiento	25
Tabla 19 Formulaciones propuestas para la bebida.....	30
Tabla 20 Resultados del análisis Físico-Químico de las fórmulas propuestas	31
Tabla 21 Modelos matemáticos de las variables respuesta	33
Tabla 22 Especificaciones de perfil de deseabilidad de respuesta.....	34
Tabla 23 Composición y perfil físico-químico de fórmulas pre-seleccionadas.....	35
Tabla 24 Codificación asignada a las muestras a evaluar.....	35
Tabla 25 Hipótesis para test de normalidad	35
Tabla 26 Valor P de los resultados de cada atributo en cada muestra.....	35
Tabla 27 Hipótesis para prueba de Mann Whitney	36
Tabla 28 Valores P obtenidos de la prueba de Mann Whitney	36
Tabla 29 Criterio de medianas para medir nivel de aceptación muestra J47	36
Tabla 30 Criterio de Medianas para medir nivel de aceptación muestra G83	36
Tabla 31 Hipótesis para prueba de preferencia.....	37
Tabla 32 Datos para prueba de preferencia	37

Tabla 33 Resultados del análisis microbiológico de producto terminado	37
Tabla 34 Valores de Z y D de los microorganismos de estudio.....	38
Tabla 35 Validación térmica del proceso térmico	39
Tabla 36 Dimensiones del tanque	40
Tabla 37 Dimensiones del agitador	41
Tabla 38 Costo de producción.....	49
Tabla 39 Costos fijos y costos variables anuales	50
Tabla 40 Análisis financiero.....	51

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

En la actualidad el mercado ecuatoriano está orientado a la producción de productos alimenticios que satisfagan las necesidades de sus consumidores, sin embargo, se evidencia una poca predisposición de productos que atiendan a sectores vulnerables de la sociedad, como lo son las personas que conviven con problemas de diabetes tipo I. Estas personas al momento de entrar en cuadros de hipoglucemia se ven en la necesidad de ingerir un alimento que les ayude a elevar sus niveles de glucosa en sangre, sin conocer que posiblemente les provocará una posterior hiperglucemia, lo cual se traduce en la necesidad de suministrarse insulina. En otras palabras, existe la necesidad de ofertar en el mercado productos alimenticios que le permitan a una persona con hipoglucemia recuperar sus niveles de glucosa en sangre sin que entren a un estado de hiperglucemia.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar a escala piloto una bebida líquida de absorción rápida a base de dextrosa para personas que padezcan de Diabetes tipo I, en presencia de estados hipoglucémicos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar pruebas de formulación a escala laboratorio de una bebida líquida utilizando materias primas sintéticas.
- Cuantificar el grado de aceptación de la bebida mediante pruebas sensoriales.
- Realizar estudios microbiológicos y físico-químicos del producto final formulado.
- Realizar un estudio de penetración de calor al producto final formulado.
- Realizar un análisis de costos de producción a escala piloto de la bebida y estimar su precio de venta para una presentación de 59 ml.

1.3 Justificación

En el Ecuador muchas veces se presentan enfermedades crónicas no transmisibles como la diabetes tipo I en familias de bajos recursos, por lo que debido a la escasa demanda de productos alimenticios de bajo costo dirigidos a este tipo de personas, no están en la capacidad de adquirirlos y se ven en la necesidad de buscar cualquier fuente de alimentación para superar los síntomas hipoglucémicos asociados a esta enfermedad y poder sobrevivir. Por tal motivo, el presente trabajo muestra el desarrollo de una bebida líquida de absorción rápida de azúcares como propuesta de un producto dirigido a personas con diabetes tipo I, que ayude a elevar los niveles de glucosa en sangre para superar los episodios de hipoglucemia, sin el posterior cuadro hiperglucémico que cualquier otro tipo de alimento sólido o líquido con alto contenido de azúcar provocaría.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Generalidades

A continuación, se detallan las características generales de algunos criterios relacionados a la Diabetes, así como el detalle de las materias primas a ser consideradas para el desarrollo del producto propuesto.

Insulina

La insulina es una hormona que es sintetizada y secretada por las células β del páncreas debido a la presencia de glucosa en sangre y cuya principal función es mantener los niveles de glucosa en equilibrio ya que capta, usa y almacena glucosa, aminoácidos y proteínas (Mendoza Patiño, 2008).

El mecanismo de acción de la insulina en el organismo empieza al ponerse en contacto con glucoproteínas ubicadas en la membrana celular que actúan como receptores y que en su composición tienen dos subunidades alfa y dos subunidades beta unidas por puentes disulfuro que sufren cambios conformacionales, quedando el receptor activado y listo para iniciar una serie de interacciones proteicas que favorecen la traslocación de los transportadores GLUT-4 a la membrana y posterior captación de glucosa para luego ser transportadas a las células de los músculos y tejido adiposo para la regulación del metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas (Reyes Olivares & Arellano Plancarte, 2008).

Hiperglucemia

Se define como el incremento de glucosa en sangre de tal manera que sobrepase los 100 mg/dl en ayunas y los 140 mg/dl dos horas después de haber ingerido alimentos (De Ruyter & Harrison, 2007). Ver Tabla 1.

Hipoglucemia

Se define como el estado en que se encuentra el organismo cuando los niveles de glucosa en sangre están por debajo de los 70 mg/dl como resultado de una excesiva actividad física o cuadros digestivos acompañados de diarrea o vómito (ver tabla 1) (Rojas et al., 2011). Para revertir esta situación se recomienda ingerir una porción de alimento o bebida que brinde 15 a 20 g de hidratos de carbono con la finalidad de restaurar los niveles de glucosa (Martín Vaquero, Barquiel Alcalá, Puma Duque, & Liboa Catlán, 2009).

La hipoglucemia es considerada como un factor limitante en diabetes tipo I ya que pueden darse episodios desapercibidos que no permiten tener un óptimo control metabólico (San Laureano, Ayala Ortega, Zaldivar, & Expósito, 2016). Existe una frecuencia 3 veces mayor en diabéticos tipo I que diabéticos tipo II (Martín Vaquero et al., 2009).

Tabla 1 Diagnostico en laboratorio de Diabetes Mellitus

	Normal	Alteraciones	Diabetes
Glicemia en Ayunas	< 100 mg/dL	Igual o mayor a 100 y menor a 126 mg/dL Glicemia de ayuno alterada	Igual o mayor a 126 mg/dL
Glicemia a las 2 horas	< 140 mg/dL	Igual o mayor a 140 y menor a 200 mg/dL Intolerancia a la glucosa	Igual o mayor a 200 mg/dL

Fuente:(Asenjo, Muzzo, Perez, Ugarte, & Willshaw, 2007)

Diabetes mellitus

La diabetes mellitus (DM) puede definirse como una enfermedad metabólica crónica no transmisible que se caracteriza por la manifestación de una inapropiada hiperglucemia como resultado de la deficiencia total o parcial de la secreción de insulina por parte del páncreas, su acción o de ambas (Tamborlane, Battelino, Weinzimer, & Phillip, 2014).

Clasificación de la Diabetes Mellitus

La clasificación adecuada de esta enfermedad descrita por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y por diversos estudios es Diabetes mellitus I (DM I), Diabetes mellitus II (DM II), Diabetes mellitus gestional (DM G) y otros tipos específicos de Diabetes.

Diabetes mellitus I

Es también conocida como diabetes juvenil o insulino dependiente ya que a pesar de que su diagnóstico sea muy común en niños y adolescentes puede presentarse a cualquier edad (de Santiago Corchado, 2000).

Puede ser autoinmune, en la cual el sistema inmune contribuye a la destrucción de las células β del páncreas, lo que origina una deficiente producción de insulina y una tendencia a cetoacidosis (Rojas de P., Molina,

& Rodríguez, 2012). Debido a este fenómeno las personas que padecen de este tipo de Diabetes se ven en la necesidad de suministrarse insulina para poder mantenerse con vida. Por otro lado, este tipo de Diabetes también puede ser idiopática presentando características similares a la antes mencionada, sin embargo, no existe información que permita explicar el déficit en la producción de insulina y tendencia a la cetoacidosis debido a que no hay evidencia de autoinmunidad (de Santiago Corchado, 2000).

Diabetes mellitus II

Es también conocida con los nombres de diabetes no insulino dependiente o diabetes de la madurez debido a que es muy común que sea diagnosticada en personas mayores de edad y que sufren de obesidad, misma que es causante de una resistencia a la insulina junto con una deficiencia en su producción, es decir, hay un uso ineficaz de la insulina presente. A diferencia de la DM I, no es muy frecuente que se produzca una cetoacidosis (de Santiago Corchado, 2000).

1.4.2 Materias primas

Dextrosa monohidratada

Edulcorante compuesto de glucógeno, almidón y celulosa que a temperatura ambiente se lo encuentra en estado sólido en forma de polvo. Entre sus propiedades físico-químicas se conoce que es inodora, buen aglutinante, hidrosoluble, blanca y cristalina. Es usada en personas con niveles bajos de azúcar en sangre, proporciona 4 calorías por gramo y contiene aproximadamente 9% de agua en su peso (LFA, 2017).

Aromatizantes/saborizantes

Sustancia o mezcla de sustancias que poseen propiedades aromáticas/sápidas cuyo fin es aportar o reforzar el aroma/sabor. Se pueden clasificar como aromatizantes/saborizantes sintéticos los cuales son obtenidos mediante procesos químicos a diferencia de los aromatizantes/saborizantes naturales que son el resultado de procesos físicos, microbiológicos y enzimáticos a partir de materia prima natural. (MERCOSUR, 2017).

Conservante

El sorbato de potasio es un polvo blanco cristalino soluble en agua utilizado principalmente en la conservación de alimentos. Posee propiedades fungicidas y bactericidas y no es recomendable para procesos fermentativos debido a que es inhibidor de levaduras (Cimpa S.A, 2015). Según R.S.A. la dosis máxima es de 2g / kg de producto terminado.

Ácido Cítrico

El ácido 2-hidroxi-1,2,3-popanotricarboxílico de fórmula química $C_6H_8O_7$ es un polvo blanco, inodoro, soluble en agua y alcohol, es un acidulante ampliamente usado en la industria alimentaria para la preparación de citratos, elaboración de bebidas en la cual potencia su sabor, extractos de aromas, como antioxidante, regulador de pH, entre otros (Ospina, 2012).

1.4.3 Equipos

Bombas

Dispositivo mecánico que proporciona la energía necesaria para que los líquidos pasen a través de las tuberías. Existen 3 grupos de bombas que se utilizan en la industria de alimentos: bombas de desplazamiento positivo, rotatorias y centrífugas. Para productos de baja viscosidad las mayormente usadas son las centrífugas, que estructuralmente consisten en una serie de paletas que giran alrededor de un eje en el interior de una carcasa; funcionalmente el fluido ingresa por el centro y el giro de las paletas logra el desplazamiento del líquido mediante una fuerza centrífuga (Ibarz & Barbosa, 2011).

Marmita de Vapor

Este equipo posee una forma semiesférica y una camisa de vapor que rodea el recipiente por la cual transmite calor al producto, en algunos casos poseen agitador mecánico y un sistema de volteo para descargar el producto. En estos equipos el vapor es suministrado por la caldera y circula a una presión determinada por la cámara de calefacción. (IICA, 1988)

Llenadoras

Son empleadas para agregar una cantidad de líquido deseada en el envase primario. Al momento de envasar, se debe tomar en cuenta parámetros como la densidad del producto, si es corrosivo, espumante, entre otros. El envasado de líquidos puede darse por pistones, los cuales ejercen fuerzas de carga y descarga iguales al momento del llenado (Cortés, 2017).

1.4.4 Proceso

En la industria alimentaria existe una gama de procesos que tienen como objetivo la conservación de los productos mediante la reducción o eliminación de microorganismos que son capaces de crecer en el alimento y provocar cambios indeseables en sus características físico-químicas y organolépticas e incluso que representen un peligro para la salud humana. De esta manera se asegura la inocuidad, el tiempo de vida útil y que sea apto para el consumo humano.

Un parámetro importante para definir un proceso térmico es el valor de pH del producto, ya que en función de la acidez del medio se ve favorecido o no el crecimiento de microorganismos. Para los alimentos ácidos (pH 4.0 a 4.5) y alimentos de alta acidez (pH<4.0) es suficiente que sean tratados por pasteurización, mientras que para los alimentos de baja acidez (pH>4.5) será necesario que pasen por una esterilización (Bernal et al., 2004).

Otro método alternativo para productos líquidos puede ser el proceso de filtración por membrana.

Pasteurización

Es un tratamiento térmico que ayuda a disminuir la carga microbiana de un alimento, brindándole de esta manera un mayor tiempo de vida útil. Para llevarse a cabo se deben tener en cuenta factores como la resistencia térmica de los microorganismos y la sensibilidad del producto al calor ya que de estos depende la combinación de tiempo y temperatura a utilizar (Orrego Alzate, 2003).

Filtración por membrana

Es un método de conservación en el que se eliminan casi todos los microorganismos al pasar el líquido por filtros de membrana compuestos por ésteres de celulosa o polímeros plásticos y que tienen tan solo 0,1 mm de espesor y en cuanto al tamaño de los poros, lo recomendado para la retención de la mayoría de bacterias es que sea de 0,2 µm de diámetro (Tortora, Funke, & Case, 2007).

1.4.5 Caracterización del producto final

Para el desarrollo de esta bebida es necesario tomar en consideración los siguientes aspectos:

- Que sea de bajo costo relativo.
- Que sea agradable a la vista del consumidor.
- Que tenga un buen sabor.
- Que contenga una cantidad mínima requerida de azúcares para reestablecer el nivel de glucosa en sangre y no provoque hiperglucemia.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en este trabajo consistió en la obtención de las proporciones de los ingredientes que se mezclan en la elaboración de la bebida, utilizando un diseño experimental que permita el desarrollo y pre-selección de fórmulas luego de realizada una caracterización físico-química de cada corrida. Posteriormente, se realizó una evaluación sensorial para la selección de la formula final, seguido de análisis microbiológicos y un estudio de penetración de calor al producto. Finalmente, se realizó la selección de equipos para el diseño del proceso a nivel piloto. A continuación, se detallan cada una de las etapas que conforman la metodología antes descrita.

2.1 Formulación

Para obtener la fórmula de la bebida se creó un diseño experimental empleando un diseño para mezclas y superficie triangular Simplex Lattice, haciendo uso del software estadístico Statistica 7. Se generaron 10 fórmulas o corridas considerando como variables independientes los contenidos de dextrosa, agua y ácido cítrico, en rangos propuestos a partir de una formulación patrón; y como variables respuesta los parámetros físico-químicos °Brix, pH, y acidez titulable.

2.1.1 Fórmulas propuestas

Las corridas generadas y que fueron empleadas para el proceso de selección de la fórmula final de la bebida se detallan en la tabla 2.

Tabla 2 Formulaciones propuestas para la bebida

Materia Prima Fórmulas	Agua	Dextrosa	Ácido Cítrico
	%	%	%
1	74,5655	25	0,34
2	73	26,5655	0,34
3	73	25	1,9055
4	73,5218	26,0437	0,34
5	73,5218	25	1,3837
6	73	25,5218	1,3837
7	74,0437	25,5218	0,34
8	74,0437	25	0,8618
9	73	26,0437	0,8618
10	73,5218	25,5218	0,8618

Fuente: Elaboración propia

2.1.2 Caracterización Físico-Química

A cada una de las fórmulas generadas se les realizó una caracterización físico-química que permitió posteriormente analizar el diseño experimental para preseleccionar fórmulas. Esta caracterización se llevó a cabo tomando como referencia la norma de refrescos no carbonatados NTE INEN 2304.

Los parámetros físico-químicos (Brix, pH, y acidez titulable) fueron cuantificados haciendo uso del refractómetro y pH-metro del laboratorio de Bromatología y laboratorio de Investigación de la carrera de Ingeniería en Alimentos. Los requisitos se detallan en la tabla 3.

Tabla 3 Requisitos físicos y químicos para los refrescos no carbonatados

Requisito	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Sólidos solubles a 20°C ^a	°Brix	5	-	NTE INEN-ISO 2173
pH A 20°C		2,0	4,5	NTE INEN-ISO 1842
Acidez titulable, expresada como ácido cítrico a 20°C	g/100ml	0,1	-	NTE INEN-ISO 750

^a No se aplica a producto edulcorados por sustitución total de azúcar.

Fuente: NTE INEN 2304. Refrescos no carbonatados. Requisitos

2.1.3 Análisis del diseño experimental

En el análisis realizado se evaluó el comportamiento de las variables independientes sobre las variables respuesta, obteniéndose un modelo matemático que lo describa y mediante un perfil de deseabilidad de respuesta se obtuvieron las concentraciones de agua, dextrosa y ácido cítrico de las fórmulas a preseleccionar que cumplen con los requisitos antes mencionados teniendo de 15 a 20 g de dextrosa en su composición.

2.2 Evaluación sensorial

Se llevó a cabo una prueba sensorial con 30 panelistas no entrenados en la que se evaluó el grado de aceptación del color, aroma, sabor y dulzura de la bebida con las fórmulas preseleccionadas, empleando una escala hedónica de 7 puntos (Ver Tabla 4); así como la preferencia hacia una de las bebidas.

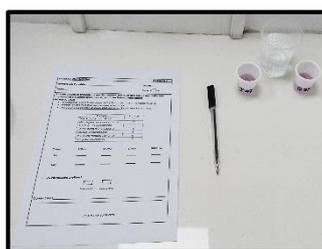


Figura 1 Área preparada para evaluación sensorial

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4 Escala Hedónica para Evaluación Sensorial

Escala	Nivel de Afectividad
1	Me disgusta mucho
2	Me disgusta
3	Me disgusta ligeramente
4	Ni me gusta ni me disgusta
5	Me gusta ligeramente
6	Me gusta
7	Me gusta mucho

Fuente: Elaboración Propia

Esta escala fue presentada en un formulario en el que a su vez se indicaron los pasos a seguir para realizar la prueba (Ver Anexo 1).

Las muestras fueron elaboradas horas antes de iniciar la evaluación sensorial para posteriormente ser depositadas en vasos de plásticos previamente codificados. El volumen de muestra utilizado fue de 15 ml y fueron servidas a temperatura ambiente junto con un vaso de agua adicional para que el panelista limpie su paladar entre cada muestra probada.



Figura 2 Muestras codificadas

Fuente: Elaboración Propia

2.2.1 Análisis estadístico de la evaluación sensorial

El análisis consistió en evaluar los datos obtenidos usando el software Minitab para conocer si existen diferencias entre las fórmulas preseleccionadas. Posteriormente el nivel de aceptación de cada atributo se determinó empleando el criterio de medianas y finalmente la fórmula con más preferencia se obtuvo a partir del valor mínimo de respuestas para preferencia significativa hallado con la tabla mostrada en el anexo 2.

2.3 Caracterización microbiológica del producto final

Dado que la norma NTE INEN 2304 tan solo menciona que el producto debe ser elaborado con agua que cumpla la norma NTE INEN 1108, la caracterización microbiológica se llevó a cabo mediante análisis microbiológicos que permitan asegurar el cumplimiento de lo establecido por

la norma de agua purificada envasada NTE INEN 2200 y cuyos requisitos microbiológicos del agua se detallan en la tabla 5.

Tabla 5 Requisitos microbiológicos del agua envasada

Requisito	Unidad	Caso	n	c	m	M	Método de ensayo
Recuento de Aerobios mesófilos	UFC/mL	2 ^b	5	2	25	10 ²	NTE INEN-ISO 4833
<i>E. coli</i>	UFC/100 mL	10 ^a	5	0	0	--	NTE INEN-ISO 9308-1
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	UFC/100 mL	10 ^a	5	0	0	--	NTE INEN-ISO 16266

^aCaso 10, peligro grave incapacitante, pero por lo general no amenaza la vida, las secuelas son raras duración moderada. ICMSF 8.
^bCaso 2, Utilidad: contaminación general, reducción de la vida útil, deterioro incipiente.
n es el número de muestras a analizar;
m es el límite de aceptación;
M es el límite superado el cuál se rechaza;
C es el número de muestras admisibles con resultados entre m y M.

Fuente: NTE INEN 2200. Agua purificada envasada. Requisitos

Adicionalmente, se consideró los análisis de mohos ya que son capaces de crecer a pH bajos, coliformes totales ya que son un indicativo de sanidad y por último *Vibrio Cholerae* puesto que puede existir la posible transmisión de este patógeno por aguas contaminadas (Ríos, Agudelo, & Gutiérrez, 2017).

2.4 Estudio de penetración de calor

El estudio de penetración de calor consistió en pasteurizar la bebida registrando perfiles de tiempo y temperatura para poder validar que el proceso térmico asegure la eliminación del microorganismo más termorresistente.

2.4.1 Selección del microorganismo más termorresistente

Para el estudio de penetración de calor, se determinó mediante bibliografía el valor de la constante de resistencia térmica (Z) y el tiempo de reducción decimal (D) de cada microorganismo anteriormente mencionado, y posteriormente se seleccionó el microorganismo que cumpla con el criterio de mayor termorresistencia (Z) para validar el tratamiento térmico en función de este.

2.4.2 Cálculos para determinar el tiempo de muerte térmica objetivo

Para el proceso de pasteurización se consideró una temperatura de referencia de 65,5°C (149,9°F) y un valor de esterilización (VS) de 5, lo cual indica que se busca reducir 5 ciclos logarítmicos del microorganismo seleccionado.

Dado que el valor D encontrado del microorganismo escogido corresponde a una temperatura de 60°C, fue necesario primero determinar el valor D a 65,5°C para posteriormente conocer el tiempo de muerte térmica objetivo.

Ecuación para el cálculo del tiempo de reducción decimal

Conociendo el valor D a una temperatura dada y el valor Z, es posible determinar el valor D a cualquier temperatura deseada.

$$D_T = D_o \times 10^{\frac{T_o - T_T}{Z}} \quad (1)$$

Donde:

D_T: Tiempo de reducción decimal a una temperatura T conocida [min].

D_o: Tiempo de reducción decimal a la temperatura de referencia [min]

T_T: Temperatura T conocida [°F o °C].

T_o: Temperatura deseada [°F o °C].

Z: Constante de resistencia térmica [°F o °C].

Ecuación para el cálculo del tiempo de muerte térmica objetivo

$$F_o = VS D_T \quad (2)$$

Donde:

F_o= Tiempo de muerte térmica objetivo [min]

VS= Valor de esterilización o Grado de reducción.

D_T= Tiempo de reducción decimal a una temperatura conocida [min].

2.4.3 Cálculos para determinar el tiempo de muerte térmica del proceso

Se llevó a cabo la pasteurización de la bebida y se registraron los perfiles de tiempo y temperatura cada 10 segundos considerando la respectiva fase de retención. Posteriormente se determinó el tiempo de muerte térmica del proceso a partir de perfiles de letalidades obtenidos de la aplicación del método general descrito por Bigelow y colaboradores en 1920, para lo cual fue necesario el uso de las ecuaciones que se detallan a continuación.

Ecuación para el cálculo de letalidades

$$L = 10^{\frac{T - T_o}{Z}} \quad (3)$$

Donde:

T: Temperatura del producto a un tiempo determinado.

T_o: Temperatura de referencia.

Z: Constante de resistencia térmica necesaria para reducir el 90% del tiempo de reducción decimal.

Ecuación para el cálculo del tiempo de muerte térmica del proceso

$$F_{T\text{proceso}} = \sum (\bar{L})\Delta\theta \quad (4)$$

Donde:

\bar{L} =Letalidad promedio.

$\Delta\theta$ =Tiempo transcurrido entre cada registro de temperaturas [min].

2.4.4 Validación del proceso térmico

Se llevó a cabo empleando los criterios que se detallan en la tabla 6.

Tabla 6 Criterios de validación térmica del proceso térmico

Criterio	Estado del producto
$F_T > F_0$	Sobrepesado
$F_T < F_0$	Subprocesado

Fuente: Elaboración propia

2.5 Selección de equipos

Como parte de la propuesta piloto planteada se realizó la selección de equipos considerando la capacidad de producción de 800 litros por lote. Inicialmente se dimensionó el tanque y tipo de agitador, luego mediante la determinación de la potencia requerida se seleccionó un motor eléctrico para dicho agitador. Finalmente, se realizó la selección de una bomba centrífuga, a través de la determinación de la potencia y presión de salida requeridas.

Algunos datos técnicos del tanque que fueron considerados para realizar los cálculos, dimensionamiento y selección se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7 Especificaciones básicas del tanque

Dimensiones	[m]
Diámetro interno	1,1
Diámetro externo	1,25
Altura total del tanque	1,47
Número de tabiques	4
Espacio o espesor de chaqueta	0,15

Fuente: Elaboración Propia

El tipo de impulsor que se propuso es de turbina de palas inclinadas (Ver figura 3). Este agitador es capaz de combinar el flujo radial con flujo axial, lo que lo hace ser muy utilizado para homogenizar y contribuir a una correcta

transferencia de calor entre la pared del tanque y el producto cuya viscosidad puede ser de hasta 100 Pa.s. (Castillo Uribe, 2013).

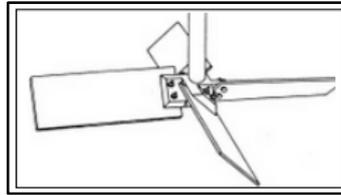


Figura 3 Turbina de palas inclinadas

Fuente: (Castillo Uribe, 2013)

Algunos datos técnicos del tanque que fueron considerados para la realización de cálculos, dimensionamiento y selección se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8 Especificaciones básicas del agitador propuesto

Tipo	Turbina de palas inclinadas
Número de palas	4
Ángulo de inclinación	45°
Velocidad	50 RPM

Fuente: Elaboración Propia

Los cálculos a realizar para el dimensionamiento y selección de cada equipo se muestran a continuación:

2.5.1 Dimensionamiento del tanque y agitador

Es posible realizar un mayor dimensionamiento del tanque y el agitador a instalar, a partir de los criterios típicos para el diseño estándar de un tanque agitado mostrados en la tabla 9 (McCabe, Smith, & Harriott, 1991).

Tabla 9 Proporciones típicas para el diseño estándar de un tanque agitado

Medidas estándar de un agitador de turbina					
1	$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3}$	3	$\frac{H}{D_t} = 1$	5	$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$
2	$\frac{E}{D_a} = 1$	4	$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$	6	$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$
El número de deflectores a utilizar por lo general es de 4					
El número de palas puede ser de 4 hasta de 16 pero por lo general se usan 6 u 8					

Fuente: (McCabe et al., 1991)

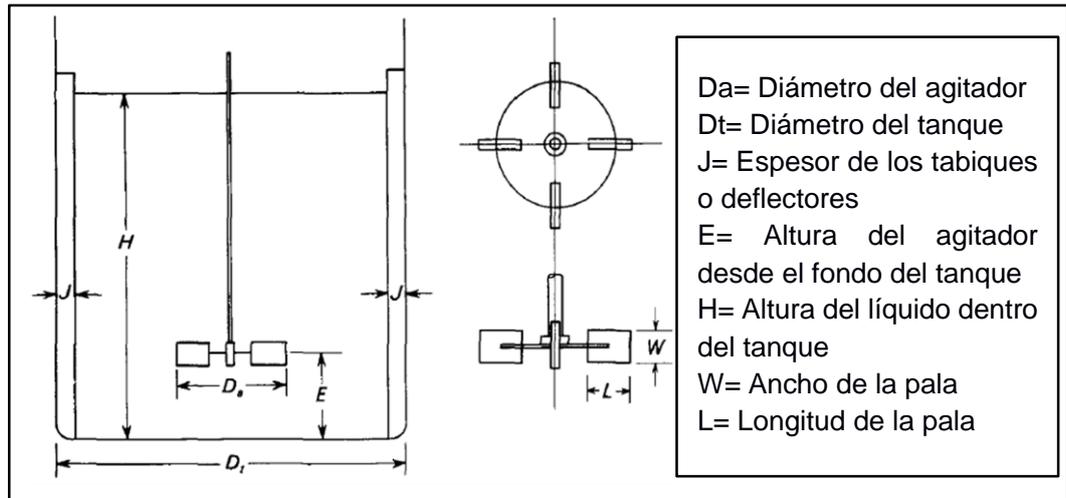


Figura 4 Medidas estándar de un agitador de turbina

Fuente: (McCabe et al., 1991)

Posteriormente se procedió a realizar la selección del motor eléctrico del agitador mediante la determinación de su potencia requerida, para lo cual fue necesaria la aplicación de las ecuaciones que se muestran en el apartado 2.5.2.

2.5.2 Cálculos para determinar potencia requerida por el motor del agitador

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de la potencia requerida se detallan a continuación:

Ecuación para cálculo del Número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho n D_a^2}{\mu} \quad (5)$$

Donde:

Re = Número de Reynolds [Adimensional].

ρ = Densidad del fluido a agitar [kg/m^3].

D_a = Diámetro del agitador [m].

n = Número de revoluciones por segundo [Rev/s].

μ = Viscosidad del fluido a agitar [Pa.s.].

Ecuación para determinar la potencia requerida o consumida

Para el cálculo partimos de la ecuación del número de potencia. El número de potencia N_p es análogo a un factor de fricción o a un coeficiente de rozamiento (McCabe et al., 1991).

$$N_p = \frac{P}{n^3 D_a^5 \rho} \quad (6)$$

Donde:

N_p = Número de potencia [Adimensional].

P = Potencia del agitador [Watts o HP].

n = Número de revoluciones por segundo [Rev/s].

D_a = Diámetro del agitador [m].

ρ = Densidad del fluido a agitar [kg/m³].

El valor de N_p se obtuvo haciendo uso de la gráfica mostrada en el Anexo 4, para lo cual se determinó el número de curva que le corresponde al tipo de agitador propuesto a través de la tabla mostrada en el Anexo 3, considerando a su vez los valores estipulados en la Tabla 8 y una eficiencia del 85%.

2.5.3 Cálculos para determinar la potencia y presión de salida de la bomba

Los cálculos fueron realizados en función de la capacidad de la llenadora propuesta, número de tuberías y accesorios a ser instalados en línea de producción. Las características consideradas de la tubería a instalar se muestran en la Tabla 10 y fueron obtenidas del Anexo 5. El número propuesto de tuberías y de accesorios a instalar se muestra en la Tabla 11.

Tabla 10 Características de tubería instalada

Dimensiones	Valor	Unidad
Diámetro nominal	1/2	[Pulgadas]
Diámetro interior	1,58	[cm].
Tipo	Lisa de acero	
Cédula	40	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11 Número de Accesorios y tuberías instalados

Accesorios	Succión	Descarga
Codos 90° Estándar	1	3
Válvulas de globo abierta	-	1
Tuberías	Succión [m]	Descarga [m]
Tubería 1 (L1)	0,5	-
Tubería 2 (L2)	1	-
Tubería 3 (L3)	-	2
Tubería 4 (L4)	-	2,5
Tubería 5 (L5)	-	1
Tubería 6 (L6)		0,25

Fuente: Elaboración Propia

La llenadora propuesta fue caracterizada como se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12 Especificaciones de la llenadora propuesta

Característica	Valor	Unidad
Volumen de llenado	30 - 500	[ml]
Velocidad Máxima de llenado	48	[Botellas/min]
Caudal o Capacidad	2,83	L/min
Energía	220	[V]
Número de boquillas de llenado	8	[Boquillas]

Fuente: Elaboración Propia

Puesto que la bebida es considerada como un fluido newtoniano no compresible, las ecuaciones utilizadas para este proceso se detallan a continuación:

Ecuación del Número de Reynolds

Esta ecuación permite conocer el tipo de régimen del fluido que se transportará por las tuberías.

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (7)$$

Donde:

Re= Número de Reynolds [Adimensional].

ρ = Densidad del fluido en el interior de la tubería [kg/m³].

D= Diámetro del tubo [m].

v = velocidad del fluido [m/s].

μ = Viscosidad dinámica del fluido [Pa.s.].

Generalmente en la industria alimentaria los fluidos tienen un régimen turbulento, por lo que algunas de las consideraciones tomadas son para este tipo de fluidos.

Ecuación para determinar la velocidad del fluido en tubería

El cálculo fue realizado a partir de la definición de flujo volumétrico.

$$Q = A V \quad (8)$$

Donde:

Q= Flujo volumétrico [m³/s].

A= Área de la tubería [m²].

V= velocidad del fluido en tubería [m/s].

Ecuación de Bernoulli para determinar el trabajo de bomba

Dado que la bomba provoca un incremento de la energía mecánica del fluido en movimiento para mantener su flujo, el trabajo de la bomba por

unidad de peso considerando la corrección de energía cinética y pérdidas por fricción está dado por la siguiente ecuación (McCabe et al., 1991):

$$\frac{\Delta P}{\rho g} + \Delta Z + \alpha \frac{\Delta v^2}{2g} + h_p = -\frac{W_e}{g} = H \quad (9)$$

Donde:

$\frac{\Delta P}{\rho g}$ = Carga de presión [m].

ΔZ = Carga de altura [m].

α =Factor de corrección de la energía cinética [Adimensional].

$\frac{\Delta v^2}{2g}$ = Carga de energía cinética del fluido [m].

g = Gravedad [m/s^2].

W_e = trabajo de la bomba [J/kg].

h_p = Pérdidas de carga por fricción [m].

H = Carga o energía por unidad de peso del fluido [m].

El valor de α para un Reynolds dado se obtuvo a partir de la gráfica mostrada en el Anexo 6 para fluidos Newtonianos y turbulentos a la vez.

Ecuación para determinar pérdidas por fricción

Las pérdidas por fricción pueden determinarse por la siguiente ecuación:

$$h_p = \frac{v^2}{2g} \left(4f \frac{L}{D} + \sum K_i \right) \quad (10)$$

Donde:

V = Velocidad del fluido [m/s].

g = Gravedad [m/s^2].

f = Factor de fricción Fanning [Adimensional].

L =Longitud de la tubería [m].

D = Diámetro de la tubería [m].

$\sum K_i$ = Suma de coeficientes de resistencia por accesorios [Adimensional].

El factor de fricción Fanning se determinó a través del diagrama de Moody para fluidos Newtonianos y turbulentos a la vez, con el número de Reynolds y la Rugosidad relativa (Ver Anexo 7).

Ecuación para determinar la rugosidad relativa de la tubería

La rugosidad relativa de la tubería (ϵ) se expresa en función de la rugosidad equivalente (e) en el interior de la misma, la cual según la tabla mostrada en el Anexo 8 toma el valor de 0,2 mm; siendo ϵ obtenida a partir de:

$$\varepsilon = \frac{e}{D} \quad (11)$$

Siendo:

ε = Rugosidad Relativa de la tubería [Adimensional].

e = Rugosidad equivalente del interior de la tubería [m].

D = Diámetro de la tubería [m].

Los coeficientes de resistencia que generan pérdidas por fricción se obtuvieron a partir del Anexo 9, considerando los accesorios propuestos y además el estrechamiento y ensanchamiento brusco a la salida de la marmita y a la entrada a la llenadora respectivamente. Ver Tabla 13.

Tabla 13 Coeficientes de resistencia

Accesorios	K
Codo 90° Estándar Roscado	0,9
Válvulas de globo abierta	10
Estrechamiento o Contracción brusca	0,5
Ensanchamiento o Expansión brusca	1

Fuente: Elaboración Propia

Debido a la escasa información bibliográfica disponible de coeficientes de resistencia de estrechamiento y ensanchamiento fue necesario utilizar los valores propuestos en la cátedra de Operaciones Unitarias I.

Para flujos turbulentos se debe realizar una comparación entre el número de Reynolds hallado mediante la ecuación 7 y el número de Reynolds crítico 2. Este último se obtiene mediante la siguiente ecuación:

Ecuación para determinar el Reynolds crítico 2

$$Re_{crit\ 2} = 550\varepsilon^{-9/8} \quad (12)$$

Siendo:

$Re_{crit\ 2}$ = Reynolds crítico 2 [Adimensional].

ε = Rugosidad Relativa de la tubería [Adimensional].

De la comparación antes mencionada entre Re y $Re_{crit\ 2}$ se puede decir que si $Re > Re_{crit\ 2}$, el valor de las pérdidas por accesorios es la suma total de los coeficientes de resistencia de cada accesorio obtenidos anteriormente. Si por el contrario ocurre que $Re < Re_{crit\ 2}$, se debe hacer la siguiente corrección a la suma total de coeficientes de resistencia por accesorios, haciendo uso de un nuevo factor de fricción de Fanning correspondiente al $Re_{crit\ 2}$ hallado mediante el diagrama de Moody.

Ecuación para corrección del total de coeficientes de resistencia

$$\sum K = \sum K_{turb} \times \left(\frac{f}{f_{turb}} \right) \quad (13)$$

Siendo:

ΣK = Total de coeficientes de resistencia corregido [Adimensional].

ΣK_{turb} = Total de coeficientes de resistencia sin corregir [Adimensional].

f = Factor de fricción Fanning correspondiente al Re [Adimensional].

f_{turb} = Factor de fricción Fanning correspondiente al $Re_{crit 2}$ [Adimensional].

Finalmente, a partir de la ecuación 9 es posible hallar la carga o energía por unidad de peso hacia el fluido (H), y con este parámetro obtener posteriormente la potencia necesaria para el bombeo de la bebida.

Ecuación para determinar la potencia requerida para el bombeo

$$P = \dot{m} \times g \times H \quad (14)$$

Donde:

P = Potencia necesaria para bombeo [Watt o HP].

\dot{m} = Flujo másico de la bebida [Kg/s].

g = Gravedad [m/s^2].

H = Carga o energía por unidad de peso del fluido [m].

Ecuación para determinar la presión de salida de la bomba

Partiendo de la ecuación 9 y luego de un reordenamiento se obtiene que la presión desarrollada por la bomba puede expresarse como:

$$\Delta P = \left(-\Delta Z - \alpha \frac{\Delta v^2}{2g} - h_p - \frac{W_e}{g} \right) \times \rho \times g \quad (15)$$

Donde:

ΔP = Presión desarrollada por la bomba [m].

ΔZ = Carga de altura [m].

$\alpha \frac{\Delta v^2}{2g}$ = Carga de energía cinética del fluido corregida [m].

h_p = Pérdidas de carga por fricción [m].

ρ = Densidad del fluido [Kg/m^3].

$\frac{W_e}{g}$ = H = Carga o energía por unidad de peso del fluido [m].

2.6 Tiempo de las etapas del proceso térmico

Al tratarse de un proceso en el que las temperaturas de los fluidos al interior y exterior de la marmita permanecen constantes, la transferencia de calor se da en condiciones no estacionarias y además unidimensionales ya que tiene lugar solo en dirección radial. Tomando en consideración lo antes mencionado y debido a que dos fluidos van a estar separados por una pared sólida, se ven involucrados en el proceso los fenómenos de convección al transferirse el calor del fluido caliente hacia la pared, luego por conducción a través de la pared y finalmente por convección de la pared al fluido a calentarse (A. Çengel & J. Ghajar, 2011).

Los parámetros que fueron necesarios tener presente para los cálculos son:

- Área de la superficie interior y exterior de la pared.
- Coeficiente de transferencia de calor convectivo tanto para la superficie interior como para la superficie exterior de la pared.
- Coeficiente total limpio de transferencia de calor.
- Coeficiente total sucio de transferencia de calor.
- Tiempo de calentamiento y enfriamiento de la marmita.

Para la superficie externa (chaqueta) puesto que se da una convección en la que hay ebullición y condensación del vapor de agua, el coeficiente de transferencia de calor está en un rango de 2500 a 100000 W/ m².°C (Ver Tabla 14) y el valor escogido para el desarrollo de este trabajo fue de 8000 W/ m².°C.

Tabla 14 Coeficientes de transferencia típicos de calor por convección

Tipo de convección	h [W/m ² . °C]
Convección libre de gases	2 – 5
Convección libre de líquidos	10 – 100
Convección forzada de gases	25 – 250
Convección forzada de líquidos	50 – 20000
Ebullición y condensación	2500 – 100000

Fuente: (A. Çengel & J. Ghajar, 2011)

Las ecuaciones que permitirán realizar los cálculos para el proceso de transferencia de calor se detallan a continuación. Los subíndices “i”, “o” hacen referencia a la superficie interna y externa respectivamente.

Ecuación para cálculo del área de transferencia de calor

(A. Çengel & J. Ghajar, 2011) menciona, que cuando uno de los fluidos fluye adentro de un tubo circular y el otro afuera de este, la ecuación para hallar el área de transferencia es:

$$A_{o,i} = \pi D_{o,i} L \quad (16)$$

Donde:

A= Área de transferencia de calor [m²].

L= Altura o longitud de la marmita [m].

D= Diámetro [m].

Ecuación para cálculo de Número de Prandtl

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} \quad (17)$$

Donde:

Pr= Número de Prandtl [Adimensional].

C_p= Calor específico [kJ/kg.°C].

μ = Viscosidad del fluido [Pa.s.].

k = Conductividad térmica del material [W/m.°C].

Ecuación para cálculo de Número de Nusselt

El cálculo del número de Nusselt se puede realizar mediante la correlación general que se muestra a continuación:

$$Nu = a Re^b Pr^c \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^m \quad (18)$$

Donde:

Nu= Número de Nusselt [Adimensional].

Re= Número de Reynolds [Adimensional].

Pr= Número de Prandtl [Adimensional].

μ= Viscosidad del fluido a la temperatura del mismo [Pa.s.].

μ_w= Viscosidad del fluido a la temperatura de la pared [Pa.s.].

a, b, c, m = constantes que dependen del tipo de agitador [Adimensional].

Para la transferencia de calor desde o hacia la chaqueta de un tanque con deflectores, puede aplicarse la siguiente ecuación cuando se instala un agitador tipo turbina de palas inclinadas (McCabe et al., 1991).

$$Nu = 0,44 Re^{2/3} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,24} \quad (19)$$

Ecuación para calcular coeficiente de transferencia de calor convectivo

$$h_{o,i} = \frac{Nu_{o,i} k_{o,i}}{D_{o,i}} \quad (20)$$

Donde:

h = Coeficiente de transferencia de calor convectivo [$W/m^2 \cdot ^\circ C$].

Nu = Número de Nusselt [Adimensional].

K = Conductividad térmica del fluido [$W/m \cdot ^\circ C$].

D = Diámetro [m].

Ecuación para calcular coeficiente total limpio de transferencia de calor

Despreciando la formación de suciedad en el equipo debido al uso, se desprecia en los cálculos la resistencia que esta ejerce (Kern Q., 1998).

$$\frac{1}{U_C} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i} \quad (21)$$

Reordenando tenemos:

$$U_C = \frac{h_i h_o}{h_i + h_o} \quad (22)$$

Donde:

U_C = Coeficiente total limpio de transferencia de calor [$W/m^2 \cdot ^\circ C$].

h = Coeficiente de transferencia de calor convectivo [$W/m^2 \cdot ^\circ C$].

Ecuación para calcular coeficiente total sucio de transferencia de calor

La resistencia por suciedad provoca una reducción del coeficiente total de transferencia de calor y a su vez el calor no es totalmente transferido a través de la pared del tanque, por lo se debe considerar en los cálculos un factor de suciedad para asegurar una correcta transferencia de calor (Kern Q., 1998):

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_C} + R_{di} + R_{do} \quad (23)$$

Siendo R_{di} y R_{do} los factores de suciedad para el diámetro interno y externo del tanque respectivamente, al expresarse la suma de estos como R_d tenemos:

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_C} + R_d \quad (24)$$

Donde:

U_D = Coeficiente total sucio de transferencia de calor [$W/m^2 \cdot ^\circ C$].

U_C = Coeficiente total limpio de transferencia de calor [$W/m^2 \cdot ^\circ C$].

R_d = Factor de suciedad [$m^2 \cdot ^\circ C / W$].

El anexo 10 muestra los diferentes valores de R_d para diferentes tipos de fluidos usados en transferencia de calor.

Ecuación para el cálculo de la Media Logarítmica de temperatura

$$LMTD = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} \quad (25)$$

Es decir,

$$LMTD = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)} \quad (26)$$

Donde:

LMTD= Media Logarítmica de temperatura [°C].

T₁=Temperatura final del fluido a calentar dentro del tanque [°C].

t₂= Temperatura final del fluido calefactor en chaqueta [°C].

T₂=Temperatura inicial del fluido a calentar dentro del tanque [°C].

t₁= Temperatura inicial del fluido calefactor en chaqueta [°C].

Ecuación para cálculo de Número de Nusselt para fluido en chaqueta

$$Nu = 0,15 Pr^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\rho g \beta (LMTD)}{\mu^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (27)$$

Donde:

Nu= Número de Nusselt [Adimensional].

Pr= Número de Prandtl [Adimensional].

μ= Viscosidad del fluido a enfriar [Pa.s].

ρ= Densidad del fluido a enfriar [Kg/m³].

β = Coeficiente de expansión térmica [1/°C].

LMTD = Media Logarítmica de temperatura [°C].

g= Gravedad [m/s²].

Ecuación para cálculo del tiempo de calentamiento

En un tanque enchaquetado con medio calefactor isotérmico (vapor de agua), la ecuación para determinar el tiempo de calentamiento es (Kern Q., 1998):

$$\ln\left(\frac{T_1 - t_1}{T_1 - t_2}\right) = \frac{U \cdot A_s}{M \cdot C_p} \theta \quad (28)$$

Donde:

T₁= Temperatura del fluido calefactor [°C].

t₁= Temperatura inicial del fluido a calentar (bebida) [°C].

t₂= Temperatura final del fluido a calentar (bebida) a un tiempo dado [°C].

U = Coeficiente total (sucio) de transferencia de calor [$W/m^2 \cdot ^\circ C$].
 A_s = Área de transferencia de calor [m^2].
 Θ = Tiempo [s].
 M = Masa del líquido contenido en el tanque [kg].
 C_p = Calor específico del líquido a calentar [$J/kg \ ^\circ C$].

Ecuación para cálculo del tiempo de enfriamiento

Para un tanque enchaquetado con un medio enfriante no isotérmico (agua), la ecuación para la determinar del tiempo de enfriamiento es (Kern Q., 1998):

$$\ln \left(\frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_1} \right) = \frac{W C_{pfe}}{M \cdot C_{pfc}} \left(\frac{k_2 - 1}{k_2} \right) \theta \quad (29)$$

Donde:

T_1 = Temperatura inicial del fluido a enfriar [$^\circ C$].
 t_1 = Temperatura del fluido de enfriamiento [$^\circ C$].
 T_2 = Temperatura final del fluido a enfriar a un tiempo dado [$^\circ C$].
 W = Flujo del fluido de enfriamiento [kg/s].
 U = Coeficiente total de transferencia de calor [$W/m^2 \cdot ^\circ C$].
 A_s = Área de transferencia de calor [m^2].
 Θ = Tiempo [s].
 M = Masa del líquido contenido [kg].
 C_{vfe} = Calor específico del fluido de enfriamiento [$J/kg \ ^\circ C$].
 C_{vfc} = Calor específico del fluido a enfriar [$J/kg \ ^\circ C$].
 k_2 = Constante [Adimensional].

Ecuación para el cálculo de K_2 para el cálculo del tiempo de enfriamiento

El valor de la constante K_2 se obtiene de la siguiente manera (Kern Q., 1998):

$$K_2 = e^{\frac{U \cdot A}{W \cdot C_{pfc}}} \quad (30)$$

Donde:

K_2 = constante [Adimensional].
 U = Coeficiente total (sucio) de transferencia de calor [$W/m^2 \cdot ^\circ C$].
 A = Área de transferencia de calor [m^2].
 W = Flujo del fluido de enfriamiento [kg/s].
 C_p = Calor específico del agua saturada [$J/kg \ ^\circ C$].

Las Tablas 15, 16, 17 y 18 mostradas a continuación, especifican información de los parámetros de los fluidos en el interior y exterior del tanque para las etapas de calentamiento y enfriamiento. Las propiedades termofísicas de la bebida fueron obtenidas a partir de las ecuaciones de Choi y Okos.

Tabla 15 Parámetros de la bebida en el tanque en fase de calentamiento

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen	0,8	[m ³]
T° Inicial	30	[°C]
T° final	65,5	[°C]
C _p	3061,861	[J/kg °C]
k	0,5529	[W/m.°C]
μ	0,0004301	[Pa.s.]
ρ	1135,8018	[kg/m ³]
Rd	0,0009	[m ² °C/W]
μ/ μ _o	1	Adimensional

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16 Parámetros de la bebida en el tanque en fase de enfriamiento

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen	0,8	[m ³]
T° Inicial	65,5	[°C]
T° final	30	[°C]
C _p	3050,657	[J/kg °C]
k	0,5146	[W/m.°C]
μ	0,000798	[Pa.s.]
ρ	1147,9478	[kg/m ³]
Rd	0,00053	[m ² °C/W]
μ/ μ _o	1	Adimensional

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17 Parámetros del fluido en chaqueta en fase de calentamiento

Parámetro	Valor	Unidad
T°	80	[°C]
Rd	0,00053	[m ² °C/W]
h _o	8000	[W/ m ² °C]
μ/ μ _o	1	Adimensional

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18 Parámetros del fluido en chaqueta en fase de enfriamiento

Parámetro	Valor	Unidad
T° Inicial	25	[°C]
T° final	40	[°C]
W	1,4	[m ³ /s]
C _p	4180	[J/kg °C]
k	0,607	[W/m.°C]
μ	0,000891	[Pa.s.]
ρ	997	[kg/m ³]
β	0,000247	1/°C
Rd	0,00053	[m ² °C/W]
μ/ μ _o	1	Adimensional

Fuente: Elaboración Propia

2.7 Flujo de vapor y combustible requerido

2.7.1 Cálculos para la determinación del consumo de diésel de la caldera

Para el cálculo se consideró la caldera como un sistema en estado estacionario. Las ecuaciones usadas se detallan a continuación:

Ecuación para el cálculo del calor requerido por el producto

$$Q_{Producto} = m C_p \Delta T \quad (31)$$

Donde:

$\dot{Q}_{Producto}$ = Flujo de calor del producto [kcal/min].

m= Masa del fluido en el tanque [kg].

C_p = Calor específico de la bebida en fase de calentamiento [J/kg °C].

T_2 = Temperatura final del fluido en el tanque [°C].

T_1 = Temperatura inicial del fluido en el tanque [°C].

Para obtener el flujo de calor requerido por el producto se consideró el tiempo de calentamiento. Además, se estimó un requerimiento adicional del 10% de vapor en el tratamiento térmico antes de la etapa de enfriamiento.

Ecuación para el cálculo del flujo de diésel consumido

Dada la condición estacionaria del sistema, el cambio del flujo de energía será cero y puede expresarse de la siguiente manera:

$$\dot{Q}_{Producto} = \dot{Q}_{caldera} (\varepsilon) \quad (32)$$

Al expresar el flujo de calor de la caldera en función del flujo de diésel y su poder calorífico, tenemos que:

$$\dot{Q}_{Producto} = \dot{m}_{diésel} (PCI) (\varepsilon) \quad (33)$$

Y al realizar un reordenamiento se obtiene:

$$\dot{m}_{diésel} = \frac{\dot{Q}_{Producto}}{(PCI) (\varepsilon)} \quad (34)$$

Donde:

$\dot{Q}_{Producto}$ = Flujo de calor del producto [kcal/min].

$\dot{m}_{diésel}$ = Flujo másico del diésel consumido [kg/s].

PCI= Poder calorífico inferior del diésel [kcal/kg].

ε = Efectividad [Adimensional].

La efectividad puede tomar valores entre 0 y 1 (A. Çengel & J. Ghajar, 2011). En este trabajo se consideró una efectividad del caldero de 0,8.

2.7.2 Cálculos para determinar el flujo de vapor requerido por el tanque

Para realizar los cálculos se considera que el proceso se lleva a cabo en estado estacionario. Las ecuaciones a utilizar se detallan a continuación:

Ecuación para el cálculo del calor cedido por el vapor

La energía necesaria para el calentamiento del producto se detalla en la siguiente igualdad (Manrique, 2011):

$$Q_{cedido\ vapor} = Q_{absorbido\ producto} \quad (35)$$

Siendo;

$$Q_{absorbido\ producto} = V \rho c_p (T_2 - T_1) \quad (36)$$

Donde:

$Q_{absorbido\ producto}$ = Cantidad de calor absorbida por el producto [J].

V = volumen del tanque [m^3].

ρ = Densidad del fluido en el tanque en fase de calentamiento [kg/m^3].

C_p = Calor específico del fluido en el tanque [$J/kg\ ^\circ C$].

T_2 = Temperatura final del fluido en el tanque [$^\circ C$].

T_1 = Temperatura inicial del fluido en el tanque [$^\circ C$].

El volumen del tanque será hallado mediante la siguiente ecuación:

Ecuación para el cálculo del volumen del tanque

$$V_{tanque} = \pi r_i^2 h \quad (37)$$

Donde:

V_{tanque} = Volumen del tanque [m^3].

r_i = Radio interno del tanque [m].

h = Altura del líquido en el interior del tanque [m].

A partir de la ecuación 35 se obtiene el calor cedido por el vapor, que es posible expresar como tasa o flujo tomando en cuenta el tiempo de calentamiento.

Ecuación para el cálculo del flujo de vapor requerido

El flujo de calor cedido también puede expresarse de la siguiente manera (Manrique, 2011):

$$\dot{Q}_{cedido\ vapor} = \dot{m}_{vapor} \Delta h_{vapor} \quad (38)$$

Y al realizar un reordenamiento se obtiene:

$$\dot{m}_{vapor} = \frac{\dot{Q}_{cedido\ vapor}}{\Delta h_{vapor}} \quad (39)$$

Donde:

\dot{m}_{vapor} = Flujo másico de vapor requerido [Kg/s].

$\dot{Q}_{cedido\ vapor}$ = Flujo de calor cedido por el vapor de agua [J/s] o [Watt].

Δh_{vapor} = Entalpía del vapor de agua [J/Kg].

Dada la igualdad entre el flujo de calor cedido por el vapor y el flujo de calor absorbido por el producto, para poder seleccionar la caldera se consideró un 10% de pérdidas por radiación.

2.8 Equipos seleccionados

Se realizó la búsqueda de los equipos propuestos, considerando que cumplan con los requerimientos anteriormente calculados.

2.9 Caracterización del producto final

2.9.1 Valoración del producto

El producto final fue valorado mediante la elaboración del semáforo nutricional bajo la norma ecuatoriana de Rotulado RTE-INEN 022, la cual menciona el uso de la tabla mostrada en el anexo 11 acorde a los niveles permitidos de azúcar, grasas y sal.

2.9.2 Etiqueta y envase

Considerando los requisitos establecidos por las normas de etiquetado, se elaboró la etiqueta del producto final en la que también se incluye la valoración descrita en el epígrafe anterior. Por otro lado, se estableció el tipo de envase a utilizar para la bebida, considerando la presentación en la que será comercializada.

2.10 Estimación de Costos

Para obtener una estimación aproximada de los costos del producto se tomó en cuenta los criterios de materia prima en base a la formulación establecida, equipos de acuerdo a los requerimientos del proceso, sueldo de trabajadores y costos energéticos que serán detallados en el capítulo 3.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

En el presente capítulo se muestran los resultados, del análisis de parámetros físico-químicos, del análisis estadístico del diseño experimental y análisis sensorial para la selección de la fórmula final además de los análisis microbiológicos, el estudio de penetración de calor y finalmente la selección de equipos en base a la producción estipulada; tomando en consideración que estas pruebas fueron planteadas en cada uno de los epígrafes del capítulo 2.

3.1 Formulación

3.1.1 Fórmulas propuestas

El diseño experimental generó 10 fórmulas que se detallan en la tabla 19, donde el contenido de agua, dextrosa y ácido es variable mientras el resto de componentes de la formulación fueron establecidas en cantidades fijas y no se consideraron para el diseño experimental.

Tabla 19 Formulaciones propuestas para la bebida

Materia Prima Fórmulas	Agua %	Dextrosa %	Ácido Cítrico %	Saborizante %	Colorante %	Sorbato de potasio %
1	74,5655	25	0,34	0,042	0,0025	0,05
2	73	26,5655	0,34	0,042	0,0025	0,05
3	73	25	1,9055	0,042	0,0025	0,05
4	73,5218	26,0437	0,34	0,042	0,0025	0,05
5	73,5218	25	1,3837	0,042	0,0025	0,05
6	73	25,5218	1,3837	0,042	0,0025	0,05
7	74,0437	25,5218	0,34	0,042	0,0025	0,05
8	74,0437	25	0,8618	0,042	0,0025	0,05
9	73	26,0437	0,8618	0,042	0,0025	0,05
10	73,5218	25,5218	0,8618	0,042	0,0025	0,05

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Caracterización Físico-Química de fórmulas propuestas

Para cada una de las fórmulas o corridas generadas por el diseño experimental, el análisis de los parámetros físico-químicos (°Brix, pH y acidez titulable) dio como resultado los valores que son detallados en la tabla 20.

Tabla 20 Resultados del análisis Físico-Químico de las fórmulas propuestas

Fórmulas Generadas	Materias Primas (Variables Independientes)			Parámetros Físico-Químicos (Variables Respuesta)		
	% Agua	% Dextrosa	% Ácido Cítrico	°Brix	pH	Acidez Titulable
1	74,5655	25	0,34	23,6	2,241	1,210
2	73	26,5655	0,34	24,2	2,261	0,899
3	73	25	1,9055	24,6	1,891	5,586
4	73,5218	26,0437	0,34	24,2	2,227	0,755
5	73,5218	25	1,3837	24,4	1,948	4,364
6	73	25,5218	1,3837	24,6	1,931	4,565
7	74,0437	25,5218	0,34	23,6	2,215	0,954
8	74,0437	25	0,8618	23,8	2,038	2,755
9	73	26,0437	0,8618	24,6	2,011	3,060
10	73,5218	25,5218	0,8618	25	2,019	2,942

Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Análisis del diseño experimental

Empleando un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0,05$) se realizó el análisis de cada variable respuesta para obtener modelos puntuales que describan su comportamiento y poder determinar la fórmula final de la bebida. Dicho análisis inicia con un análisis de varianza, cuyos resultados se muestran a continuación:

A	ANOVA; Var.:°Brix (Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=,99906, 10 Runs Sequential fit of models of increasing complexity										
	Model	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	df Error	MS Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr Adjusted
	Linear	1,264000	2	0,632000	0,740000	7	0,105714	5,978378	0,030596	0,630739	0,525235
	Total Adjusted	2,004000	9	0,222667							
B	ANOVA; Var.:pH (Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=,99906, 10 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)										
	Model	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	df Error	MS Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr Adjusted
	Quadratic	0,017421	2	0,008710	0,002046	5	0,000409	21,28952	0,003580	0,988887	0,979996
	Total Adjusted	0,184076	9	0,020453							
C	ANOVA; Var.:Acidez Titulable (Spreadsheet1) 3 Factor mixture design; Mixture total=,99906, 10 Runs (Some terms were excluded from the respective full models)										
	Model	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	df Error	MS Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr Adjusted
	Quadratic	0,43213	1	0,43213	0,112857	6	0,018809	22,9742	0,003022	0,995829	0,993744
	Total Adjusted	27,05914	9	3,00657							

Figura 5 Análisis de Varianza (ANOVA)

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 5 se muestra la tabla ANOVA de las variables respuesta, en la cual se puede observar que para la variable °Brix (A) el modelo que se ajusta es lineal con un valor $R^2_{ajustado} = 0,5252$, mientras que para las variables pH (B) y acidez titulable (C) el modelo de mejor ajuste es cuadrático con un $R^2_{ajustado} = 0,9799$ y $R^2_{ajustado} = 0,9937$, respectivamente. Así mismo podemos decir que existe una relación estadísticamente significativa (valor $p < 0,05$) con un intervalo de confianza del 95%, entre la cantidad de materias primas y cada parámetro físico-químico analizado.

Con el objetivo de establecer un modelo que describa el comportamiento de las variables respuesta en la formulación final, se realizó un diagrama de Pareto para priorizar los términos que tienen efecto significativo sobre dichas variables y cuyos coeficientes fueron incluidos en los modelos. La figura 6 muestra los diagramas de Pareto correspondientes a °Brix (a), pH (b), y acidez titulable (c), en los que se puede observar que para los términos de mayor priorización la barra sobrepasa la línea de referencia, indicando que tienen efecto significativo sobre la variable respuesta.

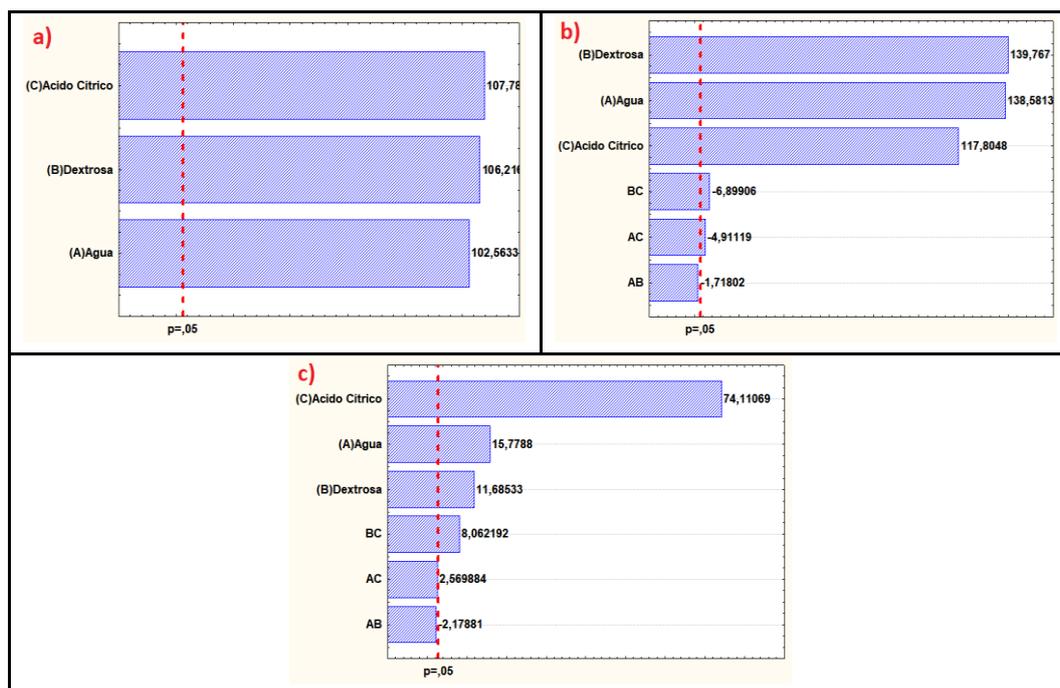


Figura 6 Diagrama de Pareto cada variable respuesta

Fuente: Elaboración Propia

De los análisis realizados se obtuvieron los modelos representados por las ecuaciones de la tabla 21. Cada uno de estos modelos cumple con los supuestos de ANOVA, por lo tanto, se puede concluir que son adecuados.

Tabla 21 Modelos matemáticos de las variables respuesta

Parámetro	Ecuación
°Brix	$23,58*(A) + 24,42*(B) + 24,78*(C)$
pH	$2,224*(A) + 2,243*(B) + 1,902*(C) - 0,331*(A*C) - 0,473*(B*C)$
Acidez titulable	$1,202*(A) + 0,781*(B) + 5,70*(C) + 2,673*(B*C)$

Nota: A, B, C simboliza las concentraciones de Agua, Dextrosa y Ácido cítrico respectivamente

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente se realizaron gráficas de contorno que permitieron conocer la relación existente entre las tres variables independientes y cada parámetro físico-químico analizado.

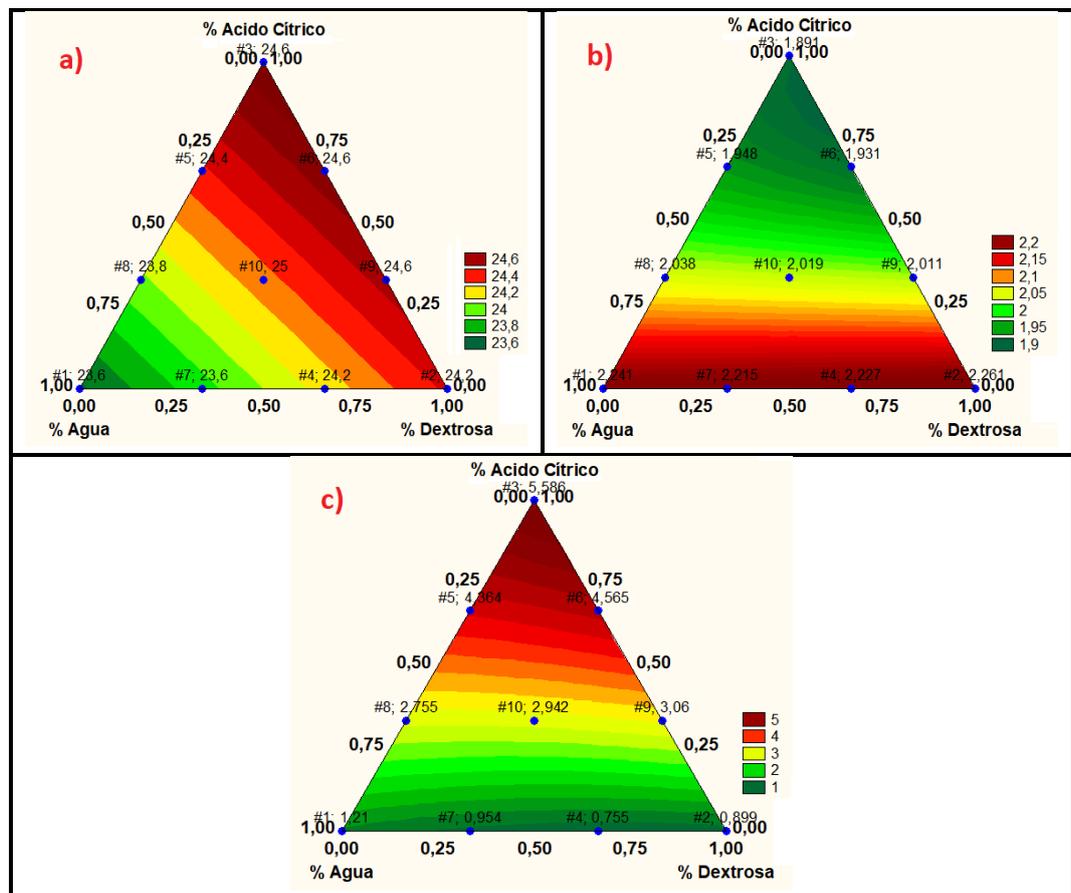


Figura 7 Gráficas de contorno de cada variable respuesta

Fuente: Elaboración Propia

En las gráficas de contorno de °Brix (a), pH (b) y acidez titulable (c) de la figura 7 se observa que las áreas oscuras se relacionan al incremento del valor de cada variable. Por lo que, en las gráficas a) y c) tanto °Brix como acidez titulable aumentan conforme el % Agua disminuye y los valores de % Dextrosa y % ácido cítrico aumentan; mientras que a partir de la gráfica b) el valor de pH se ve incrementado a medida que % Ácido Cítrico disminuye y los valores de % de Agua y % Dextrosa aumentan.

Finalmente, para la preselección de fórmulas se usó un perfil de deseabilidad de respuesta, estableciendo un valor bajo, medio y alto de cada variable dependiente con su respectivo puntaje de deseabilidad que varía desde 0 para valores indeseables hasta 1 para valores muy deseables. (Ver Tabla 22).

Tabla 22 Especificaciones de perfil de deseabilidad de respuesta

Niveles	Parámetros Físico-Químicos (Variables Dependientes)			Puntaje de Deseabilidad		
	°Brix	pH	Acidez Titulable	°Brix	pH	Acidez Titulable
Bajo	23,6	1,891	0,75476	0	0	1
Medio	24,2	2,076	0,89901	1	0,5	0,5
Alto	25	2,227	5,58555	0,5	1	0

Fuente: Elaboración propia

Las consideraciones antes mencionadas dieron como resultado el perfil de deseabilidad que se muestra en la figura 8.

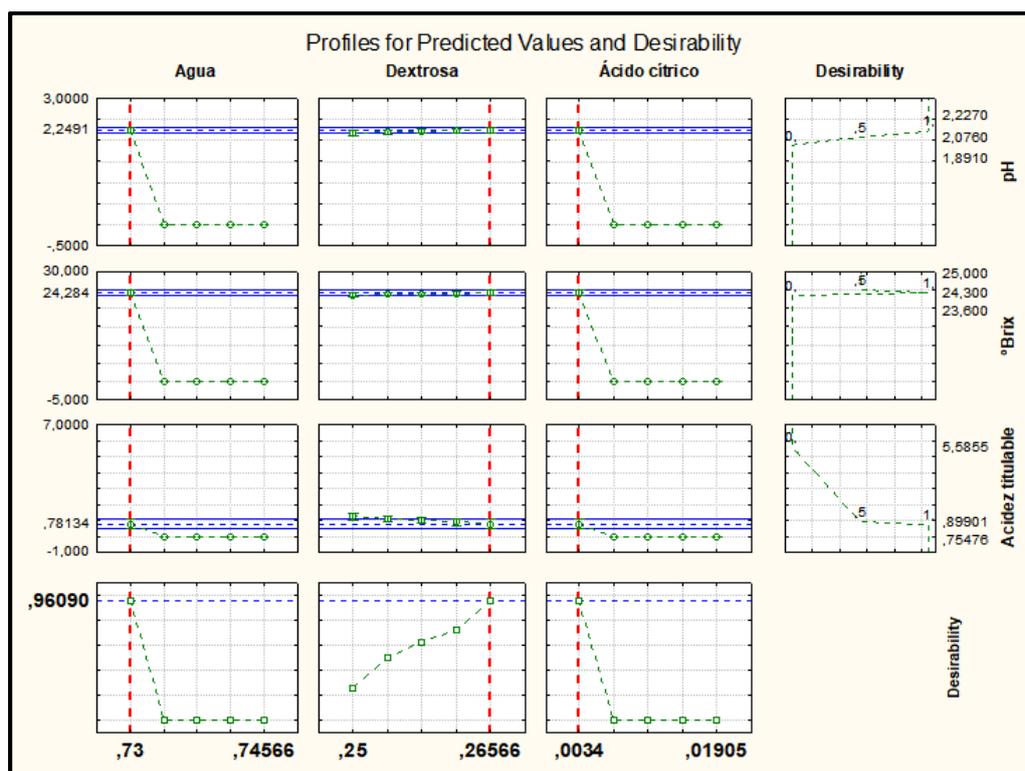


Figura 8 Perfil de deseabilidad de respuesta

Fuente: Elaboración Propia

El perfil de deseabilidad mostrado en la figura 8 indica que con un nivel de deseabilidad de 0,96 la fórmula a preseleccionar está representada por el tratamiento 2 del diseño experimental. Sin embargo, dentro del mismo existe otra fórmula con similar composición (tratamiento 4), por lo que ambas fórmulas fueron consideradas (ver tabla 23) en la posterior

evaluación sensorial para determinar la más aceptable y de mayor preferencia para luego realizar los análisis microbiológicos.

Tabla 23 Composición y perfil físico-químico de fórmulas pre-seleccionadas

Fórmula	% Agua	% Dextrosa	% Ácido Cítrico	°Brix	pH	Acidez titulable
2	73	26,5655	0,34	24,2	2,261	0,899
4	73,5218	26,0437	0,34	24,2	2,227	0,755

Fuente: Elaboración propia

3.2 Evaluación Sensorial

La codificación que le correspondió a cada fórmula preseleccionada de la tabla 23 es la que se presenta en la tabla 24.

Tabla 24 Codificación asignada a las muestras a evaluar

CÓDIGO	FÓRMULA
J47	2
G83	4

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1 Análisis estadístico de la evaluación sensorial

El análisis estadístico inició con un test de normalidad de Anderson-Darling con un nivel de confianza del 95% para las respuestas de cada atributo en cada muestra, que permitió decidir en base al valor p el tipo de prueba paramétrica o no paramétrica a usar en análisis posteriores, para lo cual se establecieron las hipótesis que se muestran en la tabla 25.

Tabla 25 Hipótesis para test de normalidad

Hipótesis	
H₀	Los datos siguen una distribución normal
H₁	Los datos no siguen una distribución normal

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 26 se presentan los resultados del test de normalidad.

Tabla 26 Valor P de los resultados de cada atributo en cada muestra

Parámetro	Valor P Muestra J47	Valor P Muestra G83
Color	<0,005	<0,005
Aroma	<0,005	0,011
Sabor	<0,005	<0,005
Dulzor	<0,005	0,012

Fuente: Elaboración Propia

Dado que los valores P obtenidos para cada atributo en ambas muestras son menores a 0,05 se rechaza la hipótesis nula (h₀) y se puede decir que

existe suficiente evidencia estadística que indica que los datos no siguen una distribución normal. Por lo tanto, fue necesario emplear la prueba no paramétrica de Mann Whitney con un nivel de confianza del 95% entre cada atributo en ambas muestras para comprobar las hipótesis detalladas en la tabla 27 y cuyos resultados se muestran en la tabla 28.

Tabla 27 Hipótesis para prueba de Mann Whitney

Hipótesis	
H₀	No existen diferencias significativas entre los atributos de ambas muestras
H₁	Existen diferencias significativas entre los atributos de ambas muestras

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 28 Valores P obtenidos de la prueba de Mann Whitney

Parámetro	Valor P
Color	0,3491
Aroma	0,0530
Sabor	0,4231
Dulzor	0,5861

Fuente: Elaboración Propia

Dado que los valores P obtenidos de la comparación de atributos entre ambas muestras son mayores a 0,05 no se rechaza la hipótesis nula (h_0), y se puede decir que existe suficiente evidencia estadística que indica que no existen diferencias significativas entre los atributos de ambas muestras.

El nivel de aceptación de cada atributo en las muestras se midió usando el criterio de medianas, cuyos resultados se presentan en las tablas 29 y 30.

Tabla 29 Criterio de medianas para medir nivel de aceptación muestra J47

Parámetro	Criterio de Mediana	Resultado en Escala de Aceptación
Color	5	Me gusta ligeramente
Aroma	6	Me gusta moderadamente
Sabor	5	Me gusta ligeramente
Dulzor	5	Me gusta ligeramente

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 30 Criterio de Medianas para medir nivel de aceptación muestra G83

Parámetro	Criterio de Mediana	Resultado en Escala de Aceptación
Color	6	Me gusta moderadamente
Aroma	5	Me gusta ligeramente
Sabor	5	Me gusta ligeramente
Dulzor	5	Me gusta ligeramente

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente se determinó el valor mínimo X requerido para preferencia significativa a partir de la tabla mostrada en el anexo 2 para 30 panelistas y se lo comparó con el número de personas que prefieren la muestra J47

sobre la muestra G83 para conocer cuál es preferida. Las hipótesis y datos necesarios para esta prueba se muestran en las tablas 31 y 32.

Tabla 31 Hipótesis para prueba de preferencia

Hipótesis	
H ₀	No existe preferencia significativa de la muestra J47 sobre la muestra G83
H ₁	Existe preferencia significativa de la muestra J47 sobre la muestra G83

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 32 Datos para prueba de preferencia

N° Total panelistas	Valor X de tabla	N° panelistas que prefieren muestra J47
30	21	16

Fuente: Elaboración Propia

Dado que el valor X de tabla es mayor que el número de personas que prefieren la muestra J47 no se rechaza la hipótesis nula (H₀), por lo que se puede decir que hay suficiente evidencia estadística que indica que no existe preferencia significativa de la muestra J47 sobre la G83 con un nivel de confianza del 95%, siendo escogida la fórmula J47 como fórmula final.

3.3 Caracterización microbiológica del producto final

Los análisis microbiológicos se llevaron a cabo a partir de dos muestras de 450 ml, y sus resultados son detallados en la tabla 33.

Tabla 33 Resultados del análisis microbiológico de producto terminado

Ensayo realizado	Unidad	Resultado	Requisitos
<i>Coliformes totales</i>	NMP/ml	<3 (Ausencia)	--
<i>E. coli</i>	UFC/100 mL	<1.0	0
<i>Mohos</i>	UFC/mL	<1.0	--
Aerobios mesófilos	UFC/mL	<1.0	25
<i>Pseudomona aeuroginosa</i>	UFC/100 mL	<1.0	0
<i>Vibrio spp.</i>	Ausencia/Presencia	AUSENCIA	--

Fuente: Elaboración Propia

Al comparar los resultados de la tabla 33 para *E. coli*, Aerobios mesófilos y *Pseudomona aeuroginosa* con los requisitos microbiológicos de la noma NTE INEN 2200 se verifica el cumplimiento de los requisitos que esta establece. Con respecto al resto de microorganismos, los resultados indican su ausencia, lo cual permite concluir que la bebida está libre de patógenos y es apta para el consumo humano.

El informe de los análisis microbiológicos antes descritos emitido por laboratorios PROTAL se muestra en el anexo 12.

3.4 Estudio de Penetración de Calor

3.4.1 Selección del Microorganismo más termorresistente

La tabla 34 muestra los valores de termorresistencia y tiempo de reducción decimal de cada microorganismo que podría proliferar en la bebida.

Tabla 34 Valores de Z y D de los microorganismos de estudio

Microorganismo	D60°C(min)	Z(°C)	Z(°F) = 1,8 x Z(°C)
<i>Vibrio cholerae</i>	0,63	17	30,6
<i>Escherichia coli</i>	1,32	5	9
<i>Pseudomona aeuroginosa</i>	3,2	7,5	13,5
Mohos	0,40	4,4	7,92

Fuente:(Rienmann & Cliver, 2006; Vanaclocha & Requena, 2003)

Según la tabla 34, el microorganismo más termorresistente es *Vibrio cholerae* ya que presenta el mayor valor Z, por lo que la validación del tratamiento térmico se hizo en función de este microorganismo.

3.4.2 Determinación del tiempo de muerte térmica objetivo

Tiempo de reducción decimal

Considerando un valor $D_{60^{\circ}\text{C}}=0,63$ min se determinó el valor D a la temperatura de referencia ($65,5^{\circ}\text{C}$) correspondiente a *Vibrio Cholerae*.

$$D_T = D_o \times 10^{\frac{T_o - T_T}{Z}} \quad (1)$$

$$D_{149,9^{\circ}\text{F}} = 0,63 \times 10^{\frac{140^{\circ}\text{F} - 149,9^{\circ}\text{F}}{30,6}}$$

$$D_{149,9^{\circ}\text{F}} = 0,30 \text{ min}$$

Tiempo de muerte térmica objetivo

Se considera un $v_s=5$ y el valor $D_{65,5^{\circ}\text{C}}=0,30$ min por lo tanto F_o es:

$$F_o = V S D_T \quad (2)$$

$$F_o = 5 \times 0,30 \text{ min}$$

$$F_o = 1,5 \text{ min}$$

3.4.3 Determinación del tiempo de muerte térmica del proceso

Los perfiles de tiempo y temperatura de la fase de calentamiento del proceso térmico que fueron luego usados para su validación se detallan en

el anexo 13, en el que se puede observar que el tiempo de retención es de 2 minutos. Por otro lado, los valores correspondientes a los perfiles de tiempo y temperatura de la etapa de enfriamiento, son detallados en la tabla mostrada en el anexo 14.

A partir de los perfiles de tiempo y temperatura de la tabla del anexo 13, mediante el método general aplicando la ecuación 3 y considerando el valor z del microorganismo seleccionado y la temperatura de referencia de $65,5^{\circ}\text{C}$, se obtuvo como resultado los niveles de letalidad (L) y letalidad promedio (\bar{L}) que se detallan en la tabla mostrada en el anexo 15, en la que adicionalmente se muestran los valores $(\bar{L})\Delta\theta$ que fueron usados para la posterior determinación del tiempo de muerte térmica del proceso.

Los valores de letalidad correspondientes a la etapa de enfriamiento son detallados en el anexo 16.

Tiempo de muerte térmica del proceso

Tomando en consideración los valores de $(\bar{L})\Delta\theta$ del anexo 15 se tiene que:

$$F_{T\text{proceso}} = \sum (\bar{L})\Delta\theta \quad (4)$$

$$F_{T\text{proceso}} = 3,07 \text{ min}$$

3.4.4 Validación del proceso térmico

La validación se llevó a cabo mediante la comparación entre el F_0 y F_T , dando como resultado los valores de la tabla 35.

Tabla 35 Validación térmica del proceso térmico

Criterio	Comparación	Estado
$F_T > F_0$	$3,07 > 1,5$	Sobreprocesado

Fuente: Elaboración propia

Con los valores de tiempo (seg), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y letalidad de las tablas mostradas en el anexo 13 y 14 se elaboró la curva mostrada en la figura 9, que describe el comportamiento de las letalidades durante el proceso térmico, y en la que el F_T del proceso se representa como el área bajo la curva de letalidades.

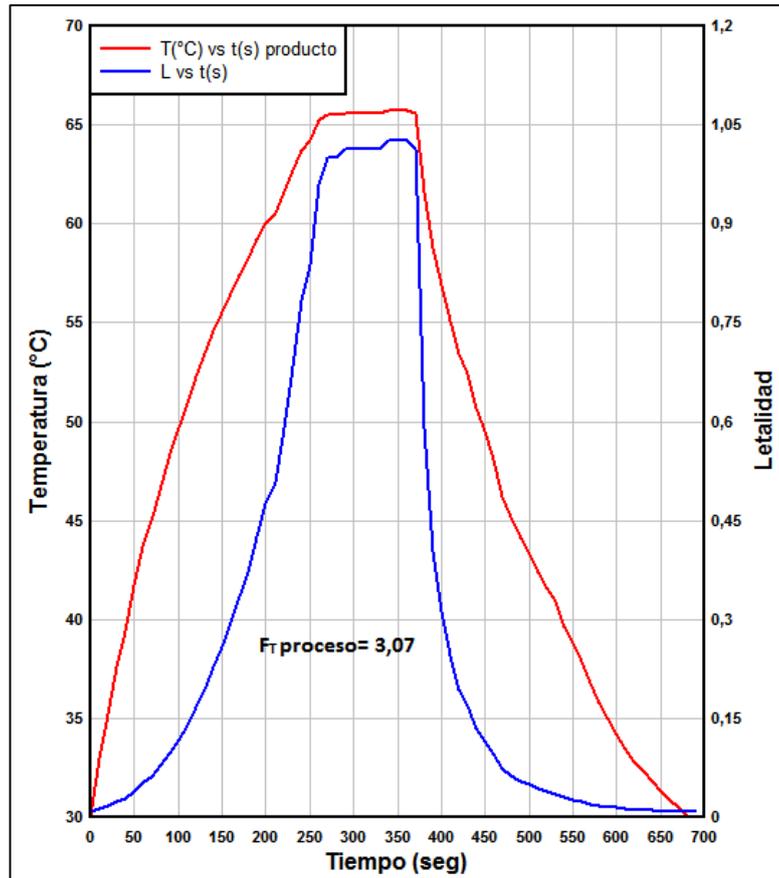


Figura 9 Curva de letalidades

Fuente: Elaboración Propia

3.5 Selección de Equipos

3.5.1 Dimensionamiento de tanque y agitador

Aplicando los criterios mencionados en la tabla 9 del capítulo 2 se realizó el dimensionamiento del tanque y agitador propuesto, dando como resultado las dimensiones que se muestran en la tabla 36 y tabla 37 respectivamente.

Tabla 36 Dimensiones del tanque

Dimensión	N° Criterio	Criterio	Valores	Respuesta
Espesor de deflectores	5	$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$	$J = \frac{1,1}{12}$	J= 0,092 m
Altura del líquido dentro del tanque	8	$\frac{H}{D_t} = 1$	$H = 1 \times 1,1$	H= 1,1 m

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 37 Dimensiones del agitador

Dimensión	N° Criterio	Criterio	Valores	Respuesta
Diámetro	1	$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3}$	$D_a = \frac{1,1}{3}$	D _a = 0,366 m
Altura desde el fondo del tanque	2	$\frac{E}{D_a} = 1$	$E = 1 \times 0,366$	E= 0,366 m
Ancho de palas	4	$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$	$W = \frac{0,366}{5}$	W= 0,073 m
Longitud de palas	6	$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$	$L = \frac{0,366}{4}$	L= 0,092 m

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2 Determinación de potencia requerida por el motor del agitador

Se consideraron los parámetros a la temperatura de 65,5°C dado que representan el caso extremo para el cual el motor debe tener capacidad.

Los cálculos realizados se muestran en el anexo 17, e indican que el motor del agitador requiere una potencia de 0,0042 Hp considerando un 85% de eficiencia.

3.5.3 Determinación de potencia y presión de salida de Bomba centrífuga

Para determinar la potencia de la bomba es necesario conocer previamente el valor de la carga o energía por unidad de peso del fluido (H), el cual fue hallado mediante la secuencia de cálculos que detallan en el anexo 18.

Potencia requerida para el bombeo

$$P = \dot{m} \times g \times H \quad (14)$$

$$P = \left(0,0000472 \frac{m^3}{s} \times 1147,947 \frac{Kg}{m^3} \right) \times \left(9,81 \frac{m}{s^2} \right) \times (1,12 m)$$

$$P = 0,60 \text{ Watts} = 0,0008 \text{ HP}$$

Previo al cálculo de la presión de salida de la bomba se seleccionó un nuevo sistema, el cual fue considerado a partir de la salida de la bomba hasta la llenadora. Por tal motivo fue necesario recalcular las pérdidas por fricción (h_p) debido a que la longitud de la tubería y el número de accesorios involucrados no es igual que el considerado para el cálculo de la potencia. En el anexo 19 se detalla el recálculo antes descrito.

Presión de salida de la bomba

Tomando como nivel de referencia la parte más baja del sistema (lugar de la bomba) y considerando que la posición 1 está ubicada justo a la salida de la bomba, la altura en este punto es cero y el trabajo es nulo, siendo $W_e=0$. La posición 2 se ubica en la superficie del líquido en la llenadora, en este punto la presión es cero y la velocidad se desprecia ya que el diámetro de la llenadora es mucho mayor al de la tubería.

$$\Delta P = \left(-\Delta Z - \alpha \frac{\Delta v^2}{2g} - h_p - \frac{W_e}{g} \right) \times \rho \times g \quad (15)$$

Por lo antes mencionado,

$$-P_1 = \left(-Z_2 + \alpha \frac{V_1^2}{2g} - hp \right) \times \rho \times g$$

$$-P_1 = \left(-2,4 \text{ m} + (1,122) \frac{\left(0,24 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} - 0,26 \text{ m} \right) \times 1147,947 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_1 = 29918,12 \text{ Pa} = 29.91812 \text{ kPa}$$

3.6 Determinación del tiempo de las etapas del proceso térmico

En todos los cálculos se considera el uso de vapor de agua y agua líquida a temperatura ambiente para las etapas de calentamiento y enfriamiento respectivamente. Las propiedades termofísicas de la bebida y del fluido en chaqueta necesarias, se muestran en las tablas 15, 16, 17 y 18.

3.6.1 Determinación del tiempo de calentamiento

Para determinar el tiempo de calentamiento del proceso térmico es necesario conocer previamente el valor del coeficiente total de transferencia de calor (U), el cual fue hallado mediante la secuencia de cálculos que detallan en el anexo 20.

Tiempo de calentamiento

El medio calefactor tuvo una temperatura de 80°C y llevará la bebida desde los 30°C hasta los 65,5°C para cumplir con el proceso de pasteurización.

$$\ln \left(\frac{T_1 - t_1}{T_1 - t_2} \right) = \frac{U \cdot A_s \cdot \theta}{M \cdot C_p} \quad (28)$$

$$\theta = \left(\frac{\ln \left(\frac{80^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}}{80^{\circ}\text{C} - 65,5^{\circ}\text{C}} \right)}{\frac{\left(559,428 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}} \right) \times (4,561 \text{ m}^2)}{(908,641 \text{ kg}) \times \left(3061,861 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \right)}} \right) = 1349,56 \text{ s}$$

$$\theta = 22,49 \text{ min}$$

Por lo tanto, para el calentamiento se requieren aproximadamente 22 min.

3.6.2 Determinación de tiempo de enfriamiento

Para determinar el tiempo de enfriamiento del proceso térmico es necesario conocer previamente el valor del coeficiente total de transferencia de calor (U) y la constante k_2 , los cuales fueron hallados mediante la secuencia de cálculos que detallan en el anexo 21.

Tiempo de enfriamiento

El medio de enfriamiento tendrá una temperatura de 25°C y llevará a la bebida desde los $65,5^{\circ}\text{C}$ hasta los 30°C .

$$\ln \left(\frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_1} \right) = \frac{W C_{pfe} (k_2 - 1)}{M \cdot C_{pfc} k_2} \theta \quad (29)$$

Por lo tanto;

$$\theta = \left(\frac{\ln \left(\frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_1} \right)}{\frac{W C_{pfe} (k_2 - 1)}{M \cdot C_{pfc} k_2}} \right)$$

$$\theta = \left(\frac{\ln \left(\frac{65,5^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}}{30^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}} \right)}{\frac{\left(1,4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \times \left(4180 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \right)}{\left(918,358 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \times \left(3050,657 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \right)} \times \left(\frac{1,23 - 1}{1,23} \right)} \right) = 5315,820 \text{ s}$$

$$\theta = 88,60 \text{ min}$$

Por lo tanto, para el enfriamiento de la bebida se requieren aproximadamente 89 min.

3.7 Flujo de vapor y combustible requeridos

El combustible de la caldera es Diésel y su poder calorífico es 10100 kcal/kg.

3.7.1 Determinación de la cantidad de diésel consumido

Calor requerido por el producto

$$Q_{Producto} = m C_p \Delta T \quad (31)$$

$$Q_{Producto} = (908,64 \text{ Kg}) \times \left(3061,86 \frac{\text{J}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \right) \times (65,5^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})$$

$$Q_{Producto} = 98765761,96 \text{ J}$$

$$Q_{Producto} = 98765,762 \text{ kJ}$$

Considerando un requerimiento adicional del 10% por la fase de retención:

$$Q_{Producto} = 98765,762 \text{ kJ} + (98765,762 \text{ kJ} \times 0,10)$$

$$Q_{Producto} = 108642,338 \text{ kJ}$$

Considerando el tiempo de calentamiento, el flujo de calor requerido por el producto es:

$$\dot{Q}_{Producto} = \frac{(108642338,2 \text{ kJ}) \times \left(\frac{1 \text{ Kcal}}{4,187 \text{ kJ}} \right)}{22,49 \text{ min}}$$

$$\dot{Q}_{Producto} = 1153,598 \frac{\text{Kcal}}{\text{min}}$$

Flujo de diésel consumido

$$\dot{Q}_{Producto} = \dot{Q}_{caldera} (\varepsilon) \quad (32)$$

$$\dot{Q}_{Producto} = \dot{m}_{diésel} (PCI) (\varepsilon) \quad (33)$$

$$\dot{m}_{diésel} = \frac{\dot{Q}_{Producto}}{(PCI) (\varepsilon)} \quad (34)$$

$$\dot{m}_{diésel} = \frac{1153,598 \frac{Kcal}{min}}{\left(10100 \frac{Kcal}{Kg}\right) (0,8)}$$

$$\dot{m}_{diésel} = 0,143 \frac{Kg}{min}$$

3.7.2 Determinación de flujo de vapor consumido por chaqueta

La entalpía del vapor de agua a 80°C es 2308 kJ/Kg.

Calor cedido por el vapor

$$Q_{cedido\ vapor} = Q_{absorbido\ producto} \quad (35)$$

$$Q_{absorbido\ producto} = V \rho c_p (T_2 - T_1) \quad (36)$$

Considerando la altura del líquido en su interior, el volumen del tanque es:

$$V_{tanque} = \pi r_i^2 h \quad (37)$$

$$V_{tanque} = (\pi) x (0,55m)^2 x (1,1m)$$

$$V_{tanque} = 1,045 m^3$$

Reemplazando valores;

$$Q_{absorbido\ producto} = (1,045 m^3) x \left(1135,80 \frac{kg}{m^3}\right) x \left(3061,86 \frac{J}{kg\ ^\circ C}\right) x (65,5^\circ C - 30^\circ C)$$

$$Q_{absorbido\ producto} = 129057832,9 J$$

Por lo tanto,

$$Q_{cedido\ vapor} = 129012513,7 J$$

Considerando tiempo de calentamiento de 1349,56 s

$$\dot{Q}_{cedido\ vapor} = \frac{129012513,7 J}{1349,56 s}$$

$$\dot{Q}_{cedido\ vapor} = 95629,461 W$$

Flujo de vapor requerido

Considerando condición de estado estacionario:

$$\dot{Q}_{cedido\ vapor} = \dot{m}_{vapor} \Delta h_{vapor} \quad (38)$$

Despejando,

$$\dot{m}_{vapor} = \frac{\dot{Q}_{cedido\ vapor}}{\Delta h_{vapor}} \quad (39)$$

$$\dot{m}_{vapor} = \frac{95629,461\ W}{2308000\ \frac{J}{Kg}}$$

$$\dot{m}_{vapor} = 0,0414\ \frac{Kg}{s}$$

A partir de que el flujo de calor cedido por el vapor es igual al absorbido por el producto, para seleccionar una caldera se consideró un 10% de pérdidas por radiación, por lo que el calor generado por la caldera y que debe absorber el producto es:

$$\dot{Q}_{absorbido\ producto} = 95629,461\ W + (95629,461\ W \times 0,10)$$

$$\dot{Q}_{absorbido\ producto} = 105192,407\ W$$

$$\dot{Q}_{absorbido\ producto} = 105,192407\ kW$$

3.8 Equipos seleccionados

Los equipos que debido a sus especificaciones técnicas cumplen con los requisitos obtenidos a través de los cálculos realizados y que fueron seleccionados se detallan en la tabla mostrada en el anexo 22.

3.9 Características del producto final

3.9.1 Valoración del producto

Como resultado de la valoración del producto, teniendo en consideración los componentes mostrados en la tabla del anexo 2 y las concentraciones de las materias primas en la fórmula final, se obtuvo que la bebida es alta en azúcar (26,6 g/100ml) y que no contiene grasa ni sal, por lo que el semáforo nutricional está estructurado como se muestra en la figura 10.



Figura 10 Semáforo nutricional del producto

Fuente: Elaboración Propia

3.9.2 Etiqueta y Envase

La etiqueta fue elaborada en polipropileno de alta densidad, y sus medidas son 11cm de largo x 4cm de ancho, dado que el producto será comercializado en una presentación de 59 ml (ver figura 11). Cabe mencionar que el envase es de polietileno de alta densidad, transparente y con tapa tipo rosca.



Figura 11 Etiqueta del producto

Fuente: Elaboración Propia

3.10 Estimación de Costos

Los costos fueron calculados teniendo en consideración que la bebida es elaborada a partir de la fórmula final, y además que en un día laboral se procesa solo un batch, obteniéndose 800 litros de producto terminado que se traducen en 13.559 botellas de 59 ml cada una.

Costos de materia prima y material de empaque

El anexo 23 muestra los costos por batch de materia prima y material de empaque obtenidos a partir de cotizaciones solicitadas a los diferentes proveedores.

Costos de Mano de Obra Directa

Para el cálculo se tomó en consideración que el sueldo de cada operario es de \$375, el cual es actualmente el sueldo básico en el Ecuador. Además, que las aportaciones son remuneradas una sola vez por año, siendo estas el 12,15% del salario anual. Finalmente, que se laboran 4 días a la semana, 16 días al mes y 192 días al año, en jornadas de 8h incluyendo los tiempos muertos por almuerzo y limpieza (1,30h apróx.).

Costos de Mano de Obra Indirecta

Los costos correspondientes al personal administrativo contratado conforman los costos de mano de obra directa. Se toman las mismas consideraciones que para los costos de mano de obra directa, con la diferencia de que el sueldo no es el básico.

En el anexo 24 se detallan tanto los costos de mano de obra directa como los costos de mano de obra indirecta.

Costo y Depreciación de Equipos

Los costos de los equipos propuestos para la línea de producción de la bebida, fueron obtenidos a partir de cotizaciones solicitadas a los diferentes proveedores y son detallados en el anexo 25. El tiempo de vida útil considerado para cada equipo es de 10 años, con una depreciación anual del 10% del valor de compra.

Costo por consumo de energía eléctrica

La potencia de los equipos cotizados y el tiempo de operación por batch de cada uno en las diferentes etapas de procesamiento son detallados en el anexo 25. Adicionalmente la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) indica que el costo del kW-h es de \$0,09 para comerciales e industriales de baja tensión con demanda.

Costo Indirecto

Los costos indirectos están comprendidos por el consumo de servicios y suministros como energía eléctrica, agua y diésel, los cuales fueron calculados como se detalla en el anexo 26.

Costo de producción

La tabla 38 detalla el flujo de costos inmersos en la producción de una botella de 59 ml de bebida, los cuales dan como resultado un precio de venta al público de \$0,49 con un margen de contribución del 45%.

Tabla 38 Costo de producción

	Ingrediente	Cantidad	*UMB	Costo UMB	Costo Batch	Costo Mes	Costo por botella
Materia Prima	Agua	584	Ltr	\$ 0,60	\$ 350,4	\$ 5.606	\$ 0,03
	Dextrosa	212,52	Kg	\$ 5,60	\$ 1.190	\$ 19.042	\$ 0,09
	Ácido	2,72	Kg	\$ 0,10	\$ 0,27	\$ 4,35	\$0,00002
	Saborizante	0,34	Kg	\$ 11,75	\$ 3,95	\$ 63,17	\$ 0,0003
	Colorante	0,020	Kg	\$ 14,30	\$ 0,29	\$ 4,58	\$ 0,00002
	Sorbato	0,400	Kg	\$ 0,20	\$ 0,08	\$ 1,28	\$ 0,00001
	Costo total	800	Ltr	\$ 32,55	\$ 1.545	\$ 24.721	\$ 0,11
Material Empaque	Envase	13559	und	\$ 0,13	\$ 1.763	\$ 28.203	\$ 0,13
	Etiqueta	13559	und	\$ 0,08	\$ 1.085	\$ 17.355	\$ 0,08
	Costo total	--	--	\$ 0,21	\$ 2.847	\$ 45.559	\$ 0,21
Personal	*MOD	4	Personas	\$ 1.932	\$ 120,77	\$ 1.932	\$ 0,0089
	TOTAL	4	--	\$ 1.932	\$ 120,77	\$ 1.932	\$ 0,009
Costo Indirecto	Agua	6,00	m3	\$ 0,50	\$ 3	\$ 48	\$ 0,00022
	*EE	5,97	Kw/h	\$ 0,09	\$ 0,54	\$ 9	\$ 0,00004
	Diesel	50,3360	kg	\$ 1,03	\$51,80	\$ 830	\$ 0,0038
	Total Costos directos	--	--	--	\$ 4.513	\$ 72.213	\$ 0,33
	Total Costos indirectos	--	--	\$ 1,62	\$ 55,38	\$ 886,13	\$ 0,0041
	Costo producción	--	--	--	\$ 4.568	\$ 73.099	\$ 0,3369
	Costo x unidad						\$ 0,34
	Margen						\$ 0,15
	*PVP						\$ 0,49

Fuente: Elaboración Propia

Punto de Equilibrio

El cálculo del punto de equilibrio se realizó a partir de los datos que se detallan en la tabla 39 mostrada a continuación.

Tabla 39 Costos fijos y costos variables anuales

COSTOS FIJOS	
Conceptos	Valores
Gastos Administrativos	\$56.065,40
Depreciación de Equipos	\$ 2.896,32
Alquiler	\$ 6.000,00
TOTAL	\$64.961,72
COSTOS VARIABLES UNITARIO	
Conceptos	Valores
Materia Prima	\$ 0,11395263
Material de empaque	\$ 0,21
Energía	\$ 3,96203E-05
Agua	\$ 0,00022125
Diesel	\$ 0,003823648
MOD	\$ 0,008906465
TOTAL	\$ 0,336943613
Cantidad de equilibrio	428.437 unid
Punto de Equilibrio	\$ 209.321,10

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 39 indica que deben ser vendidas 428.437 unidades para alcanzar el punto de equilibrio, siendo este de \$ 209.321,10. La figura 12 muestra lo antes mencionado.

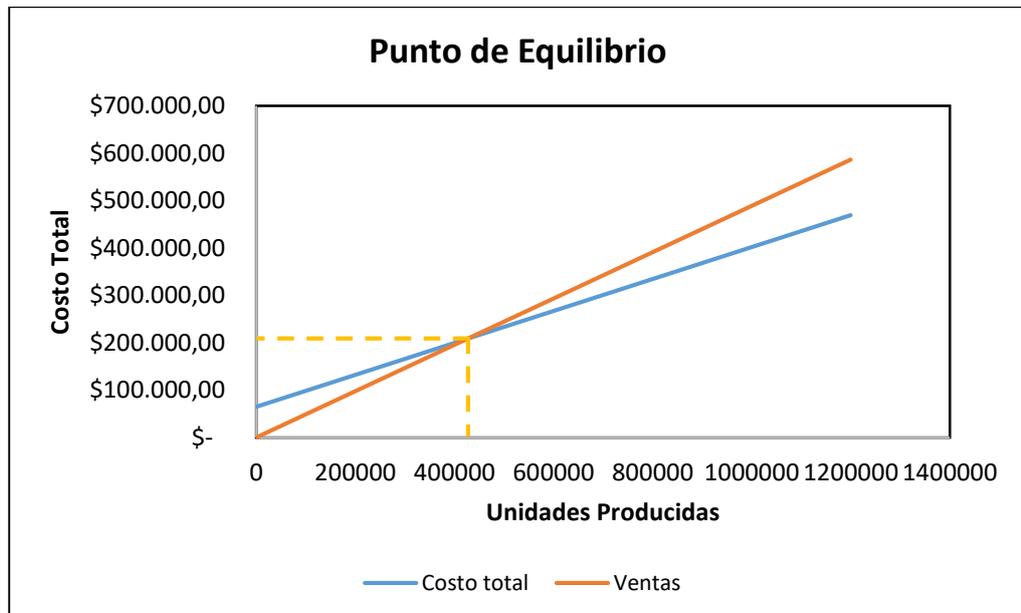


Figura 12 Punto de equilibrio

Fuente: Elaboración Propia

Análisis Financiero

Considerando ventas de \$ 209.321,10 anualmente y la depreciación anual de los equipos, los gastos administrativos se realizó un análisis financiero, el cual es detallado en la tabla 40.

Tabla 40 Análisis financiero

CONCEPTOS	VALORES
VENTAS	\$ 209.321,10
Ventas	\$ 209.321,10
Devoluciones en Ventas	\$ -
Total Ingresos	\$ 209.321,10
COSTO DE VENTAS	\$144.359,38
Margen bruto	\$64.961,72
GASTOS ADMINISTRATIVOS	\$ 56.065,40
Mantenimiento de Maquinarias	\$-
Sueldos	\$ 45.600,00
Décimo Tercer Sueldo	\$ 3.800,00
Décimo Cuarto Sueldo	\$ 1.125,00
Vacaciones	\$-
Fondo de Reserva	\$-
Aporte Patronal 12.15%	\$ 5.540,40
Uniforme	\$-
TOTAL DE GASTOS	\$ 56.065,40
Depreciación de Equipos	\$ 2.896,32
Alquiler	\$ 6.000,00
UTILIDAD NETA	\$0,00

Fuente: Elaboración Propia

3.11 Diagrama de Flujo del proceso

A continuación, se muestra en la figura 13 el diagrama del proceso desde la recepción de materia prima hasta el almacenamiento del producto.

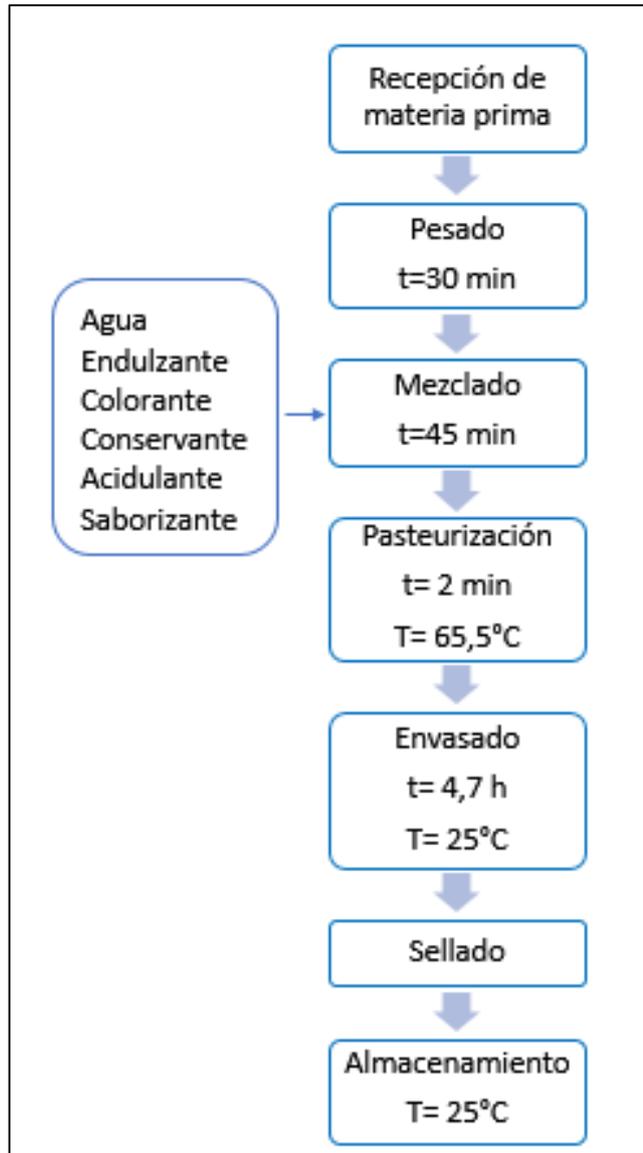


Figura 13 Diagrama de flujo del proceso
Fuente: Elaboración Propia

3.12 Diagrama de equipos

A continuación, se muestra en la figura 14 el diagrama de equipos que se propone instalar para cada etapa del proceso de elaboración de la bebida.

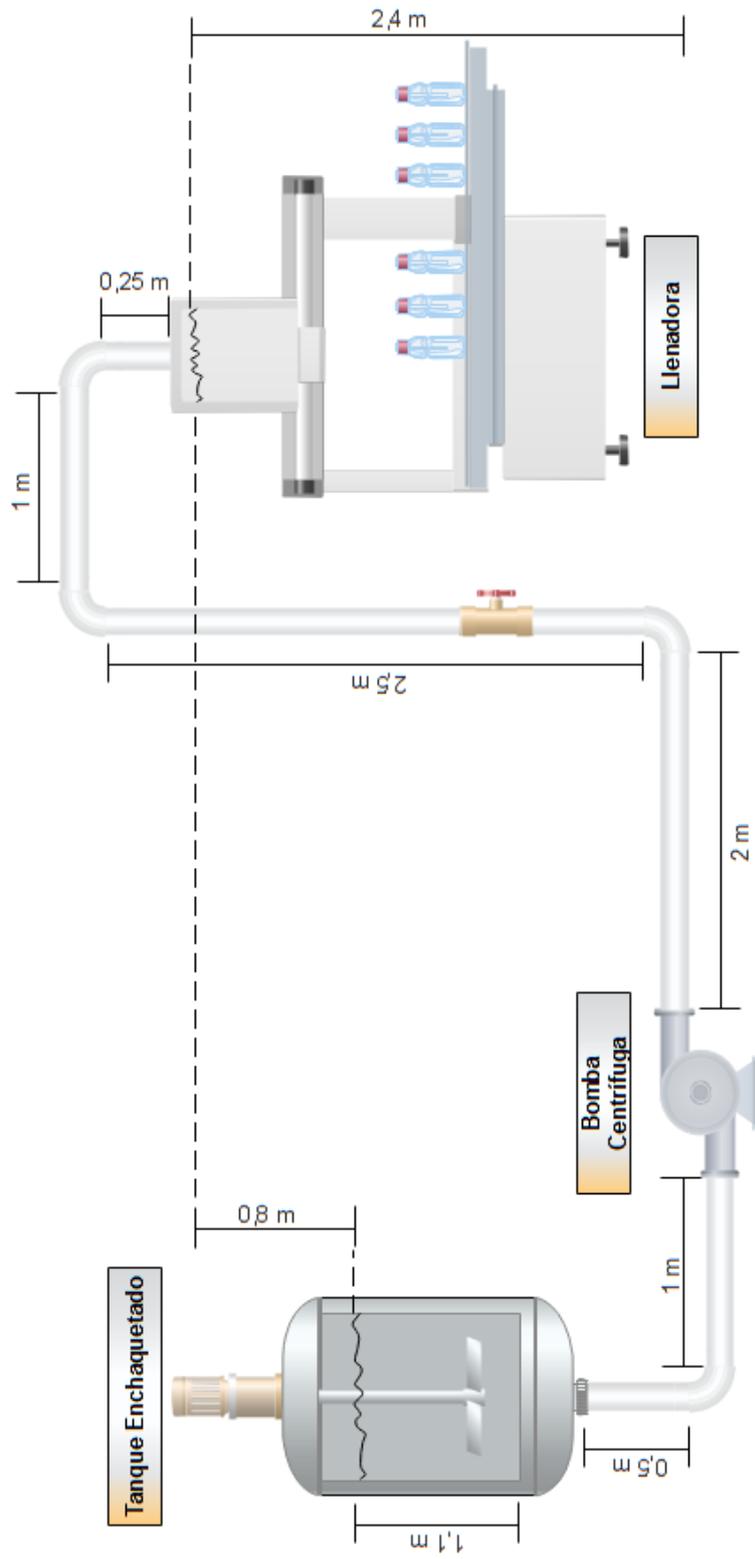


Figura 14 Diagrama de equipos
Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se diseñó una bebida líquida con alto contenido de dextrosa, apta para diabéticos tipo I y que ayuda a reconstituir los niveles de glucosa en la sangre cuando se presentan cuadros de hipoglucemia.
- La combinación óptima de variables para establecer la formulación final de la bebida de acuerdo a la prueba sensorial y el diseño de experimentos corresponde a una relación de ingredientes en la siguiente escala proporcional agua 73%, dextrosa 26,57%, ácido cítrico 0.34%, saborizante 0,042%, colorante 0,0025% y sorbato de Potasio 0,05%.
- La bebida desarrollada con respecto a los parámetros color, sabor, aroma y dulzor acorde a la escala hedónica propuesta en la evaluación sensorial presentan una aceptación que van desde me gusta ligeramente (aroma, sabor) y me gusta moderadamente (color, dulzor).
- Los análisis físico-químicos de la bebida formulada detallan que los parámetros pH, °Brix y acidez titulable se encuentra dentro de los rangos establecidos en la norma NTE INEN 2304, por lo que se puede concluir que la bebida cumple con las especificaciones físico-químicas de la misma.
- La bebida cumple con los requisitos microbiológicos establecidos por la norma NTE INEN 2200 y adicionalmente se determinó la ausencia del microorganismo más termorresistente, *Vibrio cholerae*, por lo que es categorizada como libre de patógenos, asegurando que el producto puede ser comercializado.
- El costo estimado de producción de la bebida es de \$0.49 por unidad, con un margen de contribución del 45%.

4.2 Recomendaciones

- Realizar pruebas in vivo con la finalidad de comprobar la efectividad de la bebida en condiciones de hipoglucemia.

- Reajustar el tiempo de proceso térmico para no afectar organolépticamente la bebida y poder disminuir las condiciones de sobre-procesamiento obtenidas.
- Realizar un prototipo de la bebida sustituyendo en la formulación la dextrosa por frutas de alto índice glucémico.
- Realizar análisis de estabilidad para determinar el tiempo de vida útil del producto.

BIBLIOGRAFÍA

- A. Çengel, Y., & J. Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa Fundamentos y Aplicaciones* (Cuarta). México D.F., México: McGraw-Hill. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- ASENJO, S., MUZZO B, S., PEREZ, M. V., UGARTE P, F., & WILLSHAW, M. E. (2007). Consenso en el diagnóstico y tratamiento de la diabetes tipo 1 del niño y del adolescente. *Revista Chilena de Pediatría*, 78(5), 534–541. <https://doi.org/10.4067/S0370-41062007000500012>
- Bernal, S., Gallegos, C., Ibarra, I., Torres, T., Huerta, R., Mendoza, E., ... Trujillo, M. (2004). *Introducción a la Tecnología de Alimentos* (Segunda). México D.F., México: Editorial Limusa.
- Brown, G. G. (1955). *Operaciones Básicas de la Ingeniería Química* (Primera). Barcelona, España: Marín S.A.
- Castillo Uribe, V. (2013). *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos*. Bío - Bío.
- Campbell-Platt, G., & Rosenthal, A. (2009). Food Science and Technology. Food Science and Technology, 219–234. <http://doi.org/10.1002/car.1158>
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). *Mecánica de fluidos - Fundamentos y aplicaciones* (Primera). México D.F., México: McGraw-Hill.
- CIMPA S.A. (2015). *Insumo y Tecnología para la Industria Alimentaria*. Obtenido de <http://studyres.es/doc/3144838/ficha-tecnica-sorbato-de-potasio?page=1>
- Chiang, J. L., Kirkman, M. S., Laffel, L. M. B., & Peters, A. L. (2014). Type 1 diabetes through the life span: A position statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care*, 37(7), 2034–2054. <http://doi.org/10.2337/dc14-1140>
- Cortés, M. (20 de 10 de 2017). MMAQUIENVAS S.L. Obtenido de [http://www.guiaenvase.com/bases/guiaenvase.nsf/0/94A7229B0A8886C3C1256F250063FA7F/\\$FILE/Elecci%C3%B3n%20de%20maquinaria%20par%20el%20envasado%20de%20productos%20l%C3%ADquidos.MAQUIENVAS.pdf?OpenElement](http://www.guiaenvase.com/bases/guiaenvase.nsf/0/94A7229B0A8886C3C1256F250063FA7F/$FILE/Elecci%C3%B3n%20de%20maquinaria%20par%20el%20envasado%20de%20productos%20l%C3%ADquidos.MAQUIENVAS.pdf?OpenElement)
- De Ruyter, M. L., & Harrison, B. A. (2007). Hyperglycemia and Diabetic Ketoacidosis. In *Complications in Anesthesia* (Second, pp. 415–418). Wisconsin, United States: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4160-2215-2.50104-6>

- de Santiago Corchado, M. (2000). Clasificación y diagnóstico de la diabetes. *Medicine*, 8, 985–990. [https://doi.org/10.1016/S0304-5412\(00\)70186-7](https://doi.org/10.1016/S0304-5412(00)70186-7)
- FAO.ORG. (2015). Equipos de procesamiento de alimentos Fichas técnicas. Retrieved from <http://www.fao.org/fileadmin/templates/inpho/documents/EQUIPOS.pdf>
- Ibarz, A., & Barbosa, G. (2011). Operaciones Unitarias en la Ingeniería en Alimentos . Madrid: Mundi-Prensa.
- Kern Q., D. (1998). *Procesos de Transferencia de Calor. Termodinamica* (Primera). México D.F., México: McGraw-Hill. <https://doi.org/10:0-8400-5444-0>
- Kreith, F., & West, R. (1996). *CRC HANDBOOK OF ENERGY EFFICIENCY* (Primera). New York, Estados Unidos: CRC Press.
- LFA. (2017). Tableteadoras LFA. Obtenido de <https://www.lfatabletpresses.com/es/dextrosa-monohidratada>
- Manrique, A. (2011). *Diseño de un recipiente a presión con un sistema de agitación para el procesamiento de Biodiesel de 3 m3 de capacidad*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Martín Vaquero, P., Barquiel Alcalá, B., Puma Duque, M. A., & Liboa Catlán, A. (2009). Hipoglucemias leves y graves en la diabetes mellitus tipo 1 y 2. *Avances En Diabetología*, 25, 269–279.
- McCabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (1991). *Operaciones unitarias en Ingeniería Química* (Cuarta). Madrid, España: McGraw-Hill.
- Mendoza Patiño, N. (2008). *Farmacología Médica* (Primera). México D.F., México: Médica Panamericana.
- MERCOSUR. (2017). *Sistema de Información sobre Comercio Exterior* . Obtenido de <http://www.sice.oas.org/Trade/MRCSRS/Resolutions/AN4693.asp>
- Orrego Alzate, C. E. (2003). *Procesamiento de Alimentos* (Primera). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- Reyes Olivares, J. A., & Arellano Plancarte, A. (2008). Bases moleculares de las acciones de la insulina. *Revista de Educación Bioquímica*, 27(2), 9–18. Retrieved from <http://www.medigraphic.com/pdfs/revedubio/reb-2008/reb081c.pdf>
- Rienmann, H., & Cliver, D. (2006). *Foodborne infections and intoxications* (Third). Californis, Estados Unidos: Academic Press.

- Ríos, S., Agudelo, R., & Gutiérrez, L. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Facultad Nacional de Salud Pública*, 12.
- Rojas, L., Achurra, P., Pino, F., Ramírez, P., Lopetegui, M., Sanhueza A, L. M., ... Aizman, A. (2011). Diagnóstico y manejo de la hipoglicemia en adultos diabéticos hospitalizados: evaluación de competencias en un equipo profesional multidisciplinario de salud. *Revista Médica de Chile*, 139(7), 848–855. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872011000700004>
- Rojas de P., E., Molina, R., & Rodríguez, C. (2012). Definición, clasificación y diagnóstico de la diabetes mellitus. *Revista Venezolana de Endocrinología Y Metabolismo*, 10, 7–12.
- San Laureano, F. C., Ayala Ortega, M. del C., Zaldivar, A. P., & Expósito, C. (2016). Comentarios sobre «Hipoglucemia desapercibida en personas con diabetes tipo 1». *Endocrinología Y Nutrición*, 63(8), 435. <https://doi.org/10.1016/J.ENDONU.2016.05.005>
- Stumbo, C. R. (1973). *Thermobacteriology in Food Processing* (Second). New York, Estados Unidos: Academic Press. <https://doi.org/10.1002/car.1158>
- Tamborlane, W. V., Battelino, T., Weinzimer, S. A., & Phillip, M. (2014). Diabetes mellitus. In *Pediatric Endocrinology* (Fourth, p. 846–900.e1). Philadelphia, United States: ELSEVIER. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-4858-7.00028-7>
- Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, C. L. (2007). *Introducción a la Microbiología* (Novena). Buenos Aires, Argentina: Editorial Médica Panamericana.
- Vanaclocha, A., & Requena, J. (2003). *Procesos de conservación de alimentos* (Segunda). Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Weber, D. E., Katz, F. R., & Mattson, C. L. (2000). Special Supplement Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies (Overarching Principles Kinetics and Pathogens of Concern for All Technologies).pdf. *Journal of Food Science*, 65(4), 16–31.

APÉNDICES

ANEXO 1

EVALUACION SENSORIAL	PANELISTA # <u> </u>																
Nombre del Panelista: _____ Fecha: _____																	
Edad: _____	Sexo: F <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/>																
A continuación, se presenta una muestra bebible, por favor dedique un momento para contestar las siguientes preguntas siguiendo las instrucciones dadas.																	
INSTRUCCIONES																	
<ul style="list-style-type: none">• Enjuáguese la boca con agua antes de comenzar y entre cada muestra.• Probar las dos muestras de izquierda a derecha.• Proceda a calificar cada parámetro de acuerdo a la escala asignada.																	
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"><thead><tr><th>ESCALA</th><th>Puntaje</th></tr></thead><tbody><tr><td>Me disgusta mucho</td><td>1</td></tr><tr><td>Me disgusta</td><td>2</td></tr><tr><td>Me disgusta ligeramente</td><td>3</td></tr><tr><td>Ni me gusta ni me disgusta</td><td>4</td></tr><tr><td>Me gusta ligeramente</td><td>5</td></tr><tr><td>Me gusta</td><td>6</td></tr><tr><td>Me gusta mucho</td><td>7</td></tr></tbody></table>		ESCALA	Puntaje	Me disgusta mucho	1	Me disgusta	2	Me disgusta ligeramente	3	Ni me gusta ni me disgusta	4	Me gusta ligeramente	5	Me gusta	6	Me gusta mucho	7
ESCALA	Puntaje																
Me disgusta mucho	1																
Me disgusta	2																
Me disgusta ligeramente	3																
Ni me gusta ni me disgusta	4																
Me gusta ligeramente	5																
Me gusta	6																
Me gusta mucho	7																
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"><thead><tr><th>Código</th><th>COLOR</th><th>AROMA</th><th>SABOR</th><th>DULZURA</th></tr></thead><tbody><tr><td>J47</td><td>_____</td><td>_____</td><td>_____</td><td>_____</td></tr><tr><td>G83</td><td>_____</td><td>_____</td><td>_____</td><td>_____</td></tr></tbody></table>		Código	COLOR	AROMA	SABOR	DULZURA	J47	_____	_____	_____	_____	G83	_____	_____	_____	_____	
Código	COLOR	AROMA	SABOR	DULZURA													
J47	_____	_____	_____	_____													
G83	_____	_____	_____	_____													
<ul style="list-style-type: none">• ¿Cuál muestra prefiere?																	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																
Muestra	Muestra																
Comentarios: _____																	

¡GRACIAS POR SU TIEMPO!																	

ANEXO 2

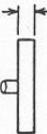
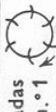
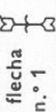
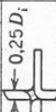
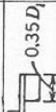
Table 13.2 Minimum value (X) required for a significant preference

N	X	N	X	N	X
20	15	60	39	100	61
21	16	61	39	105	64
22	17	62	40	110	66
23	17	63	40	115	69
24	18	64	41	120	72
25	18	65	41	125	74
26	19	66	42	130	77
27	20	67	43	135	80
28	20	68	43	140	83
29	21	69	44	145	85
30	21	70	44	150	88
31	22	71	45	155	91
32	23	72	45	160	93
33	23	73	46	165	96
34	24	74	46	170	99
35	24	75	47	175	101
36	25	76	48	180	104
37	25	77	48	185	107
38	26	78	49	190	110
39	27	79	49	195	112
40	27	80	50	200	115
41	28	81	50	225	128
42	28	82	51	250	142
43	29	83	51	275	155
44	29	84	52	300	168
45	30	85	53	325	181
46	31	86	53	350	194
47	31	87	54	375	207
48	32	88	54	400	221
49	32	89	55	425	234
50	33	90	55	450	247
51	34	91	56	475	260
52	34	92	56	500	273
53	35	93	57	550	299
54	35	94	57	600	325
55	36	95	58	650	351
56	36	96	59	700	377
57	37	97	59	800	429
58	37	98	60	900	480
59	38	99	60	1000	532

Fuente: Clase de Evaluación sensorial de alimentos

ANEXO 3

Tabla de características de agitadores normalizados

Tipo de rodete	$\frac{D_t}{D_i}$	$\frac{Z_1}{D_i}$	$\frac{Z_i}{D_i}$	Hojas cort.		N.º Ref.	Tipo de rodete	$\frac{D_t}{D_i}$	$\frac{Z_1}{D_i}$	$\frac{Z_i}{D_i}$	Hojas cort.		N.º Ref.	N.º	Hojas cort.
				N.º	w/D _i						N.º	w/D _i			
Turbina de 6 palas planas 	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,17	1 7	Dos paletas 	4,35	4,3	0,29	3	0,11	8 3		
Igual que en el n.º 1	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	2 7	Cuatro paletas. Ver n.º 8	3	3	0,5	0		16 2		
Igual que en el n.º 1	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,04	4 7	Dos paletas. Ver n.º 8	3	3,2	0,33	0		20 4		
Igual que en el n.º 1; $\alpha = 1, b = 40$	3	2,7-3,9	0,75-1,3	0		14 7	Dos paletas. Ver n.º 8	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	10 7		
Turbina de 6 palas curvadas Tam. de palas como en n.º 1 	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	3 7	Dos paletas. Ver n.º 8 Ancho de paleta = 0,13 D _i	1,1	0,5	0,19	0		29 10		
Turbina 6 palas forma flecha Tam. de pala como en n.º 1 	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	5 7	Dos paletas. Ver n.º 8 Ancho de paleta = 0,17 D _i	1,1	0,4	0,10	0		29 10		
Turbina radial con anillo deflector 				0		7 9	Hélice de 3 palas Paso de la hélice = 2 D _i 	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	15 7		
Turbina cerrada, de 6 palas. Anillo deflector de 20 hojas	2,4	0,74	0,9	0		11 6	Igual que el n.º 15; $\alpha = 1,7, b = 18$	3,3	2,7-3,9	0,75-1,3	0		21 7		
Semejante, mas no idéntica a la n.º 11	3	2,7-3,9	0,75-1,3	0		12 7	Igual que el n.º 15, pero con paso = 1,33 D _i	16			3	0,06	18 5		
Igual que la 12, pero sin anillo deflector.	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	13 7	Igual que el n.º 15, pero con paso = 1,09 D _i	9,6			3	0,06	23 5		
Turbina axil de 8 palas con ángulo de 45°. Ver n.º 17	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	9 7	Igual que el n.º 15, pero con paso = 1,05 D _i , $\alpha = 2,3, b = 18$	2,7	2,7-3,9	0,75-1,3	0		27 7		
Turbina axil 4 palas con ángulo de 60° 	3	3	0,50	0		17 2	Igual que el n.º 15, pero con paso = 1,04 D _i , $\alpha = 0, b = 18$	4,5	2,7-3,9	0,75-1,3	0		25 7		
Turbina axil de 4 palas con ángulo de 45°. Ver n.º 17.	5,2	5,2	0,87	0		19 2	Igual que el n.º 15, pero con paso = D _i	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	24 7		
Igual que la n.º 19	2,4-3,0	2,4-3,0	0,4-0,5	0		22 2	Igual que el n.º 15, pero con paso = D _i ; $\alpha = 2,1, b = 18$	3	2,7-3,9	0,75-1,3	0		26 7		
Disco con 16 paletas 	2,5	2,5	0,75	4	0,25	6 1	Igual que el n.º 15, pero con paso = D _i	3,8	3,5	1,0	0		28 8		

D_i = diámetro del rodete; D_t = diámetro del depósito; n = n.º de revoluciones por segundo; w = ancho de las hojas del cortacorrientes; Z_i = altura que está el rodete sobre el fondo del depósito; Z₁ = altura del nivel del líquido en el depósito.

Fuente: (Brown, 1955)

ANEXO 4

Dependencia entre el número de potencia (Np) y número de Reynolds (Re)

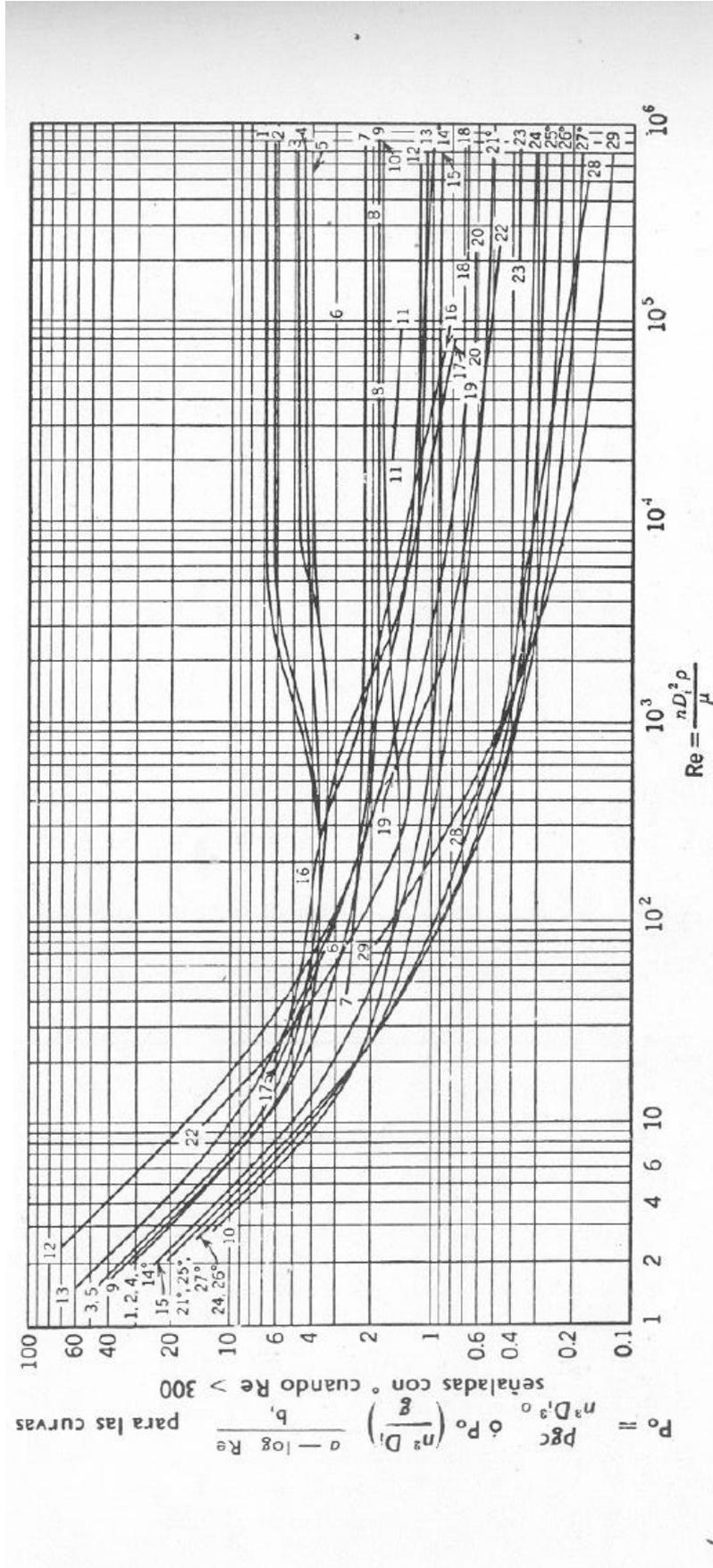


FIG. 477. Consumo de energía de diversos agitadores, expresado por el parámetro de potencia, P_o , y del número de Reynolds, Re . Para las curvas señaladas con °, la influencia de la superficie libre es considerable, por lo que se ha tenido en cuenta el número de Froude, $Fr = g/n^2 D_p$, para Re superiores a 300.

Fuente: (Brown, 1955)

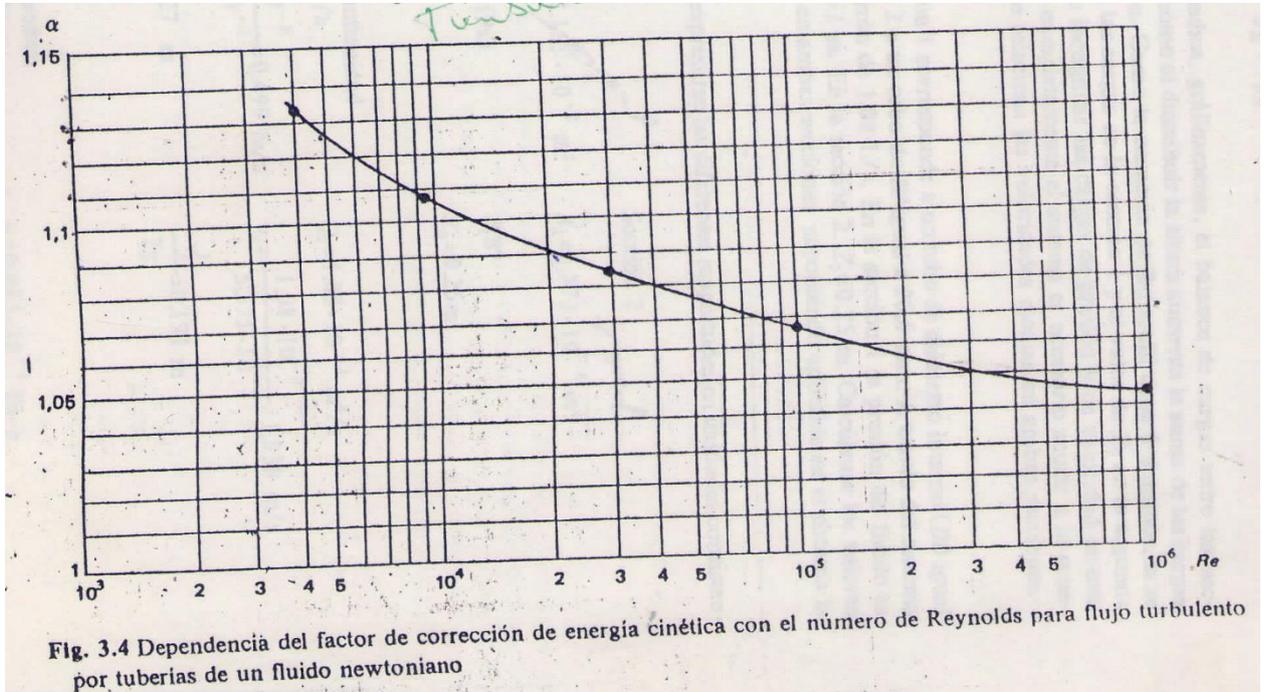
ANEXO 5

Dimensiones de tuberías de acero normalizadas

Catalog Number	Nominal Diameter (in.)	External Diameter (cm)	Internal Diameter (cm)	Wall Thickness (cm)
40	½	1.029	0.683	0.173
80	½	1.029	0.546	0.241
40	¾	1.372	0.925	0.224
80	¾	1.372	0.767	0.302
40	¾	1.715	1.252	0.231
80	¾	1.715	1.074	0.320
40	½	2.134	1.580	0.277
80	½	2.134	1.387	0.373
40	¾	2.667	2.093	0.287
80	¾	2.667	1.885	0.391
40	1	3.340	2.664	0.338
80	1	3.340	2.431	0.455
40	1¼	4.216	3.505	0.356
80	1¼	4.216	3.246	0.485
40	1½	4.826	4.089	0.368
80	1½	4.826	3.810	0.508
40	2	6.033	5.250	0.391
80	2	6.033	4.925	0.554
40	2½	7.303	6.271	0.516
80	2½	7.303	5.900	0.701
40	3	8.890	7.793	0.549
80	3	8.890	7.366	0.762
40	3½	10.16	9.012	0.574
80	3½	10.16	8.545	0.808
40	4	11.43	10.226	0.602
80	4	11.43	9.718	0.856
40	5	14.23	12.819	0.655
80	5	14.13	12.225	0.953
40	6	16.83	15.405	0.711
80	6	16.83	14.633	1.097
40	8	21.91	20.272	0.818
80	8	21.91	19.368	1.270
40	10	27.31	25.451	0.927
80	10	27.31	24.287	1.509
40	12	32.39	30.323	1.031
80	12	32.39	28.890	1.748

ANEXO 6

Factor de corrección de la energía cinética para fluidos Newtonianos con régimen Turbulento



Fuente: Clase de Operaciones Unitarias I

ANEXO 7 Diagrama de Moody

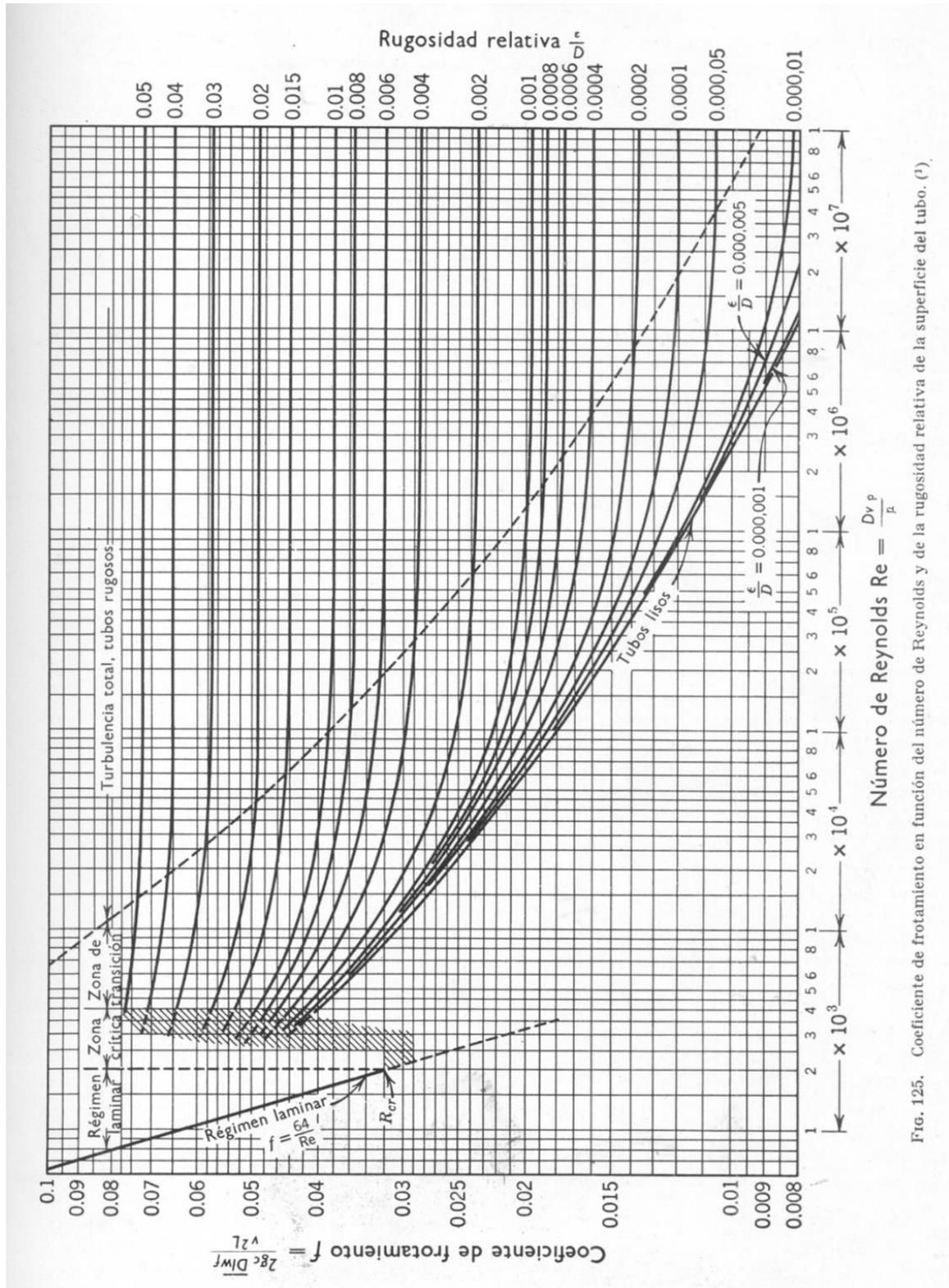


Fig. 125. Coeficiente de frotamiento en función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de la superficie del tubo. (1)

Fuente: (Brown, 1955)

ANEXO 8

RUGOSIDAD EQUIVALENTE e EN TUBOS	
Tipo de tubería	e (mm)
Tubos acero sin costura y tubos soldados no corroidos	0,2
Tubos de acero galvanizado	0,125
Tubos de acero viejo y herrumbroso	0,67 - 2,0
Tubos de hierro fundido nuevo	0,26
Tubos de hierro fundido usados	1,4 - 2,0
Tubos de aluminio lisos	0,015 - 0,06
Tubos de laton, cobre, plomo sin costura, tubos de vidrio	0,0015 - 0,01
Tubos de hormigón enlucido	0,3 - 0,8
Tubos de hormigón sin enlucido	3 - 9
Oleoductos en condiciones medias de explotación y conductos de vapor saturado	0,2
Conductos de vapor de funcionamiento periódico	0,5
Conductos de aire comprimido	0,8
Conductos de condensado en funcionamiento periódico	1

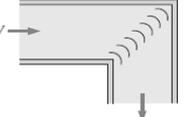
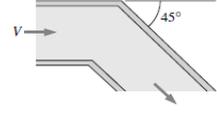
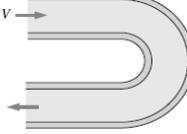
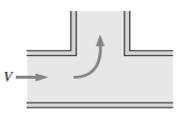
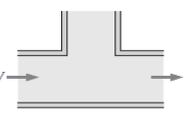
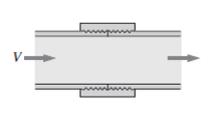
Fuente: Clases de Operaciones Unitarias I

ANEXO 9

Coeficientes de resistencia por accesorios

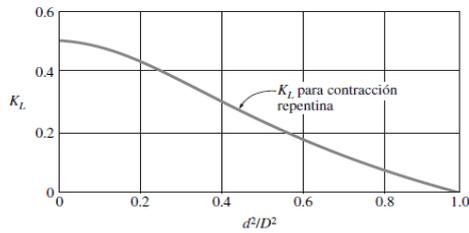
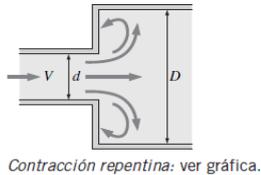
TABLA 8-4

Coeficientes de pérdida K_L de varios accesorios de tubería para flujo turbulento (para usar en la relación $h_L = K_L V^2 / (2g)$, donde V es la velocidad promedio en la tubería que contiene el accesorio)*

<p>Codos y ramificaciones Codo suave de 90°: Embridado: $K_L = 0.3$ Roscado: $K_L = 0.9$</p> 	<p>Codo esquinado de 90° (sin álabes directores): $K_L = 1.1$</p> 	<p>Codo esquinado de 90° (con álabes directores): $K_L = 0.2$</p> 	<p>Codo roscado de 45°: $K_L = 0.4$</p> 	
<p>Codo de retorno de 180°: Embridado: $K_L = 0.2$ Roscado: $K_L = 1.5$</p> 	<p>Conexión en T (flujo deriv.): Embridado: $K_L = 1.0$ Roscado: $K_L = 2.0$</p> 	<p>Conexión en T (flujo en línea): Embridado: $K_L = 0.2$ Roscado: $K_L = 0.9$</p> 	<p>Unión roscada: $K_L = 0.08$</p> 	
<p>Válvulas Válvula de globo, totalmente abierta: $K_L = 10$ Válvula de ángulo, totalmente abierta: $K_L = 5$ Válvula de bola, totalmente abierta: $K_L = 0.05$ Válvula de charnela: $K_L = 2$</p>				<p>Válvula de compuerta, totalmente abierta: $K_L = 0.2$ cerrada: $K_L = 0.3$ cerrada: $K_L = 2.1$ cerrada: $K_L = 1.7$</p>

Expansión y contracción repentina (con base en la velocidad en la tubería de diámetro más pequeño)

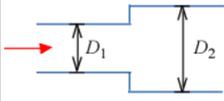
Expansión repentina: $K_L = \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2$



* Ésos son valores representativos para coeficientes de pérdida. Los valores reales dependen principalmente del diseño y la fabricación de los accesorios y pueden diferir considerablemente de los valores dados (en especial para las válvulas). En el diseño final se deben usar los datos reales del fabricante.

Fuente: (Cengel & Cimbala, 2006)

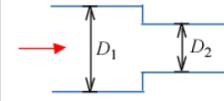
2. Salida de un tubo a un depósito de gran volumen
Ensanchamiento brusco 1,0



(se refiere a la velocidad en la sección 1)

$$\left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2\right]^2 = \left[1 - \frac{A_1}{A_2}\right]^2$$

3. Estrechamiento brusco desde un depósito de gran tamaño 0,5



(se refiere a la velocidad en la sección 2)

$$0,4 \left[1,25 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)\right] \text{ si } \frac{A_2}{A_1} < 0,715$$

$$0,75 \left[1,25 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)\right] \text{ si } \frac{A_2}{A_1} > 0,715$$

Fuente: Clase de Operaciones Unitarias I

ANEXO 10

Table 13A.10 Fouling Factors for Various Fluid Streams Used in Heat Exchangers

Fluid	Fouling Factors (m ² .K/W)
Water Type	
Seawater (43°C maximum outlet)	0,000275 to 0,00035
Brackish water (43°C maximum outlet)	0,00035 to 0,00053
Treated cooling tower water (49°C maximum outlet)	0,000175 to 0,00035
Artificial spray pond (49°C maximum outlet)	0,000175 to 0,00035
Closed loop treated water	0,000175
River water	0,00035 to 0,00053
Engine jacket water	0,000175
Distilled water or closed cycle condensate	0,00009 to 0,000175
Treated boiler feedwater	0,00009
Boiler blowdown water	0,00035 to 0,00053
Liquids	
No. 2 fuel oil	0,00035
No. 6 fuel oil	0,0009
Transformer oil	0,000175
Engine lube oil	0,000175
Refrigerants	0,000175
Hydraulic fluid	0,000175
Industrial organic HT fluids	0,000175 to 0,00035
Ammonia	0,000175
Ammonia (oil bearing)	0,00053
Methanol solutions	0,00035
Ethanol Solutions	0,00035
Ethylene glycol solutions	0,00035
MEA and DEA solutions	0,00035
DEG and TEG	0,00035
Stable side draw and bottom products	0,000175 to 0,00035
Caustic solutions	0,00035
Gas or Vapor	
Steam (non-oil-bearing)	0,0009
Exhaust steam (oil-bearing)	0,00026 to 0,00035
Refrigerant (oil-bearing)	0,00035
Compressed air	0,000175
Ammonia	0,000175
Carbon dioxide	0,00035
Coal flue gas	0,00175
Natural gas flue gas	0,00090
Acid gas	0,00035 to 0,00053
Solvent vapor	0,000175
Stable overhead products	0,000175

Fuente: (Kreith & West, 1996)

ANEXO 11

Contenido de componentes y concentraciones permitidas

Nivel Componentes	CONCENTRACIÓN “BAJA”	CONCENTRACIÓN “MEDIA”	CONCENTRACIÓN “ALTA”
Grasa Totales	Menor o igual a 3 gramos en 100 gramos	Mayor a 3 y menor a 20 gramos en 100 gramos	Igual o mayor a 20 gramos en 100 gramos
	Menor o igual a 1,5 gramos en 100 mililitros	Mayor a 1,5 y menor a 10 gramos en 100 mililitros	Igual o mayor a 10 gramos en 100 mililitros
Azúcares	Menor o igual a 5 gramos en 100 gramos	Mayor a 5 y menor a 15 gramos en 100 gramos	Igual o mayor a 15 gramos en 100 gramos
	Menor o igual a 2,5 gramos en 100 mililitros	Mayor a 2,5 y menor a 7,5 gramos en 100 mililitros	Igual o mayor a 7,5 gramos en 100 mililitros
Sal (sodio)	Menor o igual a 120 miligramos de sodio en 100 gramos	Mayor a 120 y menor a 600 miligramos de sodio en 100 gramos	Igual o mayor a 600 miligramos de sodio en 100 gramos
	Menor o igual a 120 miligramos de sodio en 100 mililitros	Mayor a 120 y menor a 600 miligramos de sodio en 100 mililitros	Igual o mayor a 600 miligramos de sodio en 100 mililitros

Fuente: NTE INEN 022. Rotulado de productos alimenticios procesados, envasados y empaquetados.

ANEXO 12



Escuela Superior Politécnica del Litoral

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE
con acreditación N° OAE LE 1C 05-003



Informe: 18-01/0048-M001

GCR -4.1-01-00-03

Datos del cliente

Nombre: MEDINA SALGUERO JOSE FERNANDO	Teléfono: 0982443531
Dirección: LOS RIOS 3426 A Y VENEZUELA	

Identificación de la muestra / etiqueta

Nombre: BEBIDA PARA DIABETICOS	Código muestra: 18-01/0048-M001
Marca comercial: S/M	Lote: 180101
Referencia: Jugos, Bebidas, Néctares y Pulpas de Fruta	Fecha elaboración: 05/01/2018
Envase: N/A	Fecha expiración: N/A
Conservación de la muestra: Ambiente Fresco y Seco - Zona Climática IV	Fecha recepción: 09/01/2018
Fecha análisis: 09/01/2018	Vida útil: N/A
Contenido neto declarado: N/A	
Contenido neto encontrado: N/A	
Presentaciones: N/A	
Condiciones climáticas del ensayo: Temperatura 22.5 °C ± 2.5 °C Y Humedad Relativa 55% ± 15%	

Análisis Microbiológicos

Ensayos realizados	Unidad	Resultado	Requisitos	Métodos/Ref.
Coliformes Totales	NMP/ml	< 3 (Ausencia)	---	API-5.8-04-01-00M6 (BAM 8TH)
E. coli *	UFC/100 mL	< 1.0	0	Standard Methods 22th 9222 AB *
Mohos *	UFC/mL	< 1.0	---	API-5.8-04-01-00M5. (AOAC 19th 997.02) *
Aerobios mesófilos	UFC/mL	< 1.0	25	API-5.8-04-01-00M26 (Standard Methods 22th 9215 A)
Pseudomona aureuginosa *	UFC/100mL	< 1.0	0	STANDARD METHODS 22TH 9213 B 6 *
Vibrio Spp. *	Ausencia/Presencia	AUSENCIA	---	BAM 8th *

Los resultados emitidos corresponden exclusivamente a la muestra proporcionada por el cliente.

Las opiniones / interpretaciones / etc. que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del SAE.

*** Observaciones:**

La muestra analizada SI cumple con los requisitos Microbiológicos para AGUA PURIFICADA ENVASADA, según la NORMA INEN 2200:2017. Los datos microbiológicos se encuentran registrados en el cuaderno interno de trabajo de microbiología, en la página 18-00186.

Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

^ Representa el Exponente

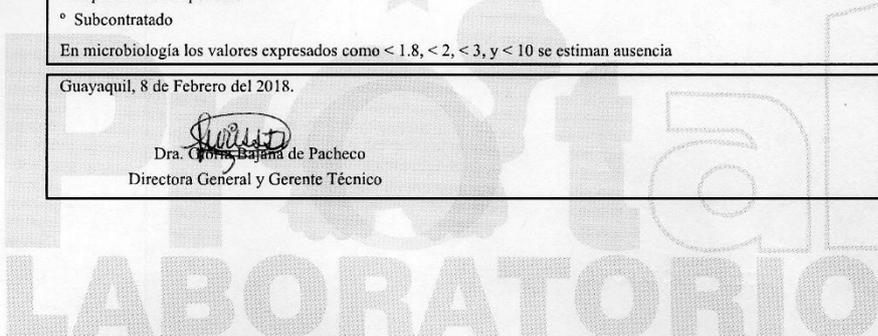
° Subcontratado

En microbiología los valores expresados como < 1.8, < 2, < 3, y < 10 se estiman ausencia

Guayaquil, 8 de Febrero del 2018.

Dra. Gloria Bajana de Pacheco
Directora General y Gerente Técnico

Ing. María Teresa Amador
Gerente de Calidad



ANEXO 13

Tabla de perfiles de tiempo y temperatura del calentamiento

t (seg)	T (°C)	T(°F)
0	30,1	86,18
10	33	91,4
20	35,2	95,36
30	37,6	99,68
40	39,4	102,92
50	41,7	107,06
60	43,7	110,66
70	45,2	113,36
80	46,8	116,24
90	48,4	119,12
100	49,7	121,46
110	50,9	123,62
120	52,3	126,14
130	53,4	128,12
140	54,6	130,28
150	55,5	131,9
160	56,5	133,7
170	57,4	135,32
180	58,2	136,76
190	59,2	138,56
200	60	140
210	60,5	140,9
220	61,6	142,88
230	62,7	144,86
240	63,7	146,66
250	64,2	147,56
260	65,2	149,36
270	65,5	149,9
280	65,5	149,9
290	65,6	150,08
300	65,6	150,08
310	65,6	150,08
320	65,6	150,08
330	65,6	150,08
340	65,7	150,26
350	65,7	150,26
360	65,7	150,26
370	65,6	150,08

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 14

Tabla de perfiles de tiempo y temperatura del enfriamiento

t (seg)	T (°C)	T(°F)
380	65,6	150,08
390	61,6	142,88
400	58,8	137,84
410	56,9	134,42
420	55,1	131,18
430	53,4	128,12
440	52,4	126,32
450	50,7	123,26
460	49,5	121,1
470	48,1	118,58
480	46,2	115,16
490	45,2	113,36
500	44,1	111,38
510	43,3	109,94
520	42,4	108,32
530	41,6	106,88
540	40,9	105,62
550	39,6	103,28
560	38,8	101,84
570	37,9	100,22
580	36,8	98,24
590	35,8	96,44
600	35	95
610	34,2	93,56
620	33,5	92,3
630	32,8	91,04
640	32,3	90,14
650	31,8	89,24
660	31,3	88,34
670	30,9	87,62
680	30,5	86,9
690	30,1	86,18
700	30	86

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 15

Tabla de letalidad y letalidad promedio hallada a través del método general

t (seg)	T (°C)	T(°F)	L	\bar{L}	$(\bar{L})\Delta e$ (min)
0	30,1	86,18	0,008272696	0,010262747	0,001710458
10	33	91,4	0,012252799	0,014379498	0,002396583
20	35,2	95,36	0,016506198	0,01967645	0,003279408
30	37,6	99,68	0,022846703	0,026000611	0,004333435
40	39,4	102,92	0,029154519	0,034482618	0,005747103
50	41,7	107,06	0,039810717	0,04600395	0,007667325
60	43,7	110,66	0,052197182	0,058076669	0,009679445
70	45,2	113,36	0,063956156	0,07169449	0,011949082
80	46,8	116,24	0,079432823	0,089043747	0,014840624
90	48,4	119,12	0,09865467	0,108151834	0,018025306
100	49,7	121,46	0,117648999	0,128030934	0,021338489
110	50,9	123,62	0,138412869	0,152862882	0,025477147
120	52,3	126,14	0,167312894	0,180753332	0,030125555
130	53,4	128,12	0,19419377	0,211330398	0,035221733
140	54,6	130,28	0,228467027	0,24327659	0,040546098
150	55,5	131,9	0,258086154	0,276803539	0,046133923
160	56,5	133,7	0,295520924	0,314677018	0,05244617
170	57,4	135,32	0,333833113	0,352935956	0,058822659
180	58,2	136,76	0,3720388	0,399020462	0,06650341
190	59,2	138,56	0,426002124	0,450379131	0,075063189
200	60	140	0,474756138	0,491388971	0,081898162
210	60,5	140,9	0,508021805	0,548831783	0,091471964
220	61,6	142,88	0,589641762	0,637008366	0,106168061
230	62,7	144,86	0,68437497	0,734008433	0,122334739
240	63,7	146,66	0,783641897	0,811096381	0,13518273
250	64,2	147,56	0,838550866	0,899365749	0,149894291
260	65,2	149,36	0,960180631	0,980090316	0,163348386
270	65,5	149,9	1	1	0,166666667
280	65,5	149,9	1	1,006818381	0,167803064
290	65,6	150,08	1,013636762	1,013636762	0,16893946
300	65,6	150,08	1,013636762	1,013636762	0,16893946
310	65,6	150,08	1,013636762	1,013636762	0,16893946
320	65,6	150,08	1,013636762	1,013636762	0,16893946
330	65,6	150,08	1,013636762	1,020548124	0,170091354
340	65,7	150,26	1,027459485	1,027459485	0,171243248
350	65,7	150,26	1,027459485	1,027459485	0,171243248
360	65,7	150,26	1,027459485	1,020548124	0,170091354
370	65,6	150,08	1,013636762		

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 16

Tabla de perfiles de letalidad del enfriamiento

t (seg)	T (°C)	T(°F)	L
380	61,6	142,88	0,589641762
390	58,8	137,84	0,403536063
400	56,9	134,42	0,311973458
410	55,1	131,18	0,244475472
420	53,4	128,12	0,19419377
430	52,4	126,32	0,1695945
440	50,7	123,26	0,1347137
450	49,5	121,1	0,114504757
460	48,1	118,58	0,094726303
470	46,2	115,16	0,073232841
480	45,2	113,36	0,063956156
490	44,1	111,38	0,055103156
500	43,3	109,94	0,049444461
510	42,4	108,32	0,043769992
520	41,6	106,88	0,039275131
530	40,9	105,62	0,035722445
540	39,6	103,28	0,029955087
550	38,8	101,84	0,026878917
560	37,9	100,22	0,023794172
570	36,8	98,24	0,020500512
580	35,8	96,44	0,017903633
590	35	95	0,01606506
600	34,2	93,56	0,014415295
610	33,5	92,3	0,013111339
620	32,8	91,04	0,011925335
630	32,3	90,14	0,011144455
640	31,8	89,24	0,010414707
650	31,3	88,34	0,009732744
660	30,9	87,62	0,009219468
670	30,5	86,9	0,008733262
680	30,1	86,18	0,008272696
690	30	86	0,008161401

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 17

Determinación de potencia requerida por el motor del agitador

Número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho n D_a^2}{\mu} \quad (5)$$

$$Re = \frac{\left(1147,947 \frac{kg}{m^3}\right) \times \left(0,833 \frac{Rev}{s}\right) \times (0,366 m)^2}{0,000798 Pa \cdot s} = 161168,764$$

Potencia requerida o consumida

La tabla de características de agitadores normalizados (Anexo 3), define que a un agitador de turbinas axil de 4 palas con ángulo de 45° le corresponde la curva #19 de la gráfica de dependencia entre el número de potencia y el número de Reynolds (Anexo 4). Por lo tanto, acorde a la gráfica el número de Reynolds hallado da un número de potencia $N_p = 0,60$.

$$N_p = \frac{P}{n^3 D_a^5 \rho} \quad (6)$$

$$P = N_p n^3 D_a^5 \rho = (0,60) \times \left(0,833 \frac{Rev}{s}\right)^3 \times (0,366 m)^5 \times \left(1147,947 \frac{kg}{m^3}\right) = 2,642 W$$

Considerando el 85% de eficiencia, la potencia requerida por el motor es:

$$P = \frac{2,642 W}{0,85} = 3,108 W = 0,0042 HP$$

ANEXO 18

Cálculos previos a la determinación de la potencia de bomba centrífuga

Velocidad del fluido

Para este cálculo partimos de la definición de flujo volumétrico.

$$Q = A V \quad (8)$$

Reordenando obtenemos que la velocidad es:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,0000472 \frac{m^3}{s}}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \times (0,0158)^2} = 0,24 \frac{m}{s}$$

Número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (7)$$

$$Re = \frac{\left(1147,947 \frac{kg}{m^3}\right) \times \left(0,24 \frac{m}{s}\right) \times (0,0158 m)^2}{0,000798 Pa \cdot s} = 5471,6 \quad \therefore \text{Régimen turbulento}$$

Dado que el fluido es turbulento, fue necesario determinar el $Re_{crit 2}$ para posteriormente compararlo con el valor de Re obtenido.

Rugosidad Relativa

Como se mencionó anteriormente el valor "e" según el anexo 8 es 0,2 mm.

$$\varepsilon = \frac{e}{D} \quad (11)$$

$$\varepsilon = \frac{0,0002 m}{0,0158 m} = 0,0127$$

Reynolds crítico 2

$$Re_{crit 2} = 550\varepsilon^{-9/8} \quad (12)$$

$$Re_{crit 2} = 550 \times (0,0127)^{-9/8} = 75023$$

Al comparar Reynolds observamos que Re es menor que $Re_{crit 2}$, por lo tanto, es necesario realizar una corrección de la pérdida totales por accesorios.

Pérdida o resistencia total por accesorios

Se consideró la cantidad de cada accesorio instalado y su respectivo coeficiente de resistencia dando como resultado los valores que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla de coeficientes de resistencia

Accesorios	K	n	K_{turb}
Codo 90° Estándar Roscado	0,9	4	3,6
Válvulas de globo abierta	10	1	10
Estrechamiento o Contracción brusca	0,5	1	0,5
Ensanchamiento o Expansión brusca	1	1	1
ΣK_{turb}			15,1

Fuente: Elaboración Propia

Corrección del coeficiente total de resistencia

Empleando la gráfica de Moody con una rugosidad relativa de 0,0127 se obtuvo los factores de fricción $f = 0,049$ y $f_{turb} = 0,04$ para un $Re = 5471,6$ y $Re_{crit 2} = 75023$ respectivamente.

$$\sum K = \sum K_{turb} \times \left(\frac{f}{f_{turb}} \right) \quad (13)$$

$$\sum K = 15,1 \times \left(\frac{0,049}{0,04} \right) = 18,498$$

Pérdidas por fricción

$$h_p = \frac{v^2}{2g} \left(4f \frac{L}{D} + \sum K_i \right) \quad (10)$$

$$h_p = \frac{\left(0,24 \frac{m}{s} \right)^2}{2 \times \left(9,81 \frac{m}{s^2} \right)} \left(4 \times (0,049) \frac{7,25 m}{0,0158 m} + 18,498 \right) = 0,32 m$$

Carga o energía por unidad de peso

Acorde a la gráfica mostrada en el anexo 6, para un $Re = 5471,6$ el factor de corrección de la energía cinética (α) es 1,123.

$$\frac{\Delta P}{\rho g} + \Delta Z + \alpha \frac{\Delta v^2}{2g} + h_p = -\frac{W_e}{g} = H \quad (9)$$

Escogiendo todos los equipos como un solo sistema, se estableció como posiciones 1 y 2 la superficie del líquido de la marmita y llenadora respectivamente. Considerando que las presiones y velocidades son iguales, la ecuación 9 se redujo a:

$$Z_2 - Z_1 + h_p = -\frac{W_e}{g} = H$$

Por lo tanto,

$$H = -\frac{W_e}{g} = 2,4 \text{ m} - 1,6 \text{ m} + 0,32 \text{ m}$$

$$H = 1,12 \text{ m}$$

ANEXO 19

Cálculos previos a la determinación de la presión de salida de bomba centrífuga

Recalculo de la pérdida o resistencia total por accesorios

Tabla de coeficientes de resistencia considerados en nuevo sistema

Accesorios	K	n	K _{turb}
Codo 90° Estándar Roscado	0,9	3	2,7
Válvulas de globo abierta	10	1	10
Ensanchamiento o Expansión brusca	1	1	1
ΣK_{turb}			13,7

Fuente: Elaboración Propia

Corrección del coeficiente total de resistencia

Empleando la gráfica de Moody con una rugosidad relativa de 0,0127 se obtuvo los factores de fricción $f = 0,049$ y $f_{turb} = 0,04$ para un $Re = 5471,6$ y $Re_{crit 2} = 75023$ respectivamente.

$$\sum K = \sum K_{turb} \left(\frac{f}{f_{turb}} \right) \quad (13)$$

$$\sum K = 13,7 \times \left(\frac{0,049}{0,04} \right) = 16,783$$

Pérdidas por fricción

Las tuberías comprendidas en este sistema son L₃, L₄, L₅, y L₆ dando como longitud total 5,25 m.

$$h_p = \frac{v^2}{2g} \left(4f \frac{L}{D} + \sum K_i \right) \quad (10)$$

$$h_p = \frac{\left(0,24 \frac{m}{s} \right)^2}{2 \times \left(9,81 \frac{m}{s^2} \right)} \left(4 \times (0,049) \frac{5,75 m}{0,0158 m} + 16,783 \right)$$

$$h_p = 0,26 m$$

ANEXO 20

Cálculos previos a la determinación del tiempo de calentamiento

Área de transferencia de calor

$$\begin{aligned}A_o &= \pi D_o L & A_i &= \pi D_i L & (16) \\A_o &= (\pi) \times (1,25) \times (1,47) & A_i &= (\pi) \times (1,25) \times (1,32) \\A_o &= 5,773 \text{ m}^2 & A_i &= 4,561 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Número de Reynolds

$$\begin{aligned}Re &= \frac{\rho n D_a^2}{\mu} & (5) \\Re &= \frac{\left(1135,801 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \times \left(0,833 \frac{\text{Rev}}{\text{s}}\right) \times (0,366 \text{ m})^2}{0,0004301 \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 295865,7758\end{aligned}$$

Número de Prandtl del fluido en el interior del tanque

$$\begin{aligned}Pr &= \frac{C_p \mu}{k} & (17) \\Pr &= \frac{\left(3061,861 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right) \times (0,0004301 \text{ Pa} \cdot \text{s})}{0,5529 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}} = 2,382\end{aligned}$$

Número de Nusselt del fluido en el interior del tanque

Para el agua se puede decir que el factor $(\mu/\mu_w) = 1$.

$$Nu = 0,44 Re^{2/3} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,24} \quad (19)$$

$$Nu_l = 0,44 \times (295865,7758)^{2/3} \times (2,382)^{1/3} \times (1)^{0,24} = 2609,071$$

Coeficiente de transferencia de calor convectivo al interior y exterior del tanque

Para la superficie externa del tanque el coeficiente de transferencia de calor se encuentra en un rango de 2500 a 100000 W/ m².°C (Ver Tabla 14) y el valor seleccionado para el desarrollo de este trabajo es de 8000 W/ m².°C

$$h_i = \frac{Nu_i k}{D_i} \qquad h_o = \frac{Nu_o k_o}{D_o} \qquad (20)$$

$$h_i = \frac{(2609,071) \times \left(0,5529 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right)}{1,1m} \qquad h_o = 8000 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$h_i = 1311,408 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Coefficiente Global limpio de transferencia de calor

Se desprecian las resistencias de las paredes del tanque.

$$U_c = \frac{h_i h_o}{h_i + h_o} \qquad (22)$$

$$U_c = \frac{\left(1311,408 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right) \times \left(8000 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right)}{\left(1311,408 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right) + \left(8000 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right)} = 1126,711 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Coefficiente Global sucio de transferencia de calor

Se considera un factor de suciedad para vapor de agua de $0,0009 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$ según la tabla mostrada en el anexo 10.

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_c} + R_d \qquad (24)$$

Despejando U_D , la ecuación se reordena de la siguiente forma:

$$U_D = \frac{1}{\frac{1}{U_c} + R_d}$$

$$U_D = \frac{1}{\frac{1}{1126,711 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}} + 0,0009 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}}$$

$$U_D = 559,428 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

ANEXO 21

Cálculos previos a la determinación del tiempo de enfriamiento

Número de Reynolds para el fluido en el interior del tanque

$$Re = \frac{\rho n D_a^2}{\mu} \quad (5)$$

$$Re = \frac{\left(1147,9 \frac{kg}{m^3}\right) \times \left(0,833 \frac{Rev}{s}\right) \times (0,366 m)^2}{0,000798 Pa.s} = 161168,764$$

Número de Prandtl para el fluido en el interior del tanque

$$Pr_i = \frac{C_p \mu}{k} \quad (17)$$

$$Pr_i = \frac{\left(3050,657 \frac{J}{Kg.^{\circ}C}\right) \times (0,000798 Pa.s)}{0,514 \frac{W}{m.^{\circ}C}} = 4,7304$$

Número de Prandtl para el fluido en el exterior del tanque o chaqueta

$$Pr_o = \frac{C_p \mu}{k} \quad (17)$$

$$Pr_o = \frac{\left(4180 \frac{J}{Kg.^{\circ}C}\right) \times (0,000891 Pa.s)}{0,607 \frac{W}{m.^{\circ}C}} = 6,135$$

Número de Nusselt para el fluido en el interior del tanque

$$Nu_i = 0,44 Re^{2/3} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,24} \quad (19)$$

$$Nu_i = 0,44 \times (161168,764)^{2/3} \times (4,7304)^{1/3} \times (1)^{0,24} = 2187,464$$

Media Logarítmica de temperatura

$$LMTD = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} \quad (25)$$

Lo cual es,

$$LMTD = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)} \quad (26)$$

$$LMTD = \frac{(65,5^\circ C - 40^\circ C) - (30^\circ C - 25^\circ C)}{\ln\left(\frac{65,5^\circ C - 40^\circ C}{30^\circ C - 25^\circ C}\right)} = 12,582$$

Número de Nusselt para el fluido en chaqueta

$$Nu = 0,15 Pr^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\rho g \beta (LMTD)}{\mu^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (27)$$

$$Nu_o = 0,15 \times (6,135)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\left(997 \frac{kg}{m^3}\right)^2 \times \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) \times \left(0,247 \times 10^{-3} \frac{1}{^\circ C}\right) (12,582)}{(0,000891 Pa \cdot s)^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu_o = 924,633$$

Coefficiente de transferencia de calor convectivo al interior y exterior del tanque

$$h_i = \frac{Nu_i k}{D_i} \qquad h_o = \frac{Nu_o k_o}{D_o} \quad (20)$$

$$h_i = \frac{(2187,463) \times \left(0,5146 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right)}{1,1m} \qquad h_o = \frac{(924,633) \times \left(0,607 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right)}{1,25m}$$

$$h_i = 1023,391 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \qquad h_o = 449,001 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Coefficiente Global limpio de transferencia de calor

Se desprecian las resistencias de las paredes del tanque.

$$U_c = \frac{h_i h_o}{h_i + h_o} \quad (22)$$

$$U_c = \frac{\left(1023,391 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right) \times \left(449,001 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right)}{\left(1023,391 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right) + \left(449,001 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right)} = 312,080 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Coeficiente Global sucio de transferencia de calor

El factor de suciedad para vapor de agua es $0,00053 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$ según la tabla mostrada en el anexo 10.

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_C} + R_d \quad (24)$$

Despejando U_D , la ecuación se reordena de la siguiente forma:

$$U_D = \frac{1}{\frac{1}{U_C} + R_d}$$

$$U_D = \frac{1}{\frac{1}{312,080 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}} + 0,00053 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}} = 267,787 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Constante k_2

$$K_2 = e^{\frac{U \cdot A}{W \cdot C_p f c}} \quad (30)$$

$$k_2 = e^{\frac{(267,787) \times (4,561)}{(1,4) \times (4180)}}$$

$$k_2 = 1,23$$

ANEXO 22

Tabla de equipos seleccionados

Equipo	Especificaciones Técnicas
<p>Balanza</p> 	<p>Rango de Máximo de Pesado: 150 Kg Tiempo de respuesta: 2 segundos Unidades: g, kg Calibración: Automática Plato de pesado: Acero inoxidable Alimentación 230 V</p>
<p>Marmita</p> 	<p>Volumen: 800 L Diámetro: 1,3 m Profundidad: 1,5 m Presión de trabajo: 0.9 MPa (Ajustable) Velocidad de Mezcla: 50 RPM (Ajustable) Mezcla de Potencia: 0.55 kW</p>
<p>Bomba</p> 	<p>Flujo máximo: 1600 LPM Cabeza máxima: 110 M Potencia de Salida: 0.25 kW Succión máxima: 8M Temp. ambiente máx.: 40°C Temp. máxima de líquido: 60°C</p>
<p>Llenadora</p> 	<p>Velocidad de llenado: 48 botellas por minuto Rango de llenado: 50-250 ml Banda transportadora: 2,4 m Material: Acero Inoxidable Corriente: 0.17m³/min Potencia: 1 kW</p>
<p>Caldera</p> 	<p>Modelo: CPA-BT Tipo: Piro-tubular Producción de Vapor: 450 Kg/h Potencia del motor: 305,87 kW Presión: 500 kPa</p>

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 23

Estimación de los costos de materia prima y material de empaque

Tabla de costo de materia prima

Materia Prima Ingredientes	Formulación (%)	Cantidad x Batch (Kg)	Costo MP (\$/Kg)	Costo MP x Batch (\$)
Agua	73,00%	584	\$ 0,60	\$ 350,40
Dextrosa	26,57%	212,524	\$ 5,60	\$ 1.190,13
Ácido	0,34%	2,720	\$ 0,10	\$ 0,2720
Saborizante	0,042%	0,336	\$ 11,75	\$ 3,95
Colorante	0,0025%	0,020	\$ 14,30	\$ 0,29
Sorbato	0,05%	0,400	\$ 0,20	\$ 0,0800
TOTAL	100%	800	\$ 32,55	\$ 1.545,12

Fuente: Elaboración Propia

Tabla de costo de material de empaque

Material Empaque	Unid	Costo (\$/Unid)	Costo x Batch
Envases	13.559	\$ 0,13	\$ 1.762,67
Etiqueta	13.559	\$ 0,08	\$ 1.084,72
TOTAL	--	\$ 0,21	\$ 2.847,39

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 24

Estimación de los costos de mano de obra directa e indirecta

Tabla de costo de mano de obra directa

Etapa del proceso	# Operarios	Salario Anual	13 ero sueldo	14to sueldo	Aportaciones anuales	Total
Recepción y Pesado	1	\$ 4.500	\$ 375	\$ 375	\$ 546,75	\$ 5.796,75
Mezclado y trat. Térmico						
Envasado y sellado	3	\$ 13.500	\$ 1.125	\$ 1.125	\$ 1.640	\$ 17.390,25
TOTAL	4	\$ 18.000	\$ 1.500	\$ 1.500	\$ 2.187	\$ 23.187,00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla de costo de mano de obra indirecta

Gastos Administrativos	Total Personal	Salario Anual	13 ero sueldo	14to sueldo	Aportaciones anuales	Total
Gerente General	1	\$ 24.000	\$ 2.000	\$ 375	\$ 2.916	\$ 29.291
Supervisor de Producción	1	\$ 10.800	\$ 900	\$ 375	\$ 1.312,20	\$ 13.387,20
Supervisor de Control de Calidad	1	\$ 10.800	\$ 900	\$ 375	\$ 1.312,20	\$ 3.387,20
Total	3	\$ 45.600	\$ 3.800	\$ 2.625	\$ 5.540,40	\$ 56.065,40

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 25

Estimación de los costos y depreciación de Equipos

Tabla de costo y depreciación de equipos

Equipo	Costo	Cant.	Costo Total	Vida útil (Años)	Depreciación Activos	Valor residual	Depreciación anual
Balanza	\$ 1.669	1	\$ 1.669	10	10%	\$ 166,90	\$ 150,21
Marmita	\$ 10.080	1	\$ 10.080	10	10%	\$ 1.008	\$ 907,20
Bomba	\$ 1.082,34	1	\$ 1.082,34	10	10%	\$ 108,23	\$97,41
Llenadora	\$ 8.850	1	\$ 8.850	10	10%	\$ 885	\$ 796,50
Caldero	\$ 10.500	1	\$ 10.500	10	10%	\$ 1.050	\$ 945
Total			\$ 32.181,34	10	10%	\$ 3.218,13	\$ 2.896,32

Fuente: Elaboración Propia

Tabla de costo por consumo de energía eléctrica

Equipos	Potencia	Tiempo de operación batch (h)	ENERGIA ELECTRICA Kw-H /Batch	Costo (\$) / Kw-h	Costo por batch (\$)
Balanza	0,24 kw	0,500 horas	0,12 kw-h	\$ 0,09	\$ 0,0108
Agitador	0,55 kw	1,9 horas	1,05 kw-h	\$ 0,09	\$ 0,09
Bomba	0,25 kw	0,417 horas	0,10 kw-h	\$ 0,09	\$ 0,0094
Llenadora	1,00 kw	4,700 horas	4,70 kw-h	\$ 0,09	\$ 0,4230
TOTAL	2,04 kw	7,517 horas	5,97 kw-h	\$ 0,36	\$ 0,5372

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 26

Estimación de los costos indirectos

Tabla de costos indirectos

Servicios y suministros	Unidad	Consumo por Batch	Costo por Unidad (\$)	Costo por batch (\$)
Agua	m ³	6,00	\$ 0,50	\$ 3,00
Energía	kW-h	5,97	\$ 0,09	\$ 0,54
Diésel	Kg	50,34	\$ 1,03	\$ 51,80
TOTAL	--	--	\$ 1,62	\$ 55,34

Fuente: Elaboración Propia