



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**Sede Santo Domingo**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL Y SISTEMAS DE GESTIÓN**

Tesis de grado previa a la obtención del título de:  
**INGENIERO AGROINDUSTRIAL, MENCIÓN EN ALIMENTOS**

**“DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UN PASTEURIZADOR PARA LA  
ELABORACIÓN DE UNA BEBIDA ARTIFICIAL NO ALCOHÓLICA SABOR A  
CITRUS PUNCH EN LA PLANTA DE AGUA QUE RICA”**

**Estudiante:**  
**CRISTHIAN VINICIO GUTIÉRREZ HERRERA**

**Director de Tesis:**  
**ING. JUAN CRESPÍN**

Santo Domingo – Ecuador  
Agosto, 2014

**“DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UN PASTEURIZADOR PARA LA ELABORACIÓN DE UNA BEBIDA ARTIFICIAL NO ALCOHÓLICA SABOR A CITRUS PUNCH EN LA PLANTA DE AGUA QUE RICA”**

Ing. Juan Crespín

**DIRECTOR DE TESIS**

---

**APROBADO**

Ing. Daniel Anzules

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Karina Cuenca

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Alejandro Bermúdez

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Santo Domingo.....de.....del 2014.

**Autor: CRISTHIAN VINICIO GUTIÉRREZ HERRERA**  
**Institución: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**Título de Tesis: “DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UN PASTEURIZADOR PARA LA ELABORACIÓN DE UNA BEBIDA ARTIFICIAL NO ALCOHÓLICA SABOR A CITRUS PUNCH EN LA PLANTA DE AGUA QUE RICA”**  
**Fecha: AGOSTO, 2014**

El contenido del presente trabajo, está bajo la responsabilidad del autor.

---

**Cristhian Vinicio Gutiérrez Herrera**  
**C.I. 172032232-8**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**Sede Santo Domingo**

**INFORME DEL DIRECTOR DE TESIS**

Santo Domingo,.....de.....del 2014.

Ing. Daniel Anzules

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

Estimado Ingeniero

Mediante la presente tengo a bien informar que el trabajo investigativo realizado por el señor: **CRISTHIAN VINICIO GUTIÉRREZ HERRERA**, cuyo tema es: **“DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UN PASTEURIZADOR PARA LA ELABORACIÓN DE UNA BEBIDA ARTIFICIAL NO ALCOHÓLICA SABOR A CITRUS PUNCH EN LA PLANTA DE AGUA QUE RICA”**; ha sido elaborado bajo mi supervisión y revisado en todas sus partes, por lo cual autorizo su respectiva presentación.

Particular que informo para los fines pertinentes.

Atentamente,

---

Ing. Juan Crespín

**DIRECTOR DE TESIS**

## **DEDICATORIA**

*Dedico ésta Tesis a Dios, por estar siempre presente en mi corazón y por haber puesto en mi camino a las personas idóneas y sinceras, que sin ningún tipo de interés hicieron posible llegar a culminar este proyecto de grado.*

*A mis padres por ser mi ejemplo a seguir, por su amor desmedido y por apoyarme incondicionalmente, desde mucho antes de tener uso de razón.*

*A mi hermana Erika, porque con sus ocurrencias ha logrado que a todas las situaciones las reciba con una sonrisa.*

*A Liz, mi enamorada, amiga y compañera eterna, por estar siempre a mi lado siendo la luz que guía mi sendero y por compartir junto a mí los momentos más lindos e importantes de mi vida.*

*A los hijos que Diosito en un futuro me permita tener.*

*A mis abuelos y demás familia.*

*Cristhian Gutiérrez*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios en primer lugar, por haber hecho posible algo que comenzó como un sueño y que hoy se torna en toda una realidad.*

*A la Universidad Tecnológica Equinoccial - Sede Santo Domingo, por brindarme una preparación sólida a través de su cuerpo de docentes altamente calificados y profesionales, los cuales han sido un pilar fundamental en mi formación académica.*

*Al Ingeniero Daniel Anzules, le agradezco por sus acertados consejos y por siempre estar dispuesto a apoyar a todos quienes hemos acudido a él.*

*A mi Director de tesis el Ingeniero Juan Crespín, primeramente por brindarme su amistad y por ser un guía que con paciencia me ha sabido transmitir sus conocimientos.*

*A mis calificadores, Ingeniera Karina Cuenca e Ingeniero Alejandro Bermúdez, por haberme instruido durante mi preparación profesional y por además haberme brindado el apoyo que necesite durante la elaboración de este proyecto de grado*

*A los docentes de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial y amigos, por haber compartido conmigo de gratos momentos a lo largo de este trayecto.*

*Cristhian Gutiérrez*

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>TEMA</b>	<b>PÁG.</b>
Portada.....	i
Sustentación y Aprobación de los Integrantes del Tribunal.....	ii
Responsabilidad del Autor .....	iii
Aprobación del Director de Tesis.....	iv
Dedicatoria .....	v
Agradecimiento .....	vi
Índice.....	vii
Resumen Ejecutivo.....	xi
Executive Summary .....	xii

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

1.1.	Planteamiento del Problema.....	1
1.2.	Justificación de la investigación.....	1
1.3.	Objetivos .....	2
1.3.1.	Objetivo general .....	2
1.3.2.	Objetivos específicos.....	2

### CAPÍTULO II

#### REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	Antecedentes de la investigación .....	3
2.2.	Fundamentos teóricos.....	4
2.2.1.	Pasteurización.....	4

2.2.1.1.	Tipos de pasteurización .....	4
2.2.1.2.	Tasas de crecimiento típicas de diferentes tipos de microorganismos .....	5
2.2.2.	Pasteurizador .....	6
2.2.2.1.	Componentes que constituyen un pasteurizador.....	6
2.2.3.	Transferencia de calor .....	13
2.2.3.1.	Transferencia de calor por conducción .....	13
2.2.3.2.	Transferencia de calor por convección .....	14
2.2.4.	Coficiente total de transferencia de calor .....	19
2.2.5.	Conductividad térmica.....	21

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1.	Sitio del estudio.....	23
3.2.	Tipo y nivel de investigación .....	23
3.3.	Métodos de investigación.....	23
3.4.	Fuentes y técnicas de investigación .....	24
3.5.	Materiales, elementos y accesorios para la construcción del pasteuriz... 24	
3.6.	Diagrama de flujo cuantitativo, para la elaboración de la bebida, lab ....	25
3.7.	Balance de energía a nivel de laboratorio .....	27
3.8.	Síntesis del balance de energía a nivel de Planta Piloto y dimensionam..	43

### **CAPÍTULO IV**

#### **CONSTRUCCIÓN Y FUNCIONAMIENTO**

4.1.	Materiales utilizados en la construcción del pasteurizador (detallado)...	47
4.2.	Descripción de la construcción del pasteurizador .....	48
4.3.	Identificación de los botones del panel de control .....	48
4.4.	Funcionamiento de los dispositivos del panel de control del pasteuriz... 49	

4.4.1.	Botón de encendido y apagado del equipo .....	49
4.4.2.	Botón de parada de emergencia.....	49
4.4.3.	Control de temperatura .....	49
4.4.4.	Botón de encendido y apagado del agitador .....	49
4.4.5.	Bomba del producto .....	50
4.5.	Procedimiento para el uso del pasteurizador en la elaboración de.....	50
4.6.	Limpieza del pasteurizador .....	51
4.7.	Mantenimiento y cambio de los componentes del pasteurizador.....	51
4.8.	Evaluación del pasteurizador en la elaboración de una bebida artificial	52
4.9.	Balance de costos de la construcción del pasteurizador.....	52

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1.	Conclusiones .....	53
5.2.	Recomendaciones.....	54
BIBLIOGRAFÍA.....		55
ANEXOS.....		57

### **ÍNDICE DE CUADROS**

Cuadro N° 1.	Métodos de pasteurización.....	4
Cuadro N° 2.	Valores característicos de número de Prandtl.....	18
Cuadro N° 3.	Conductividad térmica de diversos materiales (W/m·K).....	22
Cuadro N° 4.	Determinación de temperatura y potencia del pasteurizador, lab .....	27
Cuadro N° 5.	Materiales utilizados en la construcción del pasteurizador.....	47
Cuadro N° 6.	Evaluación del pasteurizador en la elaboración de una bebida artificial	52
Cuadro N° 7.	Balance de costos de la construcción del pasteurizador.....	52

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1. Crecimiento de microorganismos en respuesta a la temperatura .....	5
Gráfico N° 2. Pasteurizador .....	6
Gráfico N° 3. Transferencia de calor por conducción.....	13
Gráfico N° 4 Representación de transferencia de calor .....	19
Gráfico N° 5. Representación de la transferencia por convección.....	20
Gráfico N° 6. Panel de control .....	48

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis microbiológicos (presentación de la bebida en funda).....	58
Anexo 2. Análisis microbiológicos (presentación de la bebida en botella) .....	60
Anexo 3. Fotografías del proceso de construcción del pasteurizador .....	62
Anexo 4. Fotografías del proceso de elaboración de la bebida artificial .....	63
Anexo 5. Balance de materia de la elaboración de una bebida, planta piloto .....	65
Anexo 6. Diseño del pasteurizadora nivel de planta piloto en la Planta de agua... 84	
Anexo 7. Diseño del pasteurizador (vista frontal).....	93
Anexo 8. Diseño del pasteurizador (vista superior) .....	94
Anexo 9. Diseño del agitador del equipo (vista frontal) .....	95
Anexo 10. Plano 3 D de la planta piloto para la elaboración de una bebida artif. .. 96	
Anexo 11. Potencial calorífico de los gases .....	97
Anexo 12. Propiedades del vapor saturado .....	98
Anexo 13. Propiedades del aire .....	99
Anexo 14. Correlación de convección libre para superficies verticales. ....	100
Anexo 15. Datos para consumo de potencia de los agitadores - mezcladores .....	101

## RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto de grado detallado a continuación, describe el proceso de diseño, construcción y puesta en marcha de un pasteurizador, cuyo equipo llevará a cabo el proceso de pasteurizado de una bebida artificial no alcohólica con sabor a citrus punch, para la creación de esta nueva línea de producción dentro de la planta de agua Que Rica, y con ello comercializar un producto que cuente con las características propias de una bebida artificial de buena calidad.

La construcción del pasteurizador requirió de mano de obra calificada, para lo cual previamente se determinaron los parámetros de diseño tales como: diámetro, altura, área de transferencia de calor, coeficiente de convección, coeficiente global de transferencia de calor, etc., este equipo fue construido en su totalidad de acero inoxidable AISI 304y con un espesor de 3 milímetros.

Durante el proceso, el pasteurizador funciona con vapor saturado a 96 °C y 88.081 KPa de presión. La elaboración de la bebida tuvo una aplicación de tiempo y temperatura de pasteurización de 60 °C por 4 minutos.

La bebida artificial fue sometida a análisis microbiológicos para verificar si los parámetros de diseño aplicados al equipo cumplirían con las expectativas de obtener un producto inocuo y cuyos resultados obtenidos indican que si cumplen con el criterio microbiológico establecido en la norma referencial comparativa NTE INEN 2411: 2008, NTE INEN 1 101: 2008. Bebidas gaseosas, energéticas. Requisitos.

La eficiencia del pasteurizadora nivel de laboratorio es del 99.62 %.

## **EXECUTIVE SUMMARY**

The grade project detailed then describes the design process, construction and launch of a pasteurizer whose team will carry out the process of pasteurized of an artificial non-alcoholic beverage flavored with citrus punch for the creation of this new line production within of the Que Rica water plant, and with it market a product that has with the own characteristics of an artificial beverage good quality.

The construction of the pasteurizer was required skilled manpower for which it previously were determined the design parameters such as: diameter, height, area of heat transfer, convection coefficient, overall coefficient of heat transfer, etc., This team was built entirely of stainless steel AISI 304 and with a thickness of 3 mm.

During the process, the pasteurizer works with saturated steam at 96 °C and 88.081 kilopascals pressure. The making the drink has an application of time and temperature of pasteurization at 60 °C for 4 minutes.

The artificial beverage was subjected to microbiological analysis to check if the design parameters applied to the equipment would comply with the expectation of obtain an innocuous product and whose results obtained indicate that if they comply with the microbiological criteria established in referential norm comparative NTE INEN 2411: 2008, NTE INEN 1 101: 2008. Fizzy energy drinks. Requirements.

The efficiency of the at laboratory level pasteurizer is 99.62 %.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del Problema

La planta de agua “Que Rica” actualmente mantiene la producción y comercialización de agua purificada para consumo humano, considerando necesario incrementar a su proceso un nuevo producto y por tanto el diseño, construcción y puesta en marcha de un equipo que intervenga en la pasteurización indispensable que requiere la elaboración de una bebida artificial para su posterior comercialización y de esta manera cubrir en mayor cantidad las necesidades del mercado que en la actualidad dicha empresa cubre.

### 1.2. Justificación de la investigación

Los productos alimenticios de consumo humano tienden por naturaleza a ser atacados por microorganismos que alteran sus características microbiológicas y organolépticas, por lo que requieren de la implementación indispensable de algún método de conservación, siendo la pasteurización uno de los procesos más utilizados para conservar alimentos, sobretodo líquidos.

Este método de conservación permite no alterar considerablemente su composición o caracterización propia, porque se rige a tiempos de pasteurizado comúnmente cortos, garantizando de esta manera que el producto mantenga sus cualidades originales.

Finalmente con este tema de investigación lo que se desea es diseñar y construir un pasteurizador idóneo que permita dar un correcto proceso de conservación a un producto alimenticio el cual este dentro de los estándares de calidad alimentaria e inocuo.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Diseñar los parámetros técnicos, para la construcción y puesta en marcha de un pasteurizador en la Planta de agua “Que Rica”, para crear una línea de producción de bebidas artificiales.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar las especificaciones técnicas de un pasteurizador, para su construcción, conociendo la presión y temperatura con las que funciona dicho equipo.
- Elaborar la bebida artificial no alcohólica sabor a citrus punch, para crear una línea de producción de bebidas artificiales.
- Determinar el tiempo y temperatura de pasteurización, para la obtención de los parámetros óptimos de la bebida artificial con sabor a Citrus Punch.
- Evaluar la eficiencia térmica del pasteurizador, para conocer la cantidad de calor perdido y ganado.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

Según Negroni, M. (2009). “El término “pasteurización” se adoptó en honor a Louis Pasteur, que diseñó un método para prevenir la descomposición de la cerveza y el vino. El método de Pasteur se basaba en el empleo de un calentamiento moderado que resultaba suficiente para destruir los microorganismos que causaban el deterioro sin alterar notoriamente el sabor del producto.

Más tarde se aplicó el mismo principio a la leche para producir lo que llamamos leche pasteurizada. Al comienzo la leche se pasteurizaba para lograr la eliminación de uno de los agentes causales de la tuberculosis y del agente responsable de la brucelosis. Muchos microorganismos relativamente resistentes al calor sobreviven a la pasteurización pero no constituyen una fuente probable de enfermedades; sin embargo, pueden producir deterioro de la leche refrigerada durante un tiempo razonable.

El tratamiento clásico de pasteurización de la leche consiste en el calentamiento de esta a una temperatura de 62 a 63 °C durante 30 minutos, seguidos de un enfriamiento rápido. Actualmente se emplean temperaturas mayores de 72 a 75 °C, pero solo durante 15 segundos. Este tratamiento se conoce como pasteurización rápida. Esta temperatura, que es más alta que la necesaria para destruir a los patógenos mencionados, reduce el número total de bacterias, de forma que la leche se mantiene por más tiempo bajo refrigeración.

Con la pasteurización se consigue la destrucción de la mayoría de las formas vegetativas de las bacterias y de la mayor parte de los virus, pero no de los agentes termófilos ni de las esporas.”

## 2.2. Fundamentos teóricos

### 2.2.1. Pasteurización

Según Tortora, J. (2007). “La pasteurización es una operación de estabilización de alimentos que persigue la reducción de la población de microorganismos presentes en éstos de forma que se prolongue el tiempo de vida útil del alimento. La pasteurización consigue disminuir la población de microorganismos mediante la elevación de la temperatura durante un tiempo determinado, lo que implica la aplicación de calor. La pasteurización es un tratamiento térmico suave, en contraposición con la esterilización, que es un tratamiento muy intenso. La pasteurización emplea temperaturas y tiempos de contacto relativamente bajos, consiguiendo una prolongación moderada de la vida útil a cambio de una buena conservación del valor nutritivo y de las cualidades organolépticas del alimento.”

#### 2.2.1.1. Tipos de pasteurización

Según Gonzales, F. (2013). “Existen tres procesos o métodos diferentes de pasteurización dependiendo de la temperatura y el tiempo de exposición.

**Cuadro N° 1**

Métodos de pasteurización

MÉTODO	TEMPERATURA	TIEMPO
LTH, LTLT o VAT (Low Temperature Holding o Low Temperature Long Time)	63 °C	30 min.
HTST (High Temperature Short Time)	72 – 75 °C	15 - 20 s.
Ultrapasteurización	Hasta 100 °C	Tiempos inferiores a 1 s.

**Fuente:** González F. / 2013

El antiguo método VAT es el proceso de pasteurización más antiguo y se ha ido renovando por otros como el HTST; de hecho, cuando se habla de pasteurización en general, en la mayoría de las ocasiones se hace refiriéndose a este último proceso.”

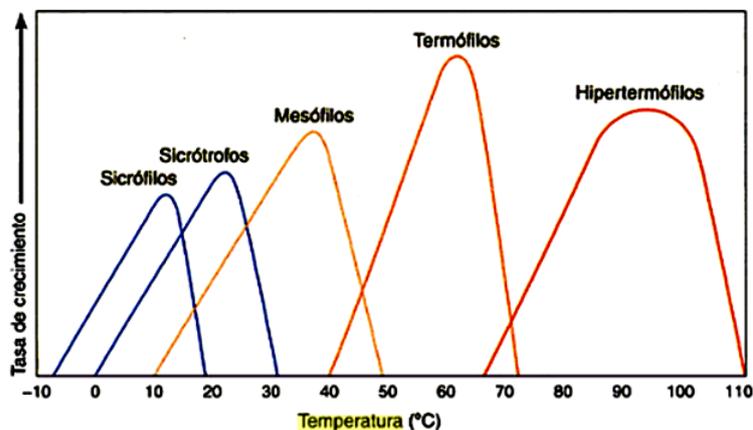
### 2.2.1.2. Tasas de crecimiento típicas de diferentes tipos de microorganismos en respuesta a la temperatura

Según Tortora, J. (2007). “La mayor parte de los microorganismos crecen bien a las temperaturas preferidas por los seres humanos. Sin embargo, ciertas bacterias pueden desarrollarse en temperaturas extremas que por cierto impedirían la supervivencia de casi todos los organismos eucariontes.

Los microorganismos se clasifican en tres grupos principales sobre la base de sus límites de temperatura preferidos: psicrófilos (microbios con afinidad por el frío), mesófilos (microbios con afinidad por la temperatura moderada) y termófilos (microbios con afinidad por el calor). La mayor parte de las bacterias crecen solo dentro de un espectro limitado de temperaturas y las temperaturas de crecimiento máxima y mínima solo están separadas por 30 °C.”

**Gráfico N° 1**

Crecimiento de microorganismos en respuesta a la temperatura



**Fuente:** Introducción a la microbiología/ 2007

### 2.2.2. Pasteurizador

Según el Banco de la República Cultural de Colombia. “La pasteurizadora es una máquina que tiene como función lograr que los alimentos que se introducen en ella queden libres de bacterias por medio del calentamiento de los mismos a elevadas temperaturas, haciendo que conserven sus propiedades y características tales como valor nutricional y sabor original.

La pasteurizadora recibe este nombre, en honor a su inventor, el francés Louis Pasteur en 1865.”

**Gráfico N° 2**  
Pasteurizador



**Fuente:** Galería de Industrias Cardín

#### 2.2.2.1. Componentes que constituyen un pasteurizador

##### Acero inoxidable

Según la Universidad Tecnológica de Pereira. “Los Aceros Inoxidables son una gama de aleaciones que contienen un mínimo de 11 % de Cromo. El Cromo forma en la superficie del acero una película pasivante, extremadamente delgada, continua y estable. Esta película deja la superficie inerte a las reacciones químicas. Esta es la característica principal de resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables.

El extenso rango de propiedades y características secundarias, presentes en los aceros inoxidable hacen de ellos un grupo de aceros muy versátiles.

La selección de los aceros inoxidable puede realizarse de acuerdo con sus características:

- Resistencia a la corrosión y a la oxidación a temperaturas elevadas
- Propiedades mecánicas del acero
- Características de los procesos de transformación a que será sometido
- Costo total (reposición y mantenimiento)
- Disponibilidad del acero

Los aceros inoxidable tienen una resistencia a la corrosión natural que se forma automáticamente, es decir no se adiciona. Tienen una gran resistencia mecánica, de al menos dos veces la del acero al carbono, son resistentes a temperaturas elevadas y a temperaturas criogénicas. Son fáciles de transformar en gran variedad de productos y tiene una apariencia estética, que puede variarse sometiendo el acero a diferentes tratamientos superficiales para obtener acabado a espejo, satinado, coloreado, texturizado, etc. Volver

### **Clasificación de los aceros inoxidable**

Los aceros inoxidable no son indestructibles, sin embargo con una selección cuidadosa, sometidos a procesos de transformación adecuados y realizando una limpieza periódica, algún integrante de la familia de los aceros inoxidable resistirá las condiciones corrosivas y de servicio más severas.

### **Serie 400 - Aceros Inoxidable Martensíticos**

Son la primera rama de los aceros inoxidable, llamados simplemente al Cromo y fueron los primeros desarrollados industrialmente (aplicados en cuchillería). Tienen un contenido de Carbono relativamente alto de 0.2 a 1.2 % y de Cromo de 12 a 18 %.

Los tipos más comunes son el AISI 410, 420 y 431

Las propiedades básicas son: Elevada dureza (se puede incrementar por tratamiento térmico) y gran facilidad de maquinado, resistencia a la corrosión moderada.

Principales aplicaciones: Ejes, flechas, instrumental quirúrgico y cuchillería.

### **Serie 400 - Aceros Inoxidables Ferríticos**

También se consideran simplemente al Cromo, su contenido varía de 12 a 18 %, pero el contenido de Carbono es bajo  $< 0.2$  %.

Los tipos más comunes son el AISI 430, 409 y 434.

Las propiedades básicas son: Buena resistencia a la corrosión. La dureza no es muy alta y no pueden incrementarla por tratamiento térmico.

Principales aplicaciones: Equipo y utensilios domésticos y en aplicaciones arquitectónicas y decorativas.

### **Serie 300 -Aceros Inoxidables Austeníticos**

Son los más utilizados por su amplia variedad de propiedades, se obtienen agregando Níquel a la aleación, por lo que la estructura cristalina del material se transforma en austenita y de aquí adquieren el nombre. El contenido de Cromo varía de 16 a 28 %, el de Níquel de 3.5 a 22 % y el de Molibdeno 1.5 a 6 %.

Los tipos más comunes son el AISI 304, 304L, 316, 316L, 310 y 317.

Las propiedades básicas son: Excelente resistencia a la corrosión, excelente factor de higiene - limpieza, fáciles de transformar, excelente soldabilidad, no se endurecen por tratamiento térmico, se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas.

Principales aplicaciones: Utensilios y equipo para uso doméstico, hospitalario y en la industria alimentaria, tanques, tuberías, etc.”

### **Carcasa**

En general se denomina carcasa a un conjunto de piezas duras y resistentes, que dan soporte (internas) o protegen (externas) a otras partes de un equipo. En el pasteurizador está construido por acero inoxidable AISI 304, de 3 mm de espesor.

### **Manómetros**

Según Franco, J. (2006). “Nos dan una información muy importante del funcionamiento de las instalaciones. Como sabemos, en todo circuito hay que distinguir alta y baja presión. Por lo tanto, tenemos un manómetro para alta y otro para baja presión.

Sus principales características son:

- a) Lo que diferencia a un manómetro de alta de uno de baja presión, está en los valores de sus escalas:
  - En el manómetro de baja presión, suele estar comprendida entre -1/+10 bar.
  - En el manómetro de alta presión, va de 0 a 35 bar.

b) Se distinguen por sus colores:

- El manómetro de baja presión es de color azul.
- El manómetro de alta presión es de color rojo.

c) En todo manómetro hay que distinguir varias escalas:

- Una correspondiente a las presiones.
- Y dos o tres más que corresponden a las temperaturas de otros tantos fluidos.”

### **Termómetro**

Según Núñez, H. (2007). “El termómetro simple de mercurio consta de un tubo de vidrio cerrado por un extremo y, en el extremo opuesto, tiene un depósito denominado bulbo. El tubo interno, que es en realidad de dimensiones capilares— su radio es muy pequeño—, se encuentra conectado como un solo objeto al bulbo. A la vez, este se encuentra lleno de mercurio— en el caso común que estamos analizando—, aunque podemos encontrar termómetros llenos con una diversidad de sustancias. A la sustancia que se utiliza en el termómetro se le conoce como sustancia termométrica.

Para que un termómetro funcione, la sustancia termométrica debe dilatarse y contraerse térmicamente, de manera que si aumenta la temperatura de la sustancia termométrica (mercurio), aumente su volumen para pasar al capilar y ascender (si el termómetro está en posición vertical).”

Según Millán, A. (2001). “Otra alternativa para la medición de la temperatura son las termocuplas o termopares, cuyo funcionamiento se basa en la generación de una corriente eléctrica producida por un par de alambres de diferente constitución, soldados en sus extremos. La corriente generada es proporcional a la diferencia de temperatura entre las soldaduras.

Otra posibilidad de medición la ofrecen los termómetros infrarrojos, que establecen la temperatura superficial de un cuerpo a partir de la radiación de ondas largas emitidas. Normalmente, todos los tipos de sensores eléctricos están conectados a un registro digital.”

### **Agitador**

McCabe, W. Smith, J. (1981). “El agitador crea un cierto tipo de flujo dentro del sistema, dando lugar a que el líquido circule por todo el recipiente y vuelva de vez en cuando al agitador.

Los agitadores se dividen en dos clases: los que generan corrientes paralelas al eje del agitador y los que dan origen a corrientes en dirección tangencial o radial. Los primeros se llaman agitadores de flujo axial y los segundos, agitadores de flujo radial.

Los tres tipos principales de agitadores son, de hélice, de paletas y de turbina. En algunos casos son útiles también agitadores especiales, pero con los tres antes citados se resuelven, quizás, el 95 % de los problemas de agitación de líquidos.”

### **Accesorios (codos, té, unión)**

Es el conjunto de piezas moldeadas o mecanizadas que unidas a los tubos mediante un procedimiento determinado forman las líneas estructurales de tuberías de una planta de proceso.

Entre los accesorios más comunes se pueden mencionar: las bridas, codos, té, reducciones, cuellos o acoples, válvulas, empacaduras, tornillos y niples.

## **Motor**

Según Calloni, J. (2004). “El motor eléctrico es una máquina que tiene la capacidad de producir movimiento mediante la transformación de la energía eléctrica en trabajo mecánico.

Ello se debe a que la corriente eléctrica circula por un conductor, se crea alrededor del mismo un campo magnético y como relación causa – efecto con relación a la corriente eléctrica que estamos mencionando.”

## **Reductor**

Según Enríquez, G. (2003). “Los reductores d engranajes transmiten la potencia de un motor a la maquina accionada, cambian en forma eficiente el par, la velocidad, dirección y posición.

Los engranajes reductores amplifican el par para la mayoría de las aplicaciones de motores, el par se incrementa proporcionalmente a la relación del reductor.”

## **Panel de control**

Según Rauch, W. (1989). “Los paneles de control, que constituyen la interfase entre el operador humano y la instrumentación de control de generadores, equipos de medida, procesos industriales, presas hidroeléctricas, misiones en el espacio exterior, etc. contienen entre 50 y varios cientos de indicadores, medidores, paneles de lectura digital, alarmas sonoras e indicadores luminosos. Si ocurre una emergencia, los operadores humanos, bajo una enorme presión emocional, tienen que leer, interpretar y actuar conforme un gran volumen de información visual.”

### 2.2.3. Transferencia de calor

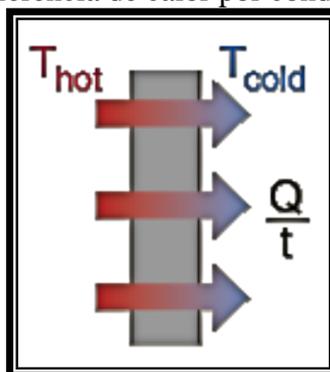
Según Perry, J. (1992). “La transferencia de calor se produce normalmente desde un objeto con alta temperatura, a otro objeto con temperatura más baja. La transferencia de calor cambia la energía interna de ambos sistemas implicados, de acuerdo con la primera.”

Perry explica que tres son los tipos fundamentales de transmisión de calor: conducción, convección y radiación.

#### 2.2.3.1. Transferencia de calor por conducción

La conducción es la transferencia de calor, por medio de la excitación molecular en el interior del material, sin ningún tipo de movimiento entre los objetos. Si un extremo de una barra de metal está a una temperatura más alta, entonces se transferirá energía hacia el extremo más frío, debido a las colisiones de partículas de alta velocidad con las más lentas, produciéndose una transferencia neta de energía hacia estas últimas.

**Gráfico N° 3**  
Transferencia de calor por conducción



**Fuente:** Bon Corbin Jose, Transferencia de calor en ingeniería de Alimentos/ UTE

La forma de cálculo del calor por conducción se representa a continuación:

$$\frac{Q}{t} = \frac{KA (T_{hot} - T_{cold})}{d}$$

Dónde:

$Q$  = calor transferido en el tiempo = (W)

$K$  = conductividad térmica de la barrera (W/ (K\*m))

$A$  = área (m<sup>2</sup>)

$T$  = temperatura (°C)

$D$  = grosor de la barrera (m)

### 2.2.3.2. Transferencia de calor por convección

Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, es casi seguro que se producirá un movimiento de fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección. La obtención del coeficiente global de transferencia de calor se puede obtener a partir de la ecuación de calor. La convección se clasifica en natural y forzada. En la convección forzada se obliga al fluido a fluir mediante medios externos como por ejemplo una bomba.

En la convección natural el movimiento del fluido es mediante agentes naturales como por ejemplo el efecto de la flotación.

La transferencia de calor por convección depende de las propiedades del fluido, de la superficie en contacto con el fluido y del tipo de flujo.

$$Q = h (T_s - T_\infty)$$

Dónde:

$Q/A$  = Flujo de calor, las unidades son (Wm<sup>2</sup>/ o BTU/h.pie<sup>2</sup>)

$h$ = Coeficiente de transferencia de calor, las unidades son ( $Wm^2/$  o  $BTU/h.pie^2^{\circ}F$ )

$T_s$ = Temperatura superficial ( $^{\circ}C$ )

$T_{\infty}$ = temperatura de corriente de aire ( $^{\circ}C$ )

### Números adimensionales utilizados en cálculos de transferencia de calor por convección

Según: Batty, C. Folkman, S. (1990).

#### ➤ Número de REYNOLDS ( $Re$ )

“El número de Reynolds ( $Re$ ) es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, para caracterizar el movimiento de un fluido (laminar o turbulento). Se relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión adimensional.

$$Re = \frac{\text{Fuerzas de inercia}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{U_f L_c \rho}{\nu} = \frac{U_f L_c}{\mu}$$

Dónde:

$U_f$ = velocidad de flujo a una distancia lo suficientemente alejada de la superficie

$L_c$ = Longitud característica:

- Para una placa plana  $L_c$ = distancia al borde de ataque de la placa
- Para un tubo de sección circular  $L_c$ = Diámetro ( $D$ )
- Para un tubo de sección no circular  $L_c$ = Diámetro hidráulico ( $D_{hid}$ )
- Un valor grande del número de Reynolds nos indica que el flujo es turbulento, mientras que un valor pequeño nos indica que el flujo es laminar.

## Flujo laminar

En el flujo laminar en láminas paralelas sin entremezclarse, siguiendo una trayectoria suave. Es por lo tanto este tipo de flujo típico de fluidos a velocidades bajas o bien viscosidades altas.

## Flujo turbulento

Se caracteriza principalmente porque las partículas del fluido no se mueven siguiendo una trayectoria definida, además la acción de la viscosidad es despreciable.

Las partículas del fluido poseen energía de rotación apreciable, y se mueven en forma errática chocando unas con otras.

### ➤ Numero de NUSSELT (Nu)

El número de Nusselt es una magnitud bastante utilizada para la determinación del coeficiente de transferencia de calor por convección, basada en el análisis dimensional.

### Cálculo del número de Nusselt

El número de Nusselt proporciona una medida de la transferencia convectiva de calor en la superficie, siendo definido como:

$$Nu = \frac{h L}{k}$$

Dónde:

Nu = número de Nusselt

h = coeficiente de convección

L = longitud característica teniendo como valor por defecto L = 1

k = coeficiente de conductividad térmica del fluido

Para un tubo circular:

$$\text{Nu} = \frac{h D}{k}$$

Dónde:

N<sub>u</sub> = número de Nusselt

h = coeficiente de transferencia de calor = W/m<sup>2</sup>°C

L = longitud (m)

K = propiedades del aire W/m. °C

➤ **Número de PRANDTL (Pr)**

El número de Prandtl representado por Pr, al igual que muchos números tratados anteriormente, es considerado como un número adimensional, que se va en proporción al cociente entre la difusividad de momento, conocida como viscosidad y la difusividad térmica, este número se encuentra definido con la siguiente fórmula:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\text{velocidad de difusion de la cantidad de movimiento}}{\text{velocidad de difusion de calor}} = \frac{C_p \mu}{k}$$

Dónde:

$\nu$  = viscosidad cinemática

$\alpha$  = difusividad térmica

$C_p$  = capacidad calorífica a presión constante.

$\mu$  = viscosidad.

$k$  = conductividad térmica.

**Cuadro N° 2**  
Valores característicos de número de Prandtl

Valores característicos del número de Prandtl	
<b>Metales líquidos</b>	
Sodio	0,011
Mercurio	0,0196
Bismuto	0,0142
<b>Gases</b>	
Aire	0,70
Dióxido de Carbono	0,75
Monóxido de Carbono	0,73
Helio	0,68
Hidrogeno	0,70
<b>Otros líquidos</b>	
Agua	4,6
<b>Fluidos viscosos</b>	
Aceite de Motor	3400
Glicerina	3060

**Fuente:** Incropera, Frank P. /1999

### ➤ Número de GRASHOF ( $Gr$ )

Representa la relación que existe entre las fuerzas de empuje y las fuerzas viscosas que actúan sobre el fluido. Es un indicativo del régimen de flujo en convección natural, equivalente al número de Reynolds en convección forzada.

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)\delta^2 L^3}{\mu^2}$$

Dónde:

$g$  = es la aceleración de la gravedad. =  $\frac{m}{s^2}$

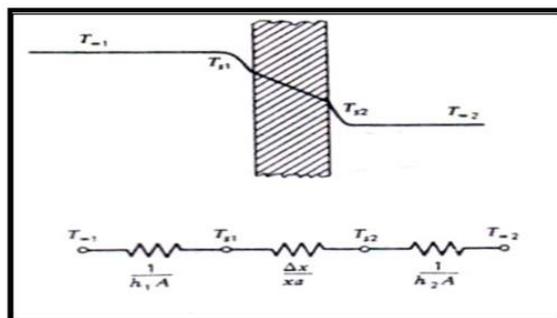
$\beta$  = es el coeficiente de expansión volumétrica de una sustancia; representa la variación de la densidad de esa sustancia con la temperatura a presión constante. Para un gas ideal  $\beta = 1/T$ ;  $T$  es la temperatura absoluta en K.

$L_c$  = es la longitud característica. (m)

$\mu$  = viscosidad =  $Kg/m * s$

#### 2.2.4. Coeficiente total de transferencia de calor

**Gráfico N° 4**  
Representación de transferencia de calor



**Fuente:** Batty, J. Clair. 1990. Fundamentos de ingeniería en alimentos

El problema de transferencia de calor que se encuentra comúnmente en el procesamiento de alimentos implica un proceso con múltiples etapas, en el cual el calor es transmitido por convección, en parte de un fluido a la superficie de una pared sólida y que después será conducido desde la superficie de la pared hacia otro fluido. El coeficiente global de transferencia de calor es específicamente para una pared plana y se calcula así:

La velocidad de transmisión de un fluido por convección de la pared interna a la externa se expresa así:

$$Q_{\text{convection}} = h * A (T_A - T)$$

Dónde:

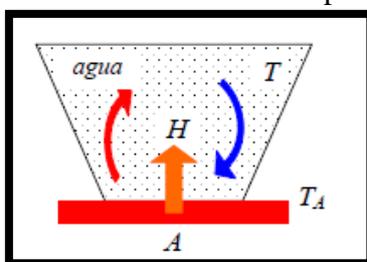
$h$  = se llama coeficiente de convección, en Watt/ (m<sup>2</sup>\*C)

$A$  = es la superficie que entrega calor con una temperatura (m<sup>2</sup>)

$T_A$  = temperatura de superficie (°C)

$T$  = temperatura de corriente libre (°C)

**Gráfico N° 5**  
Representación de la transferencia por convección



**Fuente:** Incropera, Frank P. /1999

El flujo de calor por convección es positivo ( $H > 0$ ) si el calor se transfiere desde la superficie de área  $A$  al fluido ( $T_A > T$ ) y negativo si el calor se transfiere desde el fluido hacia la superficie ( $T_A < T$ ).”

#### 2.2.4.1. Coeficiente global de transferencia de calor

Según Alvarado, J. (2009). “Es una parte esencial de cualquier análisis. Recordando lo visto en el tema de conducción, este coeficiente se define en términos de la resistencia térmica total para la transferencia de calor, en este caso, entre dos fluidos.

$$Q - \text{Punto} = U * A (T_s - T_i)$$

Dónde:

Q = calor transferido (W)

U = coeficiente global de transferencia de calor =  $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

A = área =  $m^2$

Ts = temperatura de superficie ( $^\circ C$ )

Ti = temperatura de corriente ( $^\circ C$ )

### Potencia de mezcladores

Según Batty, C. Folkman, S. (1990). “La ecuación para determinar el consumo de potencia en los agitadores –mezcladores es la siguiente:

$$P = \frac{K}{gc} (\delta \times N^3 \times D^5)$$

De dónde:

P = potencia

K = factor de potencia

D = diámetro

$\delta$  = densidad

N = velocidad angular

### 2.2.5. Conductividad térmica

Según Badger y Banchemo (1986). “La conductividad térmica es la capacidad de los materiales para dejar pasar el calor. En otras palabras, la conductividad térmica es la capacidad de los elementos de transferir el movimiento cinético de sus moléculas a sus propias moléculas adyacentes o a otros elementos cercanos. Cuando se calienta la materia

varía el comportamiento de su estado molecular, incrementándose su movimiento. Es decir, las moléculas salen de su estado de inercia o reposo y adquieren un movimiento cinético provocado por el aumento de temperatura”

La conductividad térmica está dada en  $W/K \cdot m$ , y la formula mediante la cual se calcula la conductividad térmica es la siguiente:

$$k = q \frac{L}{\Delta T}$$

En donde:

L = Grosor del espécimen (m)

T = Temperatura (K)

q = Velocidad del flujo de calor ( $W/m^2$ )

### Cuadro N° 3

Conductividad térmica de diversos materiales ( $W/m \cdot K$ )

Material	$\lambda$	Material	$\lambda$	Material	$\lambda$
Acero	47-58	Corcho	0,03-0,04	Mercurio	83,7
Agua	0,58	Estaño	64,0	Mica	0,35
Aire	0,02	Fibra de vidrio	0,03-0,07	Níquel	52,3
Alcohol	0,16	Glicerina	0,29	Oro	308,2
Alpaca	29,1	Hierro	80,2	Parafina	0,21
Aluminio	209,3	Ladrillo	0,80	Plata	406,1-418,7
Amianto	0,04	Ladrillo refractario	0,47-1,05	Plomo	35,0
Bronce	116-186	Latón	81-116	Vidrio	0,6-1,0
Zinc	106-140	Litio	301,2	Cobre	372,1-385,2
Madera	0,13	Tierra húmeda	0,8	Diamante	2300
Titanio	21,9				

**Fuente:** Chapman Alan, J. / 1990

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Sitio del estudio**

La presente investigación se realizó en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, Cantón Santo Domingo, en la Planta de agua purificada y envasada “Que Rica”, ubicada en la Av. Los Colonos.

#### **3.2. Tipo y nivel de investigación**

Se utilizó los tipos de investigación relacional, experimental y observacional las cuales permitieron el manejo de la hipótesis, mediante la manipulación de los parámetros de diseño para la construcción del pasteurizador.

#### **3.3. Métodos de investigación**

Los métodos aplicados fueron inductivo, deductivo, de análisis, de síntesis y estadístico.

Por lo que se partió del problema, seguido de la aplicación de distintas técnicas como observación, análisis en laboratorio, consultas en biblioteca y páginas web, etc. Donde se obtuvo diferentes resultados. También se observó resultados existentes en otras investigaciones relacionadas, llegando así a conclusiones particulares, además se pudo transformar datos cuantitativos en datos cualitativos caracterizando y analizando las diferentes partes de la investigación, siendo de mucha importancia en las conclusiones de la presente investigación.

### **3.4. Fuentes y técnicas de investigación**

#### **3.4.1. Fuentes primarias**

En la presente investigación la fuente primaria es la de mayor aceptación y credibilidad ya que se obtiene de manera directa de Ingenieros especializados en el tema, así como personal y experiencias propias del tema en cuestión.

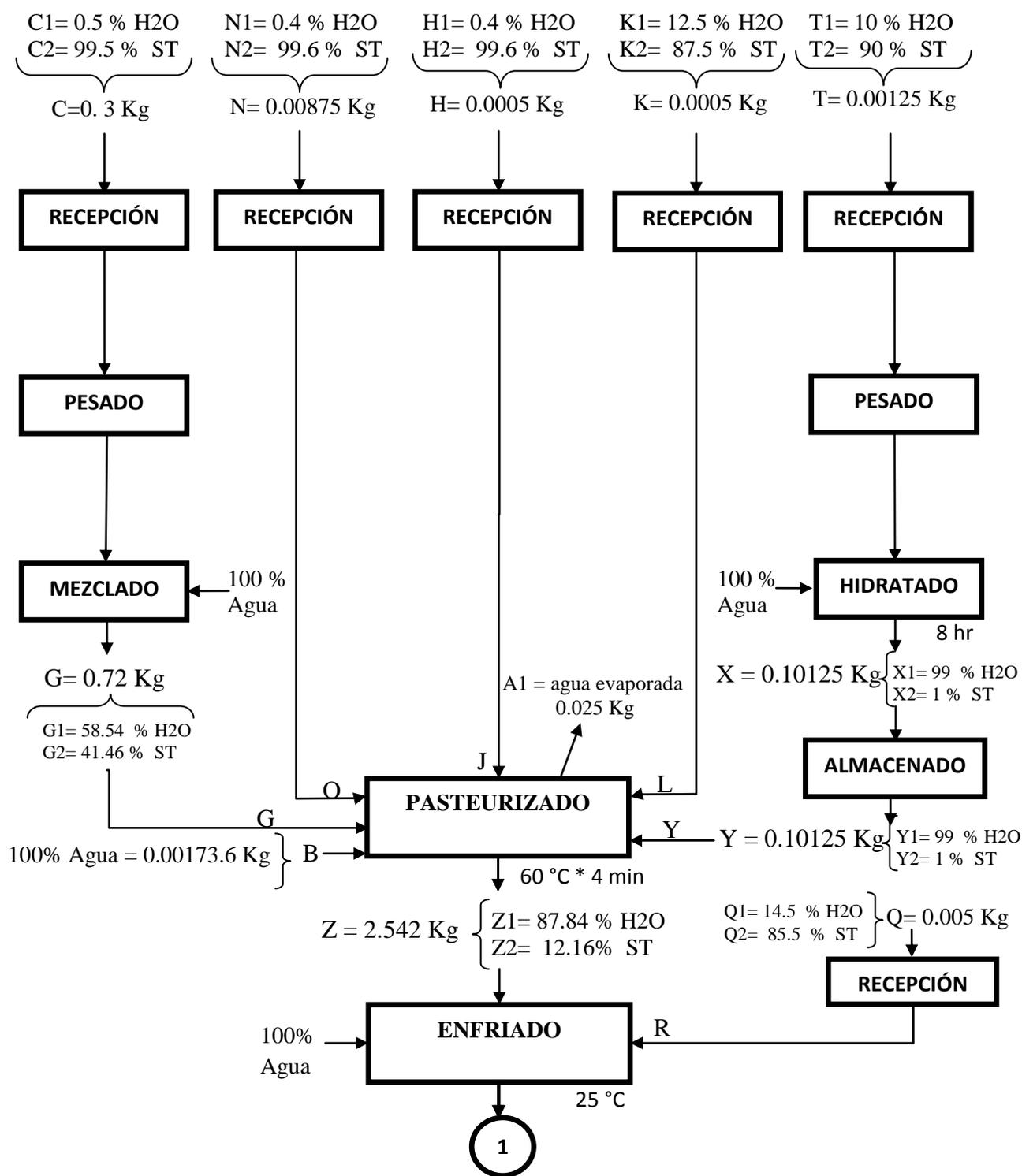
#### **3.4.2. Fuentes secundarias**

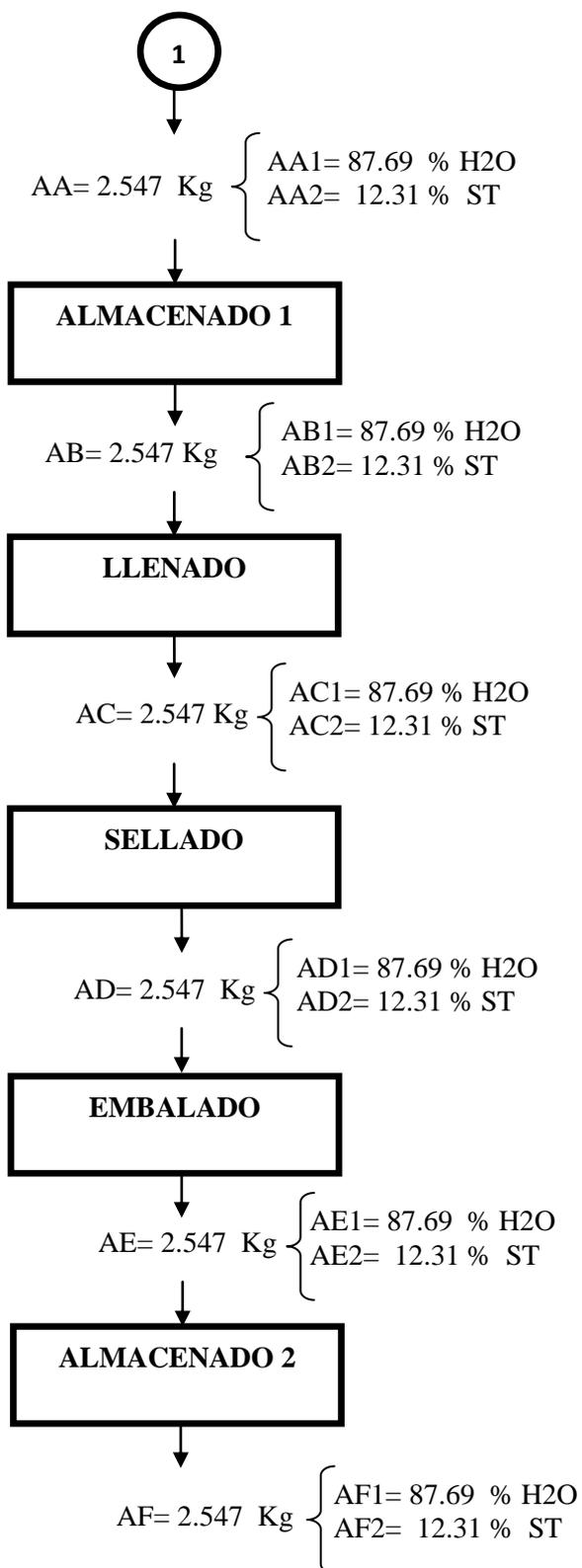
Este tipo de fuente es conceptual, es decir se utiliza información que ya ha sido analizada y confirmada y se la obtiene de bibliotecas, artículos en revistas y libros, revisión de tesis semejantes o similares en ciertos aspectos así como artículos de internet.

### **3.5. Materiales, elementos y accesorios para la construcción del pasteurizador**

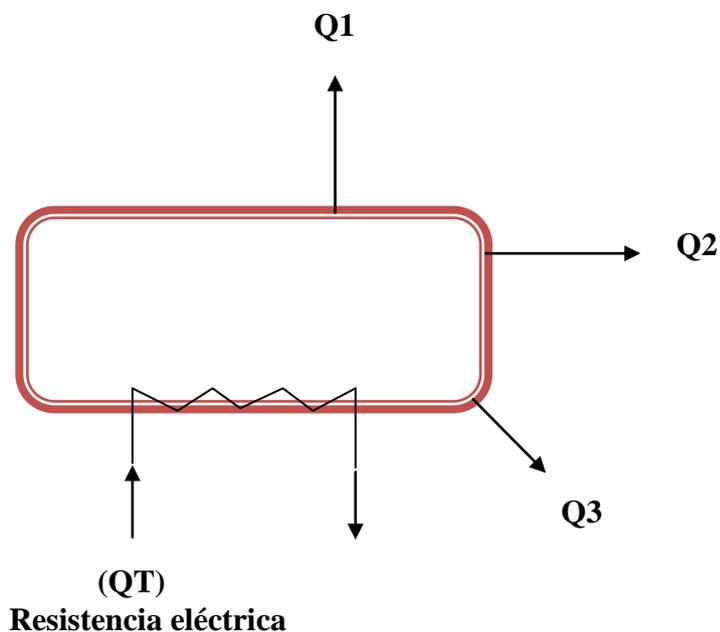
- Manómetros
- Válvulas
- Termómetros
- Planchas de acero inoxidable
- Motor
- Agitador
- Tablero de control
- Bisagras
- Reductor
- Caucho para la tapa
- Soldadora
- Accesorios,etc.

**3.6. Diagrama de flujo cuantitativo, para la elaboración de la bebida artificial no alcohólica a nivel de laboratorio**





### 3.7. Balance de energía a nivel de laboratorio para la determinación de los parámetros de diseño del pasteurizador



**Cuadro N° 4**

Determinación de los parámetros de temperatura y potencia del pasteurizador a nivel de laboratorio

Tiempo (min)	°T ambiente	°T tapa	°T pared	°T base	Amperaje
1	30	30	30	30	7.1
2	30	30	30	30	7.5
3	30	30	30	30	6.7
4	30	30	32	32	6.8
5	30	40	38	38	6.8
6	30	40	40	40	6.5
7	30	40	41	41	-
<b>Promedios</b>	30	34.29	34.43	34.43	6.9

Elaborado por: Gutiérrez Cristhian

#### Determinación de la potencia eléctrica suministrada al pasteurizador

Amperaje promedio = 6.9 Amp

Voltaje de trabajo = 112 Voltios

$$\text{Potencia} = \text{Vol} \times \text{Amp}$$

$$\text{Potencia} = 112 \text{ v} \times 6.9 \text{ Amp}$$

$$\text{Potencia} = 772.8 \text{ w}$$

### Datos del jugo pasteurizado

#### Datos:

$$T1 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T2 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t = 7 \text{ minutos (experimental)}$$

$$V1 = 2384.13 \text{ cc}$$

$$\rho = 1048.6 \text{ Kg/cc}$$

**Fuente:** Mari Carmen Lomas. Introducción al cálculo de los procesos tecnológicos de los alimentos.

$$Cp = 4.2 \frac{W}{100} + 0.84 \left\{ \frac{100 - W}{100} \right\}$$

$$Cp = 4.2 \left\{ \frac{88.82}{100} \right\} + 0.84 \left\{ \frac{100 - 88.82}{100} \right\}$$

$$Cp = 3,8244 \text{ KJ/Kg }^\circ\text{C}$$

### Cantidad de masa que ingresa al pasteurizador

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$m = \rho \times v$$

$$m = 1048.6 \text{ gr/cc} \times 2425.57 \text{ cc} = 2542 \text{ g} = \mathbf{2.542 \text{ Kg}}$$

### Determinación del flujo másico de jugo que ingresa

$$M = \frac{m}{t}$$

$$M = 2.542 \text{ Kg} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 42367 \times 10^{-2} \text{ Kg / s}$$

$$M = (2.542 \text{ Kg/8 min}) * (1 \text{ min/60 seg}) = \mathbf{5.296 \times 10^{-3} \text{ Kg / s}}$$

### Determinación del flujo másico de agua que se evapora

$$M = \frac{m}{t}$$

$$M = 0.025 \text{ Kg} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 4.1666 \times 10^{-4} \text{ Kg / s}$$

$$M = (0.025 \text{ Kg/8 min}) * (1 \text{ min/60 seg}) = \mathbf{5.21 \times 10^{-5} \text{ Kg / s}}$$

### Cantidad de calor necesario para pasteurizar el jugo

$$Q = mC_p (T_2 - T_1) + m \lambda \text{ } 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$F_g \lambda \text{ } 60 \text{ } ^\circ\text{C} = 2609.9 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$Q = (5.296 \times 10^{-3} \text{ Kg/s}) \times (3.8244 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{C}) \times (60-30) \text{ } ^\circ\text{C} + 5.21 \times 10^{-5} \text{ Kg/s} (2609.9 \text{ KJ/Kg})$$

$$Q = 0.608 \text{ KJ/s} + 0.136 \text{ KJ/s}$$

$$Q_R = 0.744 \text{ KJ/s}$$

$$\mathbf{Q_R = 744 \text{ W}}$$

**Cantidad de calor perdido por la parte superior del pasteurizador a nivel del laboratorio**

**Datos:**

$$T_s = 34.29^\circ\text{C}$$

$$T_\alpha = 30^\circ\text{C}$$

$$\Phi = 28.5 \text{ cm}$$

**Determinación del calor superficial**

$$T_f = \frac{T_s + T_\alpha}{2}$$

**Dónde:**

$T_s$  = temperatura de la superficie del cuerpo ( $^\circ\text{C}$ )

$T_\alpha$  = temperatura de la corriente de aire ( $^\circ\text{C}$ )

$$T_f = \frac{34.29 + 30}{2} = 32.145 \text{ }^\circ\text{C} + 273$$

$$T_f = 305.145 \text{ }^\circ\text{K}$$

**Coefficiente Isobárico**

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

**Dónde:**

$\beta$  = coeficiente isobárico ( $\frac{1}{^\circ K}$ )

$T_f$  = temperatura del aire ( $^\circ K$ )

$$\beta = \frac{1}{305.145 \text{ } ^\circ K}$$

$$\beta = 3.277 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ K^{-1}$$

**Determinación del número de Grashof**

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\alpha)\rho^2 L^3}{(\mu)^2}$$

**Datos:**

**Fuente:** Fundamentos de la ingeniería de alimentos, de Batty, Folkman.

$$G = 9.780 \text{ m/s}^2$$

$$\beta = 3.277 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ K^{-1}$$

$$T_s = 34.29 \text{ } ^\circ C = 307.29 \text{ } ^\circ K$$

$$T_\alpha = 30 \text{ } ^\circ C = 303 \text{ } ^\circ K$$

$$K \text{ Aire} = 0.0266 \text{ w/m}^\circ C$$

$$\rho \text{ Aire} = 1.15813 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu \text{ Aire} = 1.9928 \times 10^{-5} \text{ Kg/m}$$

$$D \text{ pared} = 28.5 \text{ cm}$$

$$Pr = 0.7068$$

$$Gr = \frac{(9.780 \text{ m/s}^2) (3.277 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ K^{-1} - 1)(307.29 - 303)^\circ K (1.15813 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3})^2 (0.285 \text{ m})^3}{(1.9928 \times 10^{-5} \frac{\text{Kg}}{\text{m}})^2}$$

$$Gr = 1.074965 \times 10^7$$

$$Gr * Pr = 1.074965 \times 10^7 \times 0.7068$$

$$Gr * Pr = 7.597853 \times 10^6$$

$$\text{Log}_{10}(Gr * Pr) = 6.881$$

Los valores de Nusselt se leen en la curva de la pág. 200 del libro Fundamentos de la Ing. de alimentos de Batty, Folkman.

Nu = número de Nusselt

$$\text{Log}_{10}(Nu) = 1.39$$

$$Nu = 24.58$$

### Determinación del coeficiente de convección

#### Datos:

Nu = número de Nusselt

h = coeficiente de convección  $\frac{W}{m^2C}$

D = diámetro (m)

k = conductividad térmica del aire ( $w/m^{\circ}C$ )

$$h = \frac{Nu * k}{D}$$

$$= \frac{24.58 \times 0.0266 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}}{0.285 \text{ m}}$$

$$h = 2.291 \frac{W}{m^2C}$$

### Determinación del área lateral del pasteurizador

$$A = \pi D^2/4$$

#### Dónde:

A = área de la superficie (m<sup>2</sup>)

D = 28.5 cm

$$A = \pi(0.285)^2/4$$

$$A = 0.0637 \text{ m}^2$$

### Cantidad de calor desprendido por la pared

$$Q_1 = h \cdot A (T\alpha - Ts)$$

$$Q_1 = 2.291 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \times 0.0637 \text{ m}^2 (30 - 34.29) ^\circ C$$

$$Q_1 = - 0.626 \text{ w}$$

$$W_1 = - 0.626 \frac{J}{s}$$

### Cantidad de calor desprendido por la parte lateral del pasteurizador

#### Datos:

Ts = 34.43 °C

Tα = 30 °C

Dp = 26.75 cm

H = 19.5 cm

$$T_f = \frac{T_s + T_\alpha}{2}$$

**Dónde:**

$T_s$  = temperatura de la superficie del cuerpo (°C)

$T_\alpha$  = temperatura de la corriente de aire (°C)

$$T_f = \frac{34.43 + 30}{2} = 64.43 \text{ °C} + 273$$

$$T_f = 305.215 \text{ °K}$$

**Coefficiente Isobárico**

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

**Dónde:**

$\beta$  = coeficiente isobárico ( $\frac{1}{\text{°K}}$ )

$T_f$  = temperatura del aire (°K)

$$\beta = \frac{1}{305.215 \text{ °K}}$$

$$\beta = 3.27713 \times 10^{-3} \text{ °K}^{-1}$$

### Determinación del número de Grashof

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\alpha)\rho^2 L^3}{(\mu)^2}$$

#### Datos:

**Fuente:** Fundamentos de la ingeniería de alimentos, de Batty, Folkman.

$$G = 9.780 \text{ m/s}^2$$

$$\beta = 3.277 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$$

$$T_s = 34.43 \text{ }^\circ\text{C} = 307.43 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_\alpha = 30 \text{ }^\circ\text{C} = 303 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$K \text{ Aire} = 0.0266 \text{ w/m}^\circ\text{C}$$

$$\rho \text{ Aire} = 1.15813 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu \text{ Aire} = 1.9928 \times 10^{-5} \text{ Kg/m}$$

$$D \text{ pared} = 28.5 \text{ cm}$$

$$Pr = 0.7068$$

*Gr*

$$= \frac{(9.780 \text{ m/s}^2) (3.277 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{K}^{-1} - 1)(307.43 - 303)^\circ\text{K} (1.15813 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3})^2 (0.2675 \text{ m})^3}{(1.9928 \times 10^{-5} \frac{\text{Kg}}{\text{m}})^2}$$

$$Gr = 9.262609 \times 10^6$$

$$Gr * Pr = 9.262609 \times 10^6 \times 0.7068$$

$$Gr * Pr = 6.546812 \times 10^6$$

$$\text{Log}_{10}(Gr * Pr) = 6.82$$

Los valores de Nusselt se leen en la curva de la pág. 200 del libro Fundamentos de la Ing. de alimentos de Batty, Folkman.

$Nu = \text{número de Nusselt}$

$$\text{Log}_{10}(Nu) = 1.4$$

$$Nu = 25.12$$

### Determinación del coeficiente de convección

#### Datos:

$Nu = \text{número de Nusselt}$

$h = \text{coeficiente de convección} \frac{W}{m^2C}$

$D_p = 26.75 \text{ m}$

$k = \text{conductividad térmica del aire (w/m}^\circ\text{C)}$

$$h = \frac{Nu * k}{D}$$

$$= \frac{25.12 * 0.0266 \text{ W/m}^\circ\text{C}}{0.2675 \text{ m}}$$

$$h = 2.498 \frac{W}{m^2C}$$

### Determinación del área lateral del pasteurizador

$$A = \pi Dh$$

#### Dónde:

$A = \text{área de la superficie (m}^2\text{)}$

$D = 28.5 \text{ cm}$

$L = 6 \text{ cm}$

$$A = \pi * 0.2675 * 0.195 \text{ m}$$

$$A = 0.1638 \text{ m}^2$$

**Cantidad de calor desprendido por la pared lateral**

$$Q_1 = h \cdot A (T_\alpha - T_s)$$

$$Q_1 = 2.498 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}} \times 0.1638 \text{ m}^2 (30 - 34.43)^\circ\text{C}$$

$$Q_2 = - 1.8125 \text{ w}$$

$$Q_2 = - 1.8125 \text{ J/s}$$

**Cantidad de calor desprendido por la parte inferior del pasteurizador**

**Datos:**

$$T_s = 34.43 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_\alpha = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$D = 25 \text{ cm}$$

$$T_f = \frac{T_s + T_\alpha}{2}$$

**Dónde:**

$T_s$  = temperatura de la superficie del cuerpo ( $^\circ\text{C}$ )

$T_\alpha$  = temperatura de la corriente de aire ( $^\circ\text{C}$ )

$$T_f = \frac{34.43 + 30}{2} = 64.43 \text{ }^\circ\text{C} + 273$$

$$T_f = 305.215 \text{ }^\circ\text{K}$$

### Coeficiente Isobárico

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

#### Dónde:

$\beta$  = coeficiente isobárico ( $\frac{1}{K}$ )

$T_f$  = temperatura del aire ( $^{\circ}K$ )

$$\beta = \frac{1}{305.215 \text{ } ^{\circ}K}$$

$$\beta = 3.27713 \times 10^{-3} \text{ } ^{\circ}K^{-1}$$

### Determinación del número de Grashof

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_a)\rho^2 L^3}{(\mu)^2}$$

#### Datos:

**Fuente:** Fundamentos de la ingeniería de alimentos, de Batty, Folkman.

$$G = 9.780 \text{ m/s}^2$$

$$\beta = 3.277 \times 10^{-3} \text{ } ^{\circ}K^{-1}$$

$$T_s = 34.43 \text{ } ^{\circ}C = 307.43 \text{ } ^{\circ}K$$

$$T_a = 30 \text{ } ^{\circ}C = 303 \text{ } ^{\circ}K$$

$$K \text{ Aire} = 0.0266 \text{ w/m}^{\circ}C$$

$$\rho \text{ Aire} = 1.15813 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu \text{ Aire} = 1.9928 \times 10^{-5} \text{ Kg/m}$$

$$D \text{ pared} = 28.5 \text{ cm}$$

$$Pr = 0.7068$$

$$Gr = \frac{(9.780 \text{ m/s}^2) (3.277 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{K} - 1)(307.43 - 303)^\circ\text{K} (1.15813 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3})^2 (0.225 \text{ m})^3}{(1.9928 \times 10^{-5} \frac{\text{Kg}}{\text{m}})^2}$$

$$Gr = 5.51229 \times 10^6$$

$$Gr * Pr = 5.51229 \times 10^6 \times 0.7068$$

$$Gr * Pr = 3.8960866 \times 10^6$$

$$\text{Log}_{10}(Gr * Pr) = 6.59$$

Los valores de Nusselt se leen en la curva de la pág. 200 del libro Fundamentos de la Ing. de alimentos de Batty, Folkman.

Nu = número de Nusselt

$$\text{Log}_{10}(Nu) = 1.32$$

$$Nu = 20.89$$

### Determinación del coeficiente de convección

#### Datos:

Nu = número de Nusselt

h = coeficiente de convección  $\frac{W}{m^2C}$

D = 0.225 m

k = 0.0266 w/m°C

$$h = \frac{Nu * k}{D}$$

$$= \frac{20.89 \times 0.0266 \text{ W/m}^\circ\text{C}}{0.225 \text{ m}}$$

$$h = 2.47 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

### Determinación del área lateral del pasteurizador

$$A = \pi D^2/4$$

**Dónde:**

A = área de la superficie (m<sup>2</sup>)

D = 28.5 cm

$$A = \pi(0.25)^2/4$$

$$A = 0.0491 \text{ m}^2$$

### Cantidad de calor desprendido por la parte inferior

$$Q_1 = h \cdot A (T_a - T_s)$$

$$Q_1 = 2.47 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \times 0.0491 \text{ m}^2 (30 - 34.43) ^\circ C$$

$$Q_3 = - 0.537 \text{ w}$$

$$W_3 = - 0.537 \frac{J}{s}$$

### Determinación del calor desprendido por el pasteurizador hacia los alrededores

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_t = - 0.626 - 1.8125 - 0.537$$

$$Q_t = - 2.9755 \text{ w}$$

### **Determinación del calor práctico del pasteurizador a nivel de laboratorio**

$$Q \text{ práctico} = Q \text{ elec} - Q \text{ perdido}$$

$$Q \text{ práctico} = 772.8 \text{ w} - 2.9755 \text{ w}$$

$$Q \text{ práctico} = 769.8245 \text{ w}$$

### **Eficiencia del pasteurizador a nivel de laboratorio**

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{Q_{\text{práctico}}}{Q_{\text{total}}} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{769.8245}{772.8} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia} = 99.62$$

### **Determinación de coeficiente global de transferencia de calor del pasteurizador a nivel de laboratorio**

#### **Datos:**

U = coeficiente global de transferencia de calor ( $\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$ )

Q práctico = 769.8245 w

At = ? m

$T_1 = 30 \text{ °C}$

$T_2 = 60 \text{ °C}$

$$Q = U * A (T_2 - T_1)$$

### Área del cilindro

$$D_p = (D_1 + D_2)/2$$

$$D_p = (25.5 + 22.5)/2$$

$$D_p = 24 \text{ cm}$$

$$A_c = \Pi D H$$

$$A_c = \Pi \times 0.24 \times 0.06$$

$$\mathbf{A_c = 0.0452 \text{ m}^2}$$

### Área de la circunferencia inferior

$$A_i = \Pi D^2/4$$

$$A_i = \Pi \times 0.225^2/4$$

$$\mathbf{A_i = 0.039 \text{ m}^2}$$

### Área total del pasteurizador

$$A_t = (A_c + A_i)/2$$

$$A_t = (0.0452 + 0.039)/2$$

$$\mathbf{A_t = 0.0842 \text{ m}^2}$$

### Coefficiente global de transferencia de calor

$$U = \frac{Q}{A (T_2 - T_1)}$$

$$U = \frac{769.8245 \text{ w}}{0.0842 \text{ m}^2 (60-30)^{\circ}\text{C}} = \mathbf{304.76 \frac{\text{w}}{\text{m}^2\text{°C}}}$$

### 3.8. Síntesis del balance de energía a nivel de planta piloto y dimensionamiento del pasteurizador

#### Determinación del área de transferencia de calor en el pasteurizador. Teórico

$$A = \frac{\pi}{4} \phi^2$$

$$Qt = A * U \Delta T$$

$$A = \frac{5.1806 \text{ KJ/s}}{0.30476 \frac{\text{KJ}}{\text{s m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} * (60 - 30) ^\circ\text{C}}$$

$$A = 0.5666 \text{ m}^2$$

#### Cantidad de calor necesario

$$Q_T = Q_s + Q_l$$

$$Q_T = 29222.24 + 6524.75$$

$$Q_t = 35746.99 \text{ KJ}$$

$$Q_T = \frac{35746.99 \text{ KJ}}{115 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 5.1806 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}$$

#### Determinación del volumen del pasteurizador del primer cilindro

$$m = 254.7 \text{ Kg}$$

$$\delta = 1048.6 \text{ Kg/m}^3$$

$$V = \frac{254.7 \text{ Kg}}{1048.6 \text{ Kg/m}^3}$$

$$V = 0.24289 \text{ m}^3 = 242.89 \text{ lts}$$

### **Volumen total de diseño del pasteurizador**

$$V_t = V + 0.285 V$$

$$V_t = 242.89 + 0.285 \times 242.89$$

$$V_t = 250 \text{ lts}$$

### **Determinación del flujomásico**

$$M = \frac{254.7 \text{ Kg}}{115 \text{ min}} \times \frac{\text{min}}{60 \text{ s}} = 0.0369 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

### **Condiciones de diseño para el primer cilindro**

$$D_{int} = 65 \text{ cm}$$

$$H_1 = 84 \text{ cm}$$

### **Condiciones de diseño para el segundo cilindro**

Separación del primer cuadrado con respecto al segundo, asumimos la distancia de  $D = 5$  cm

$$D_{ext} = \phi_1 + 2 * D_{int}$$

$$D_{ext} = 65 + 2 * 5$$

$$\mathbf{D_{ext} = 75 \text{ cm}}$$

La altura del primer cilindro es igual al segundo cilindro

$$H_1 = H_2 = 84 \text{ cm}$$

## Diseño del plano del pasteurizador

### Características

Volumen de trabajo:	250 Lts
Volumen de diseño:	278.73 Lts
Tipo de acero inoxidable:	AISI 304
Espesor de acero inoxidable:	3 mm
Temperatura de operación:	22 a 120°C
Transferencia de calor:	vapor saturado

### Dimensiones

Diámetro del segundo cilindro:	65 cm
Diámetro del segundo cilindro:	75 cm
Altura de cilindro:	84 cm
Altura total del soporte:	191 cm

## Masa total del vapor utilizado

$$m = m^{\circ} * t$$

$$m = 0.00194 \frac{Kg}{s} * 1.92 \text{ hr} * \frac{3600 s}{1 \text{ hr}}$$

$$m = 6.984 \text{ Kg}$$

$$m = 15.4 \text{ Lbm}$$

### Potencia de caldero

$$P_T = 0.005325 \frac{\text{Lbm}}{\text{s}} * \frac{3600 \text{ s}}{\text{hr}} * \frac{\text{HP}}{34.5 \frac{\text{Lbm}}{\text{hr}}}$$

$$P_T = 0.5556 \text{ HP}$$

$$\text{Potencia de trabajo} = 5 \text{ HP}$$

### Potencia de diseño

$$P_D = 2 P_T$$

$$P_D = 2 * 5 \text{ HP}$$

$$\mathbf{P_D = 10 \text{ HP}}$$

### Potencia del motor para el agitador

$$P = \frac{K}{gc} * \rho * N^3 * D^5$$

$$P = \frac{6.3}{9.81 \frac{\text{Kgm} \cdot \text{m}}{\text{N} \cdot \text{s}^2}} * 1048.6 \frac{\text{Kgm}}{\text{m}^3} * \frac{0.1^3}{\text{s}^3} * 0.65^5 \text{m}^5$$

$$P = 7.814 \times 10^{-2} \frac{\text{J}}{\text{s}} (\text{W}) = 1.048 \times 10^{-5} \text{ HP}$$

Nota: se utiliza un motor de 0.5 hp, por ser la potencia mínima utilizada en la fabricación de motores.

## CAPÍTULO IV

### CONSTRUCCIÓN Y FUNCIONAMIENTO

#### 4.1. Materiales utilizados en la construcción del pasteurizador (detallado)

**Cuadro N° 5**

Materiales utilizados en la construcción del pasteurizador

Material	Cantidad
Planchas de acero inoxidable AISI 304	3
Manómetros	1
Termómetro de reloj	1
Termómetro termocupla	1
Breaker	1
Pliego de lija	1
Pulsador para emergencia	1
Controlador de temperatura	1
Electrodos para acero inoxidable	13 libras
Pernos	10
Tubos de acero inoxidable	1
Motor	1
Reductor	1
Válvulas solenoides	2
Caucho termo-resistente para la tapa	1
Llave de paso	2
Brocas	5

**Elaborado por:** Gutiérrez Cristhian

## 4.2. Descripción de la construcción del pasteurizador

Primero se aplicó el diseño teórico para tomar las respectivas medidas después se procedió a cortar las piezas de las planchas de acero inoxidable para luego darle forma de dos cilindros uno interno y otro externo, también las tapas inferiores estáticas y la tapa superior móvil.

Se colocó un motor que junto a un reductor permite dar el movimiento al agitador construido por un tubo de acero inoxidable y aspas provenientes de las planchas. En cuanto a la automatización se colocó un tablero de control el cual permite tener un encendido y apagado de todos los componentes además de un controlador de temperatura que ayuda a que la temperatura no suba o baje del rango necesario.

## 4.3. Identificación de los botones del panel de control

**Gráfico N° 6**  
Panel de control



**Elaborado por:** Gutiérrez Cristhian

**Simbología:**

- |   |                          |
|---|--------------------------|
| 1 Controlador de temperatura            | 5 Encendido del Agitador |
| 2 Encendido de la Bomba de enfriamiento | 6 Bomba del producto     |
| 3 Encendido y apagado de Emergencia     | 7 Apagado del Agitador   |
| 4 Seguro de la Tapa del pasteurizador   |                          |

**4.4. Funcionamiento de los dispositivos del panel de control del pasteurizador****4.4.1. Botón de encendido y apagado del equipo**

Este botón permite poner en marcha el equipo para comenzar a trabajar o interrumpir su funcionamiento al término de una parada.

**4.4.2. Botón de parada de emergencia**

Este botón es de gran utilidad ya que proporciona una interrupción inmediata de la corriente eléctrica en caso de alguna emergencia.

**4.4.3. Control de temperatura**

Este es un dispositivo que permite ingresar la cantidad máxima de temperatura deseada y la mantiene constante proporcionando la certeza de que la temperatura de pasteurización será constantemente la deseada.

**4.4.4. Botón de encendido y apagado del agitador**

Permite que las aspas inicien su movimiento para obtener un mezclado homogéneo o esta acción será interrumpida.

#### **4.4.5. Bomba del producto**

La bomba del producto, es de ½ HP y construida con materiales de acero inoxidable de grado alimenticio. Este componente sirve para trasladar rápidamente el producto homogenizado desde el pasteurizador hacia un tanque de almacenamiento, para finalmente ser llenado y empacado.

#### **4.5. Procedimiento para el uso del pasteurizador en la elaboración de una bebida artificial**

##### **PASO 1:**

Se verifica que todas las válvulas se encuentren en posición adecuada para dar comienzo a la operación.

##### **PASO 2:**

Se introduce manualmente el parámetro de temperatura a cual se quiere llegar y que se mantenga por el tiempo deseado, en este caso a 60°C por 4 minutos, esto se regula en el controlador de temperatura.

##### **PASO 3:**

Se coloca el agua y azúcar dentro del pasteurizador, se enciende el agitador hasta que se transforme en jarabe, luego se coloca el ácido cítrico, el sorbato de potasio, el benzoato de sodio, el CMC y se espera 90 minutos hasta que el pasteurizador alcance los 60°C.

**PASO 4:**

Se esperan 4 minutos, posteriormente se enfría el producto y a continuación se procede a colocar la emulsión.

**PASO 5:**

Apagar el agitador y el pasteurizador.

**PASO 6:**

Se enciende la bomba del producto.

**4.6. Limpieza del pasteurizador**

La limpieza del pasteurizador se hace con agua purificada a presión antes y después de una parada teniendo un cuidado especial con los componentes internos como el termómetro y empaque de seguridad ubicado en la tapa.

**4.7. Mantenimiento y cambio de los componentes del pasteurizador**

Se realizara una revisión general del pasteurizador una vez por semana y los componentes serán cambiados o reparados únicamente cuando así se lo necesite, para garantizar un correcto funcionamiento.

#### 4.8. Evaluación del pasteurizador en la elaboración de una bebida artificial no alcohólica con sabor a citrus punch

**Cuadro N° 6**

Evaluación del pasteurizador en la elaboración de una bebida artificial

Temperatura del proceso	60 °C
Tiempo del proceso	4 minutos
Tiempo que tarda en llegar de 25 a 60 °C	90 minutos
Temperatura del vapor administrado	96 °C
Presión a la que trabaja el equipo	88.081 Kpa
Capacidad del pasteurizador	250 Lts
Tiempo de apagado del equipo	2 seg

**Elaborado por:** Gutiérrez Cristhian

#### 4.9. Balance de costos de la construcción del pasteurizador

**Cuadro N° 7**

Balance de costos de la construcción del pasteurizador

Detalle	Costo (Dólares)
Planchas de acero inoxidable	162
Tablero de control	800
Accesorios	88
Automatización	1100
Instalación	450
Mano de obra	2200
Total	4800

**Elaborado por:** Gutiérrez Cristhian

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Se determinó que el equipo principal de este proceso de elaboración de la bebida artificial no alcohólica, el pasteurizador, funciona inyectando vapor a 96 °C y a 88.081 Kpa de presión, siendo estas las principales especificaciones técnicas del equipo.
- El pasteurizador en su construcción tuvo como material mayoritario al acero inoxidable AISI 304 de 3 milímetros de espesor, material indispensable en la fabricación de equipos y materiales destinados para estar en contacto directo con productos alimenticios de consumo humano.
- Se elaboró una bebida artificial con sabor a Citrus Punch, bajo una estricta asepsia, con las características organolépticas y microbiológicas requeridas para un producto de esta índole.
- La temperatura y tiempo óptimos para el proceso de pasteurización en la obtención de la bebida artificial son de 60 °C durante 4 minutos respectivamente.
- La eficiencia del pasteurizador a nivel de laboratorio es del 99.62 %

## 5.2. Recomendaciones

- Usar acero inoxidable de grado alimenticio, para la construcción de cualquier equipo a utilizar en el procesamiento de productos de consumo humano, en este caso el pasteurizador.
- El pasteurizador o cualquier otro equipo, deber tener un acabado sanitario tanto en la parte interior como en el exterior, para que no exista una acumulación del producto, previniendo así un foco de contaminación.
- Instalar el equipo en un sitio apropiado, de tal manera que se puedan facilitar los mantenimientos correctivos y preventivos a lo largo de la producción.
- Durante todo el proceso de elaboración de un producto alimenticio se debe aplicar las especificaciones sanitarias, para garantizar que el producto a ser obtenido sea apto para ser consumido sin ningún riesgo en la salud.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Acosta, R. (2008). Saneamiento ambiental e higiene de los alimentos/ Environmental sanitation. Editorial Brujas. Córdoba- Argentina.
2. Alvarado J. (2009). *Principios de Ingeniería aplicados a alimentos*. 2009 Ambato- Ecuador.
3. Astiasarán, I., Lasheras, B., Ariño A., Martínez J. (2003). *Alimentos y nutrición en la práctica sanitaria*. Madrid- España. Ediciones Díaz de Santos.
4. AutoCAD.
5. Badger , Banchemo, (1986). *Introducción a la Ingeniería Química*. New York.
6. Baird, C. (2001). *Química ambiental*. Editorial Reverte. España.
7. Barros, C. (2009). *Los aditivos en la alimentación de los españoles y la legislación que regula*. Madrid- España.
8. Batty, C. Folkman, S. (1983). *Fundamentos de la ingeniería de alimentos*.
9. Buffa, W. (2003). *Física*.
10. De la fuente, D., Fernández, I. (2005). *Distribución en planta*.
11. Earle, R. (1968). *Ingeniería de los alimentos*. Editorial Acribia.
12. Espinoza, L. (2012). *Operaciones y procesos unitarios*. Chiclayo- Perú.
13. Esplugas, S. Chamarro, M. (2005). *Fundamentos de transmisión de calor*. Barcelona -España. Edicions Univers. Barcelona.
14. Frank P., DeWitt D. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. México.
15. García, I. (2011). *Alimentos seguros: Guía básica sobre seguridad alimentaria*. Madrid. Ediciones Díaz de Santos.
16. Gil Hernández, A., Ruiz, M. (2010). *Tratado de Nutrición: Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos*. Madrid. Editorial Médica Panamericana.
17. Hernández, Rodríguez M. Sastre Gallego, A. (1999). *Tratado de nutrición*. Madrid. Ediciones Díaz de Santos.
18. Kerguignas, M., Caignaert, G. (1980), *Resistencia de materiales*. Barcelona- España. Editorial Reverté.
19. NMX-F-439-(1983). *Alimentos. Bebidas no alcohólicas. Bebidas y refrescos clasificación y definiciones. foods. Nonalcoholic beverages. Soft drinks and beverages classification and definitions*. Mexico.

20. Megyesy, E. Manual de recipientes a presión diseño y cálculo. Limusa – Grupo Noriega Editores.
21. Morán, M., Shapiro H. (2004). *Fundamentos de termodinámica técnica*. Barcelona-España. Editorial Reverté.
22. Olea, M., López, M., López, E., (2012). *Aspectos bromatológicos de conservantes y colorantes: Toxicología alimentaria*. Madrid- España. Ediciones Díaz de Santos.
23. Osorio, O. (1987). *Métodos Estadísticos Aplicados a la Investigación Agrícola*. Tegucigalpa - Honduras.
24. Pascual, A. M. Calderón y Pascual, V. (1999). *Microbiología Alimentaria: Metodología Analítica para Alimentos y Bebidas*. Madrid. Ediciones Díaz de Santos.
25. Patiño, A. (2000). *Introducción a la ingeniería química: balances de masa y energía. Tomo I*. México.
26. Perry J. (1992). *Manual del Ingeniero Químico*, Madrid.
27. Ragatz R. (1982). *Balances de materia y energía*.
28. Rajadell, F., Movilla, J. (2005). *Termodinámica química*. Biblioteca de la Universitat Jaume.
29. Sánchez, M. y Pineda de las Infantas. (2003). *Procesos de elaboración de alimentos y bebidas*. Editorial Mundi-Prensa.
30. Rodríguez Rivera, V. *Bases de la Alimentación Humana*. (2008). Madrid- España. Editorial Netbiblo S.L.
31. Tortora, G. Berdell, Funke, C. Case C. (2007). *Introducción a la microbiología*. Buenos Aires-Argentina. Ed. Médica Panamericana.

# Annexos

## Anexo 1. Análisis microbiológicos (presentación de la bebida en funda)



**LABCC**  
control de calidad en aguas, alimentos y otros

Dir: Portal del Lago 2da. etapa  
2763-768  
0997855480  
victorxav@hotmail.com  
RUC: 0602134249001

**ASESORIA - ANALISIS QUÍMICO - MICROBIOLÓGICO**

**INFORME DE ANALISIS DE ALIMENTO N° LCC-SDT-181 -04-14**

Fecha de emisión del resultado	:	2014- 04- 24
Solicitante	:	Sr. Cristhian Gutiérrez
Procedencia	:	Santo Domingo - Ecuador
Dirección de muestreo	:	Avenida Los Colonos Coop. La Alborada
Fecha de recepción de la muestra	:	2014 - 04-15
Fecha de análisis de la muestra	:	2014 - 04- 16
Muestreo	:	Sr. Cristhian Gutiérrez
Código	:	CC-181

**MUESTRA**

**“ BEBIDA ARTIFICIAL CON SABOR A CITRUS PUNCH “ FUNDA**

Tipo de alimento	:	Bebidas analcohólicas
Lugar de elaboración	:	Santo Domingo- Ecuador
Fabricante	:	Sr. Cristhian Gutiérrez – Agua QRica
Dirección	:	Avenida Los Colonos Coop. La Alborada
Envase	:	Funda polietileno de baja densidad 500 cc
Número de lote	:	001M
Contenido declarado	:	500 ml
Contenido encontrado	:	500 ml
Fecha de elaboración	:	12-04-2014
Fecha de Expiración	:	07-2014
Forma de conservación	:	Refrigeración

**EXAMEN ORGANOLÉPTICO**

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	METODO
Materia extraña Visibles	-	Ausencia	Sensorial
Color	-	Naranja	Sensorial

1/2

**INFORME DE ANALISIS DE ALIMENTO N° LCC-SDT-181 -04-14**

**“Bebida Artificial con sabor a Citrus Punch “ FUNDA**

**ANALISIS MICROBIOLÓGICO:**

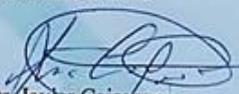
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO
Coliformes fecales /g	ufc /g	< 10	AOAC991.14
Aerobios mesófilos totales	ufc /g	< 10	AOAC990.12
Mohos y levaduras	upc /g	< 10	AOAC 997.02

Los resultados obtenidos en el Análisis Microbiológico. **Si cumple** con el criterio microbiológico establecido en la norma referencial comparativa NTE INEN 2411: 2008, NTE INEN 1 101: 2008. Bebidas gaseosas, energéticas. Requisitos.

Los resultados obtenidos solo afectan a las muestras recibidas en el Laboratorio



ATENTAMENTE

  
Dr. Javier Caisaguano  
CONTROL DE CALIDAD

## Anexo 2. Análisis microbiológicos (presentación de la bebida en botella)



**LABCC**  
control de calidad en aguas, alimentos y otros

Dir: Portal del Lago 2da. etapa  
2763-768  
0997855480  
victorxav@hotmail.com  
RUC: 0602134249001

**ASESORIA - ANALISIS QUÍMICO - MICROBIOLÓGICO**

**INFORME DE ANALISIS DE ALIMENTO N° LCC-SDT-180 -04-14**

Fecha de emisión del resultado	:	2014- 04- 24
Solicitante	:	Sr. Cristhian Gutiérrez
Procedencia	:	Santo Domingo - Ecuador
Dirección de muestreo	:	Avenida Los Colonos Coop. La Alborada
Fecha de recepción de la muestra	:	2014 – 04-15
Fecha de análisis de la muestra	:	2014 - 04- 16
Muestreo	:	Sr. Cristhian Gutiérrez
Código	:	CC-180

**MUESTRA** **“ BEBIDA ARTIFICIAL CON SABOR A CITRUS PUNCH “ BOTELLA**

Tipo de alimento	:	Bebidas analcohólicas
Lugar de elaboración	:	Santo Domingo- Ecuador
Fabricante	:	Sr. Cristhian Gutiérrez – Agua QRica
Dirección	:	Avenida Los Colonos Coop. La Alborada
Envase	:	Funda polietileno de baja densidad 500 cc
Número de lote	:	001M
Contenido declarado	:	500 ml
Contenido encontrado	:	500 ml
Fecha de elaboración	:	12-04-2014
Fecha de Expiración	:	07-2014
Forma de conservación	:	Refrigeración

**EXAMEN ORGANOLÉPTICO**

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	METODO
Materia extraña Visibles	-	Ausencia	Sensorial
Color	-	Naranja	Sensorial

1/2

INFORME DE ANALISIS DE ALIMENTO N° LCC-SDT-180 -04-14

“Bebida Artificial con sabor a Citrus Punch “

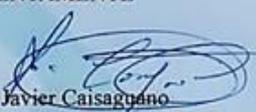
ANALISIS MICROBIOLÓGICO:

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO
Coliformes fecales /g	ufc /g	< 10	AOAC991.14
Aerobios mesófilos totales	ufc /g	< 10	AOAC990.12
Mohos y levaduras	upc /g	< 10	AOAC 997.02

Los resultados obtenidos en el Análisis Microbiológico. Si cumple con el criterio microbiológico establecido en la norma referencial comparativa NTE INEN 2411: 2008, NTE INEN 1 101: 2008. Bebidas gaseosas, energéticas. Requisitos.

Los resultados obtenidos solo afectan a las muestras recibidas en el Laboratorio

ATENTAMENTE

  
 Dr. Javier Caisagudano  
 CONTROL DE CALIDAD



**Anexo 3. Fotografías del proceso de construcción del pasteurizador**



**Construcción del pasteurizador**



**Construcción del pasteurizador**

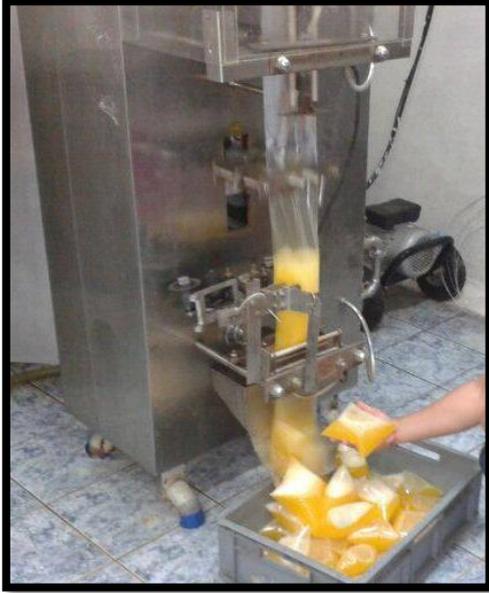


**Construcción del pasteurizador**



**Construcción del pasteurizador**

**Anexo 4. Fotografías del proceso de elaboración de la bebida artificial****Pesado de Ingredientes****Formulación de  
Ingredientes****Pasteurizado****Bebida artificial**



**Llenado**



**Embalado**



**Elaboración de la bebida a nivel de laboratorio**

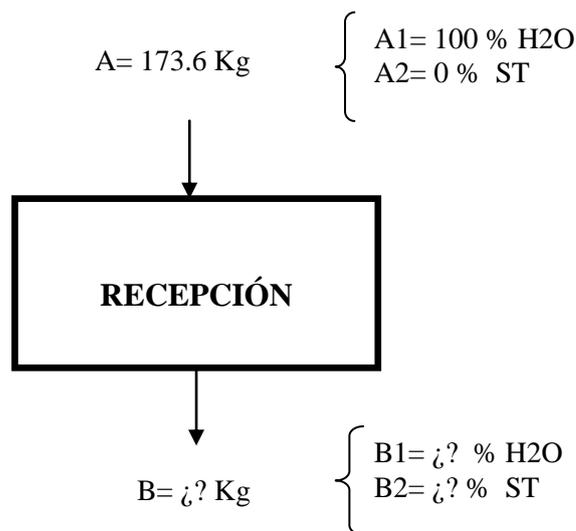
**Anexo 5.** Balance de materia de la elaboración de una bebida artificial con sabor a Citrus Punch a nivel de planta piloto

**Base de Cálculo:** 254.2 Kg de bebida artificial

$$\rho = 1048.6 \text{ Kg/m}^3$$

$$V = \frac{M}{\rho} = 2.542 \text{ Kg} / 1048.6 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 242.42 \text{ lts}$$

**Balance de Recepción de Agua**



**Balance general**

$$A = B$$

$$B = 173.6 \text{ Kg}$$

**Balance de Agua**

$$A(A1) = B(B1)$$

$$173.6 (1) = 173.6(B1)$$

$$B1 = 173.6/173.6$$

$$B1 = 1 * 100 = 100\%$$

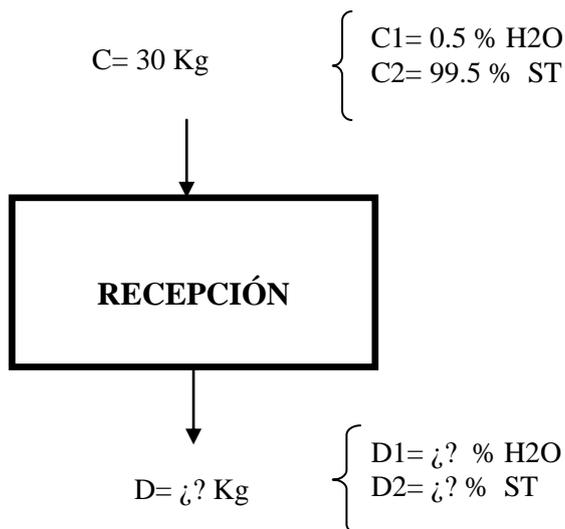
**Balance de Sólidos Totales**

$$A(A_2) = B(B_2)$$

$$173.6 (0) = 173.6 (B_2)$$

$$B_2 = 1.73.6/173.6$$

$$B2 = 0 * 100 = 0\%$$

**Balance de Recepción de Azúcar****Balance general**

$$C = D$$

$$D = 30 \text{ Kg}$$

**Balance de Agua**

$$C(C1) = D(D1)$$

$$30 (0.005) = 30(D1)$$

$$D1 = 0.15/30$$

$$D1 = 0,005 * 100 = 0,5\%$$

**Balance de Sólidos Totales**

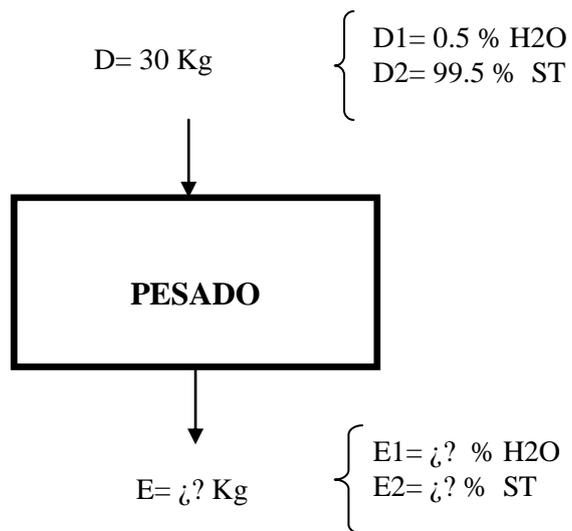
$$C(C2) = D(D2)$$

$$30(0.995) = 30(D2)$$

$$D2 = 29.85/30$$

$$D2 = 0.995 * 100 = 99.5\%$$

### Balance de Pesado de Azúcar



### Balance general

$$D = E$$

$$E = 30 \text{ Kg}$$

### Balance de Agua

$$D(D1) = E(E1)$$

$$30(0.005) = 30(E1)$$

$$E1 = 0.15/30$$

$$E1 = 0,005 * 100 = 0,5\%$$

### Balance de Sólidos Totales

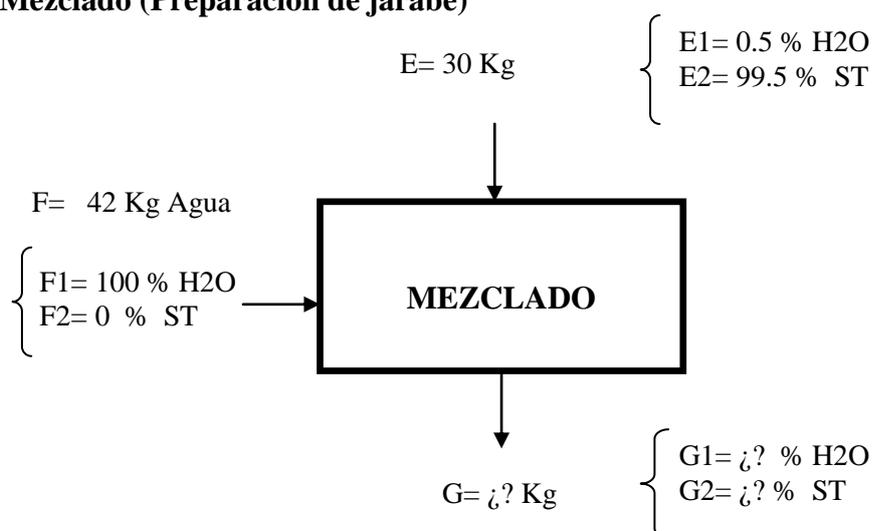
$$D(D2) = E(E2)$$

$$30(0.995) = 30(E2)$$

$$E2 = 29.85/30$$

$$E2 = 0.995 * 100 = 99.5\%$$

### Balance de Mezclado (Preparación de jarabe)



#### Dato experimental

$F = 42 \text{ Kg de agua}$

#### Balance general

$$E + F = G$$

$$G = 30 + 42$$

$$G = 72 \text{ Kg}$$

#### Balance de Agua

$$E(E1) + F(F1) = G(G_1)$$

$$30(0.005) + 42(1) = 72(G_1)$$

$$G_1 = 42.15/72$$

$$G_1 = 0.5854 * 100 = 58.54\%$$

#### Balance de Sólidos Totales

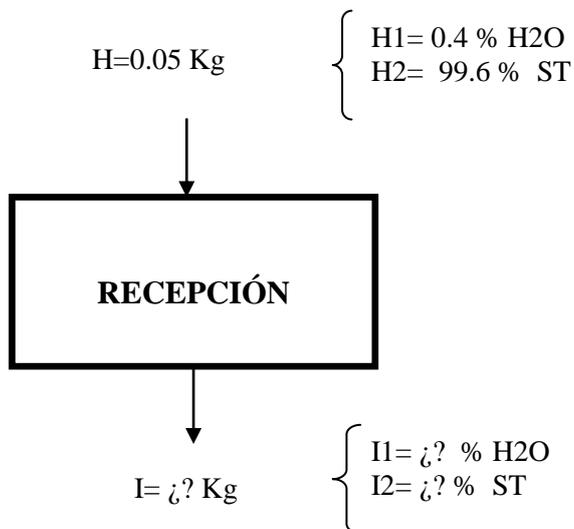
$$E(E2) + F(F2) = G(G_2)$$

$$30(0.995) + 42(0) = 72(G_2)$$

$$G_2 = 29.85/0.72$$

$$G_2 = 0.4146 * 100 = 41.46 \%$$

### Balance de Recepción de Benzoato



#### Balance general

$$H = I$$

$$I = 0.05 \text{ Kg}$$

#### Balance de Agua

$$H(H_1) = I(I_1)$$

$$0.05 (0.004) = 0.05 (I_1)$$

$$I_1 = 0.0002/0.05$$

$$I_1 = 0,004 * 100 = 0,4 \%$$

#### Balance de Sólidos Totales

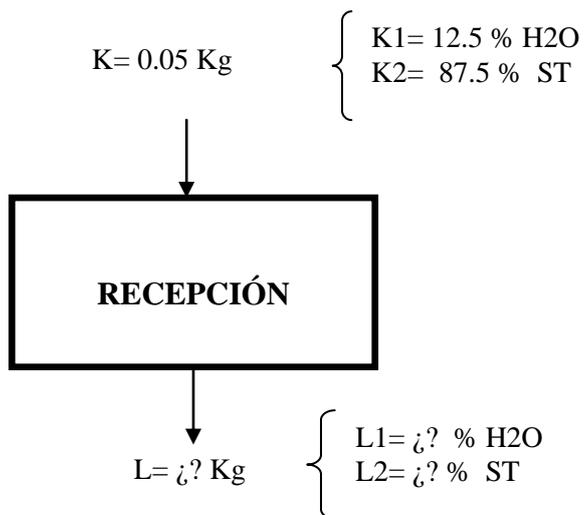
$$H(H_2) = I(I_2)$$

$$0.05 (0.996) = 0.05 (I_2)$$

$$I_2 = 0.0498/0.05$$

$$I_2 = 0.996 * 100 = 99.6 \%$$

### Balance de Recepción de Sorbato de Potasio



#### **Balance general**

$$K = L$$

$$L = 0.05 \text{ Kg}$$

#### **Balance de Agua**

$$K(K1) = L(L1)$$

$$0.05 (0.125) = 0.05(L1)$$

$$L1 = 0.00625/0.05$$

$$L1 = 0.125 * 100 = 12.5 \%$$

#### **Balance de Sólidos Totales**

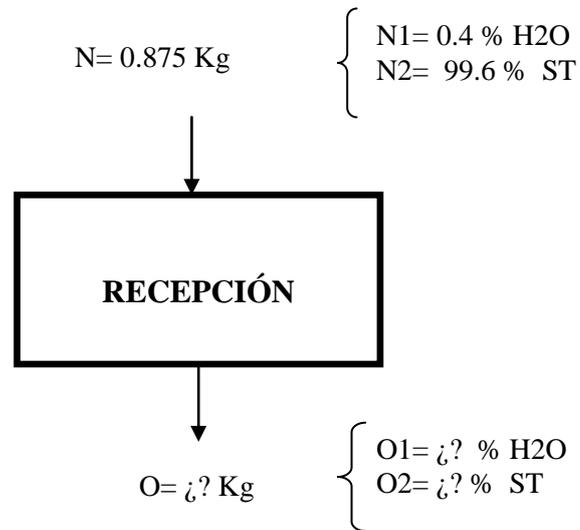
$$K(K2) = L(L2)$$

$$0.05 (0.875) = 0.05(L2)$$

$$L2 = 0.04375/0.05$$

$$L2 = 0.875 * 100 = 87.5$$

### Balance de Recepción de Ácido Cítrico



#### **Balance general**

$$N = O$$

$$O = 0.875 \text{ Kg}$$

#### **Balance de Agua**

$$N(N1) = O(O1)$$

$$0.875 (0.004) = 0.875(O1)$$

$$O1 = 0.0035/0.875$$

$$O1 = 0.004 * 100 = 0.4 \%$$

#### **Balance de Sólidos Totales**

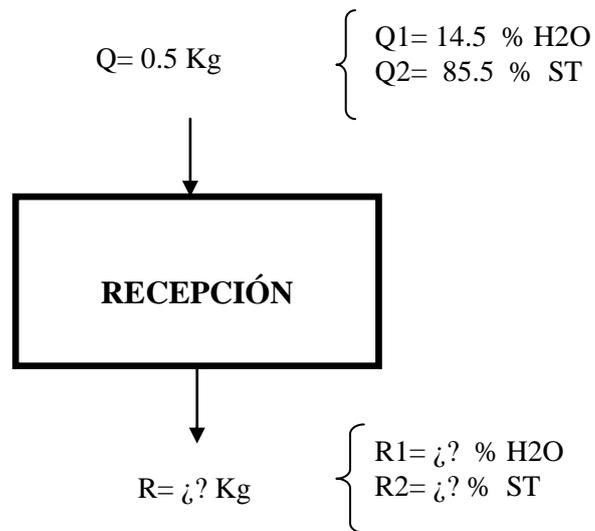
$$N(N2) = O(O2)$$

$$0.875 (0.996) = 0.875(O2)$$

$$O2 = 0.8715/0.875$$

$$O2 = 0.996 * 100 = 99.6 \%$$

### Balance de Recepción de Emulsión Citrus Punch



#### Balance general

$$Q = R$$

$$R = 0.5 \text{ Kg}$$

#### Balance de Agua

$$Q(Q1) = R(R1)$$

$$0.5 (0.145) = 0.5(R1)$$

$$R1 = 0.0725/0.5$$

$$R1 = 0.145 * 100 = 14.5 \%$$

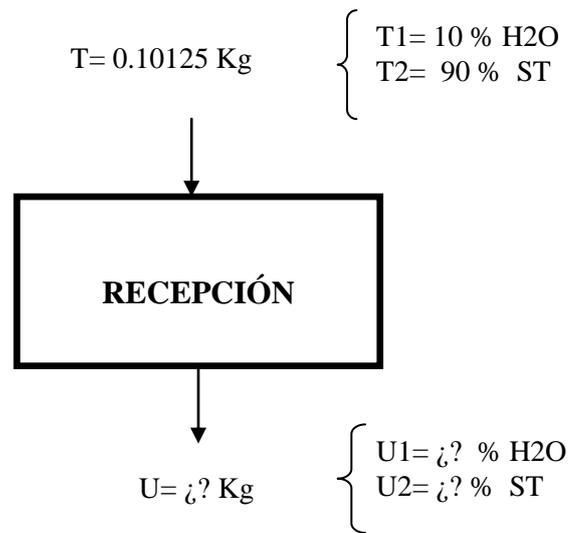
#### Balance de Sólidos Totales

$$Q(Q2) = R(R2)$$

$$0.5 (0.855) = 0.5(R2)$$

$$R2 = 0.4275/0.5$$

$$R2 = 0.855 * 100 = 85.5 \%$$

**Balance de Recepción de CMC****Balance general**

$$T = U$$

$$U = 0.125 \text{ Kg}$$

**Balance de Agua**

$$T(T1) = U(U1)$$

$$0.125 (0.10) = 0.125 (U1)$$

$$U1 = 0.0125 / 0.125$$

$$U1 = 0.10 * 100 = 10 \%$$

**Balance de Sólidos Totales**

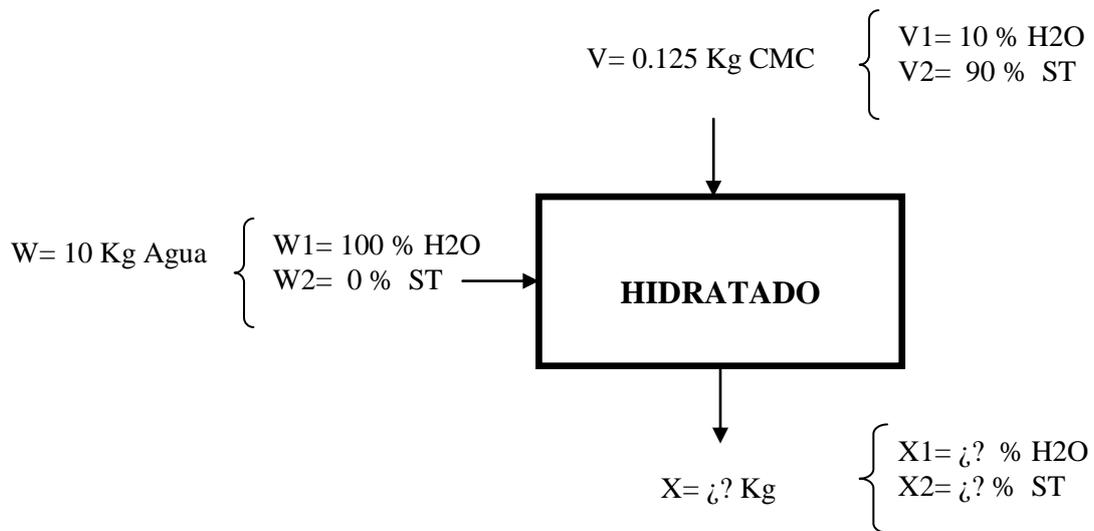
$$T(T2) = U(U2)$$

$$0.125 (0.90) = 0.125 (U2)$$

$$U2 = 0.1125 / 0.125$$

$$U2 = 0.90 * 100 = 90 \%$$

### Balance de Hidratado de CMC



#### Dato experimental

W = 10 Kg de Agua

#### Balance general

$$V + W = X$$

$$X = 0.125 + 10$$

$$X = 10.125 \text{ Kg}$$

#### Balance de Agua

$$V(V1) + W(W1) = X(X1)$$

$$0.125 (0.10) + 10(1) = 10.125 (X1)$$

$$X1 = 10.0125/10.125$$

$$X1 = 0.99 * 100 = 99 \%$$

#### Balance de Sólidos Totales

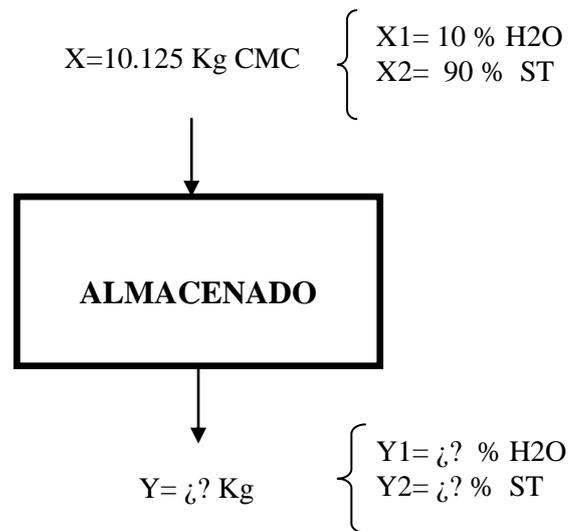
$$V(V2) + W(W2) = X(X2)$$

$$0.125 (0.90) + 10(0) = 10.125 (X2)$$

$$X2 = 0.1125/10.125$$

$$X2 = 0.01 * 100 = 1 \%$$

### Balance de Almacenado de CMC



#### Balance general

$$X = Y$$

$$Y = 10.125 \text{ Kg}$$

#### Balance de Agua

$$X(X1) = Y(Y1)$$

$$10.125 (0.99) = 10.125 (Y1)$$

$$Y1 = 10.0237 / 10.125$$

$$Y1 = 0.99 * 100 = 99 \%$$

#### Balance de Sólidos Totales

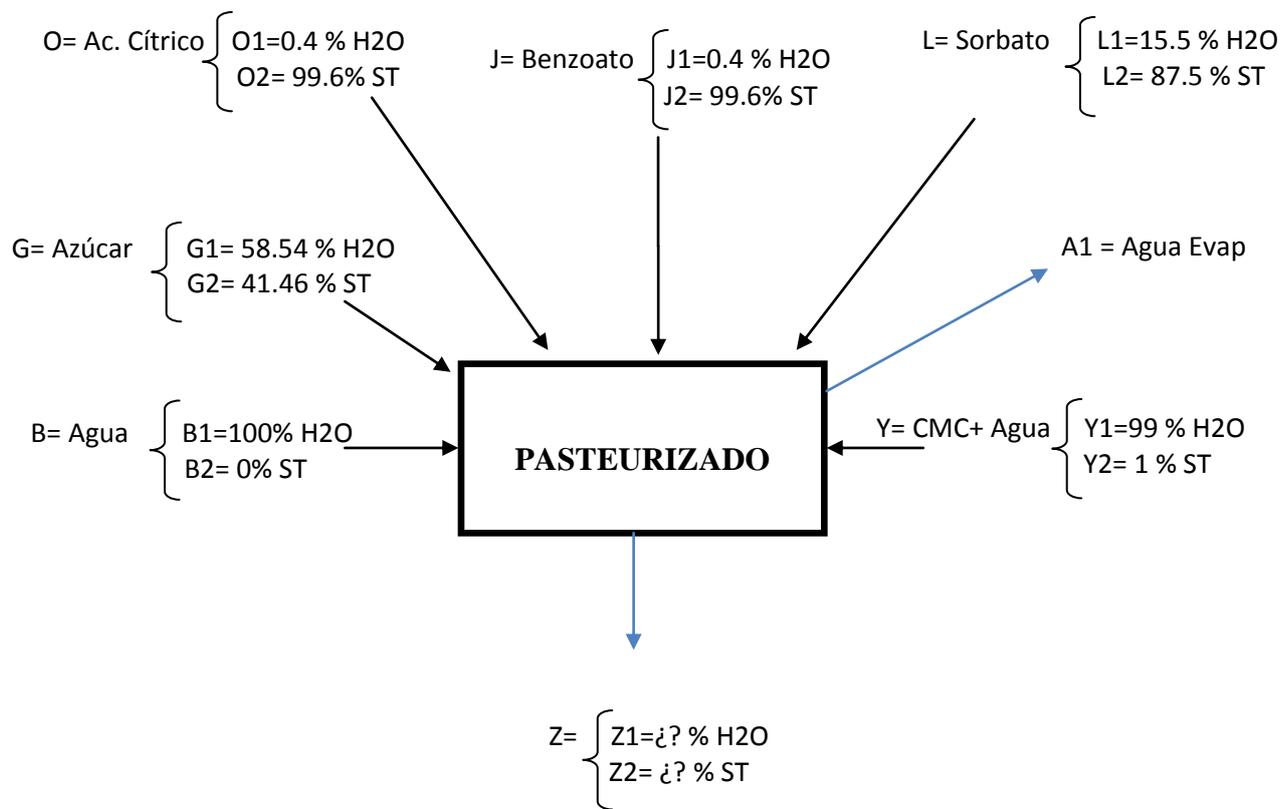
$$X(X2) = Y(Y2)$$

$$10.125 (0.01) = 10.125 (Y2)$$

$$Y2 = 0.10125 / 10.125$$

$$Y2 = 0.01 * 100 = 1$$

## BALANCE DE PASTEURIZADO



### Balance general

$$B + G + J + L + O + Y = Z + A1$$

$$Z = 173.6 + 72 + 0.05 + 0.05 + 0.875 + 10.125 - 2.5$$

$$Z = 254.2 \text{ Kg}$$

### Balance de agua

$$B \cdot B1 + G \cdot G1 + J \cdot J1 + L \cdot L1 + O \cdot O1 + Y \cdot Y1 = Z (Z1)$$

$$173.6 (1) + 72 (0.5854) + 0.05 (0.004) + 0.05 (0.155) + 0.875 (0.004) + 10.125 (0.99) = 254.2 (Z1) + 2.5 (1)$$

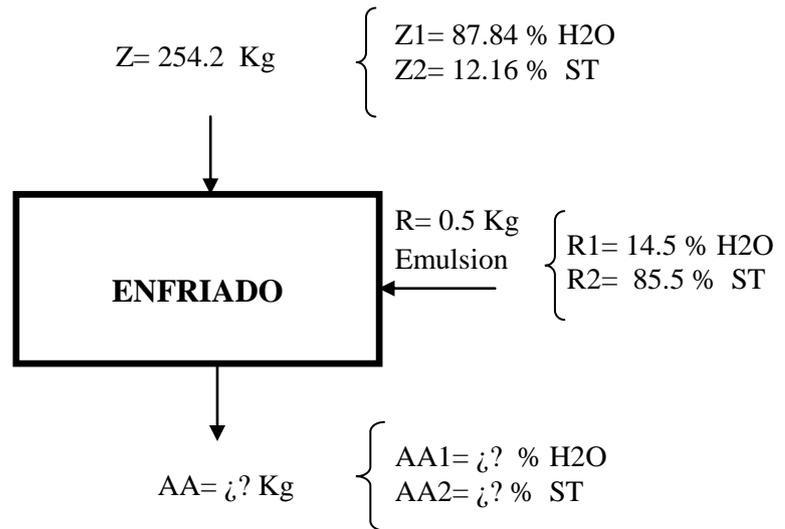
$$Z1 = \frac{213.572}{254.2} =$$

$$Z1 = 87.84\%$$

**Balance de sólidos totales**

$$B. B2 + G. G2 + J. J2 + M. M2 + P. P2 + Y. Y2 = Z2$$

$$Z2 = 100 - 87.84 = 12.16 \%$$

**BALANCE DE ENFRIADO****Balance general**

$$Z + R = AA$$

$$AA = 254.2 + 0.5$$

$$AA = 254.7 \text{ Kg}$$

**Balance de agua**

$$Z(Z1) + R(R1) = AA(AA1)$$

$$254.2 \times 0.8784 + 0.5 \times 0.145 = 254.7 \text{ (AA1)}$$

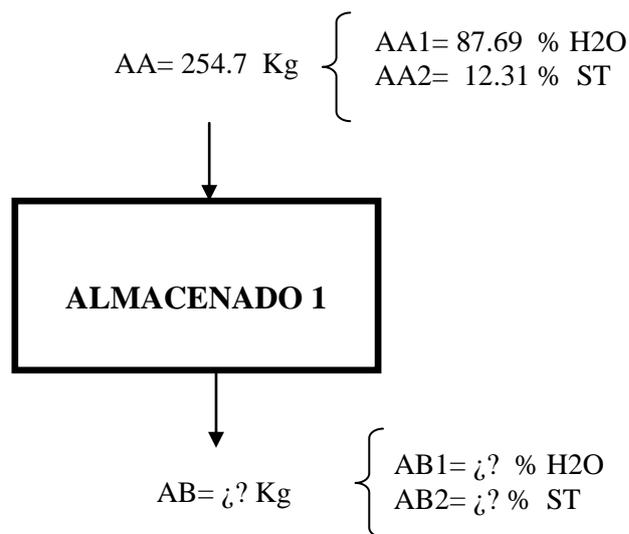
$$AA1 = 0.8769 \times 100 = 87.69 \%$$

**Balance de sólidos totales**

$$Z(Z2) + R(R2) = AA(AA2)$$

$$254.2 \times 0.1216 + 0.5 \times 0.855 = 254.7 \text{ (AA2)}$$

$$AA2 = 0.1231 \times 100 = 12.31 \%$$

**BALANCE DE ALMACENADO 1****Balance general**

$$AA = AB$$

$$AB = 254.7 \text{ Kg}$$

**Balance de agua**

$$AA(AA1) = AB(AB1)$$

$$254.7 (0.8769) = 254.7 (AB1)$$

$$AB1 = 223.3/254.7$$

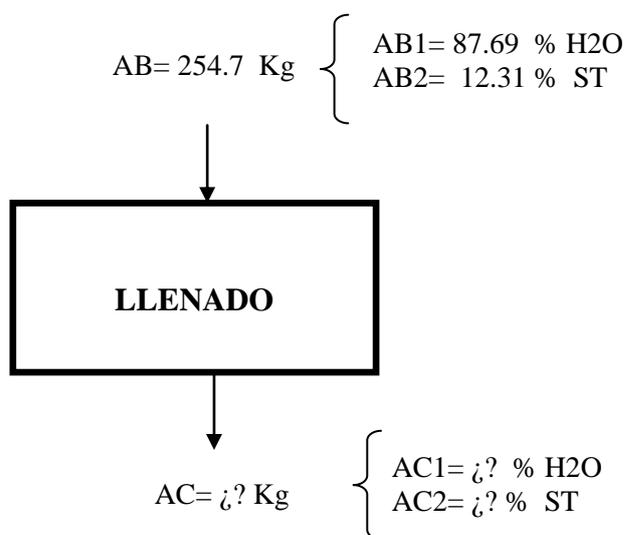
$$AB1 = 0.8769 \times 100 = 87.69 \%$$

**Balance de sólidos totales**

$$AA(AA2) = AB(AB2)$$

$$254.7 (0.1231) = 254.7 (AB2)$$

$$AB2 = 0.1231 * 100 = 12.31 \%$$

**BALANCE DE LLENADO DOSIFICADO****Balance general**

$$AB = AC$$

$$AC = 254.7 \text{ Kg}$$

**Balance de agua**

$$AB(AB1) = AC(AC1)$$

$$254.7 (0.8769) = 254.7 (AC1)$$

$$AC1 = 223.34 / 254.7$$

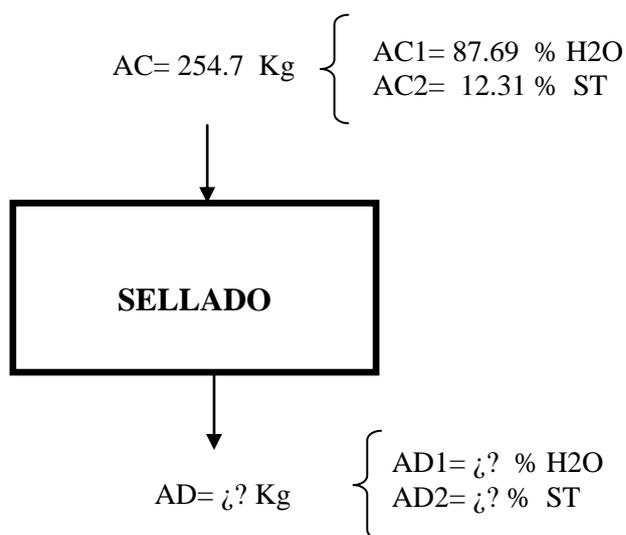
$$AC1 = 0.8769 * 100 = 87.69 \%$$

**Balance de sólidos totales**

$$AB(AB2) = AC(AC2)$$

$$254.7 (0.1231) = 254.7 (AC2)$$

$$AC2 = 0.1231 * 100 = 12.31 \%$$

**BALANCE DE SELLADO****Balance general**

$$AC = AD$$

$$AD = 254.7 \text{ Kg}$$

**Balance de agua**

$$AC(AC1) = AD(AD1)$$

$$254.7 (0.8769) = 254.7 (AD1)$$

$$AD1 = 223.34 / 254.7$$

$$AD1 = 0.8769 * 100 = 87.69 \%$$

**Balance de sólidos totales**

$$AC(AC2) = AD(AD2)$$

$$254.7 (0.1231) = 254.7 (AD2)$$

$$AD2 = 0.1231 * 100 = 12.31 \%$$

**CANTIDAD DE FUNDAS QUE SALEN DEL SELLADO**

Datos:

$$M = 254.7 \text{ kg}$$

$$\rho = 1048.6 \text{ Kg/m}^3$$

$$V = M/\rho$$

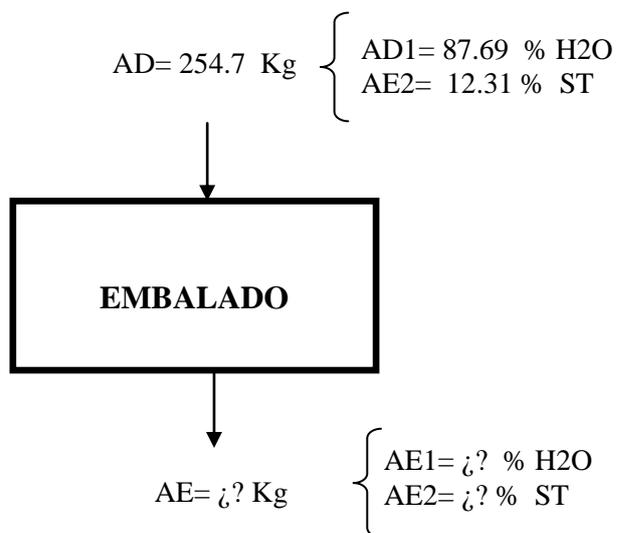
$$V = \frac{254.7 \text{ Kg}}{1048.6 \text{ kg/m}^3}$$

$$V = 0.24289 \text{ m}^3 = 242.89 \text{ lts}$$

Capacidad de c/funda = 500 cc

$$242890 \text{ cc} / 500 \text{ cc}$$

$$\# \text{ FUNDAS} = 485.78$$

**BALANCE DE EMBALADO****Balance general**

$$AD = AE$$

$$AE = 254.7 \text{ Kg}$$

**Balance de agua**

$$AD(AD1) = AE(AE1)$$

$$254.7 (0.8769) = 254.7 (AE1)$$

$$AE1 = 223.34/254.7$$

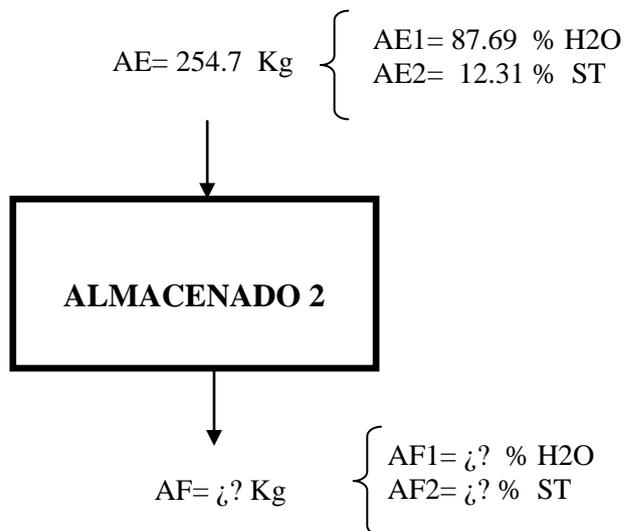
$$AE1 = 0.8769 * 100 = 87.69 \%$$

**Balance de sólidos totales**

$$AD(AD2) = AE(AE2)$$

$$254.7 (0.1231) = 254.7 (AE2)$$

$$AE2 = 0.1231 * 100 = 12.31 \%$$

**BALANCE DE ALMACENADO 2****Balance general**

$$AE = AF$$

$$AF = 254.7 \text{ Kg}$$

**Balance de agua**

$$AE(AE1) = AF(AF1)$$

$$254.7 (0.8769) = 254.7 (AF1)$$

$$AF1 = 223.34 / 254.7$$

$$AF1 = 0.8769 * 100 = 87.69 \%$$

**Balance de sólidos totales**

$$AE(AE2) = AF(AF2)$$

$$254.7 (0.1231) = 254.7 (AF2)$$

$$AF2 = 0.1231 * 100 = 12.31 \%$$

## Anexo 6. Diseño del pasteurizadora nivel de planta piloto en la Planta de agua Que Rica

### Dimensionamiento del pasteurizador

#### Datos:

$$T_1 = 30^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 60^\circ\text{C}$$

$$C_p = 3.8244 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{C}$$

$$m = 254.7 \text{ Kg}$$

$$\delta = 1048.6 \text{ Kg/m}^3$$

$$U = 304.76 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Determinación del volumen del pasteurizador del primer cilindro

$$V = \frac{254.7 \text{ Kg}}{1048.6 \text{ Kg/m}^3}$$

$$V = 0.24289 \text{ m}^3 = 242.89 \text{ lts}$$

Volumen total de diseño del pasteurizador

$$V_t = V + 0.285 V$$

$$V_t = 242.89 + 0.285 \times 242.89$$

$$V_t = 250 \text{ lts}$$

Determinación del flujomásico

$$M = \frac{254.7 \text{ Kg}}{115 \text{ min}} \times \frac{\text{min}}{60 \text{ s}} = 0.0369 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

**Determinación del calor sensible**

$$Q_s = m^{\circ}Cp (T_2 - T_1)$$

$$Q_s = 254.7 \text{ Kg} * 3.8244 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} (60 - 30)^{\circ}\text{C}$$

$$Q_s = 29222.24 \text{ KJ}$$

$$Q_s = \frac{29222.24 \text{ KJ}}{115 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 4.235 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}$$

**Determinación del calor latente**

$$Q_L = M_{H_2O} x \lambda L$$

$$Q_L = 2.5 \text{ Kg} * 2609.9 \text{ KJ/Kg}$$

$$Q_L = 6524.75 \text{ KJ}$$

$$Q^{\circ}_L = \frac{6524.75 \text{ KJ}}{115 \text{ min}} x \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$Q^{\circ}_L = 0.9456 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}$$

**Cantidad de calor necesario**

$$Q_T = Q_s + Q_l$$

$$Q_T = 29222.24 + 6524.75$$

$$Q_t = 35746.99 \text{ KJ}$$

$$Q_T = \frac{35746.99 \text{ KJ}}{115 \text{ min}} x \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 5.1806 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}$$

### Determinación del área de transferencia de calor en el pasteurizador. Teórico

$$A = \frac{\pi}{4} \phi^2$$

$$Qt = A * U \Delta T$$

$$A = \frac{5.1806 \text{ KJ/s}}{0.30476 \frac{\text{KJ}}{\text{s m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} * (60 - 30) ^\circ\text{C}}$$

$$A = 0.5666 \text{ m}^2$$

### Determinación del diámetro teórico

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * 0.5666 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$\phi = 0.849 \text{ m}$$

### Determinación del diámetro práctico del pasteurizador para el primer cilindro

#### Datos:

$$V = 250 \text{ Lts}$$

$$A = 0.5666 \text{ m}^2$$

$$V_c = A * H$$

$$H = \frac{0.25 \text{ m}^3}{0.5666 \text{ m}^2}$$

$$H = 0.4412 \text{ m}$$

$$\mathbf{H = 44.12 \text{ cm}}$$

$$\phi = 84.9 \text{ cm}$$

Como el diámetro calculado es mayor a la altura obtenida, hacemos otro cálculo para obtener un diámetro práctico

$$V_t = V + 0.1V$$

$$V_t = 250 + 0.103 \times 250 =$$

$$V_t = 278.73 \text{ lts}$$

$$H = 1.29 \phi$$

$$V_c = \frac{\pi}{4} \phi^2 H$$

$$0.27873 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{4} \phi^2 \cdot (1.29 \phi)$$

$$\phi^3 = 0.2751 \text{ m}^3$$

$$\phi = D_{int} = 0.65 \text{ m} \cong 65 \text{ cm}$$

$$H_1 = 1.29 (65 \text{ cm})$$

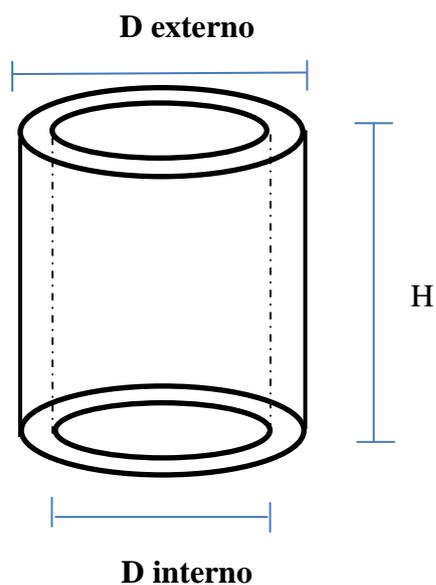
$$H_1 = 84 \text{ cm}$$

### Condiciones del primer diseño para el primer cilindro

$$D_{int} = 65 \text{ cm}$$

$$H_1 = 84 \text{ cm}$$

### Determinación del diámetro práctico del pasteurizador para el segundo cilindro



Separación del primer cuadrado con respecto al segundo, asumimos la distancia de  $D = 5$  cm

$$D_{ext} = \phi_1 + 2 * D_{int}$$

$$D_{ext} = 65 + 2 * 5$$

$$\mathbf{D_{ext} = 75 \text{ cm}}$$

La altura del primer cilindro es igual al segundo cilindro

$$H_1 = H_2 = 84 \text{ cm}$$

### Diseño del plano del pasteurizador

#### Características

Volumen de trabajo:	250 Lts
Volumen de diseño:	278.73 Lts
Tipo de acero inoxidable:	AISI 304

Espesor de acero inoxidable:	3 mm
Temperatura de operación:	22 a 120°C
Transferencia de calor:	vapor saturado

### Dimensiones

Diámetro del segundo cilindro:	65 cm
Diámetro del segundo cilindro:	75 cm
Altura de cilindro:	84 cm
Altura total del soporte:	191 cm

### **Determinación de la cantidad de vapor que se requiere**

#### **Datos:**

$$T_1 = 30 \text{ °C}$$

$$T_2 = 60 \text{ °C}$$

$$T_{v100 \text{ °C}} = 212 \text{ °F}$$

$$H_g = 2676.1 \text{ KJ/Kg (Tabla B-1. Propiedades del vapor saturado)}$$

$$t = 1.92 \text{ hr}$$

$$Q_{Pv} = Q_{GJ}$$

$$m^\circ \lambda_v = 5.1806 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}$$

$$m^\circ = \frac{5.1806 \text{ KJ/s}}{2676.1 \text{ KJ/Kg}}$$

$$m^\circ = 0.00194 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} = 0.00426 \frac{\text{Lbm}}{\text{s}}$$

### Masa total del vapor utilizado

$$m = m^{\circ} * t$$

$$m = 0.00194 \frac{Kg}{s} * 1.92 \text{ hr} * \frac{3600 s}{1 \text{ hr}}$$

$$m = 6.984 \text{ Kg}$$

$$m = 15.4 \text{ Lbm}$$

### Potencia requerida del caldero

#### Datos:

$$m^{\circ} = 0.00426 \frac{\text{Lbm}}{s}$$

$$Pv = 101.3 \text{ KPa (Tabla)}$$

$$Tv = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

### Cantidad del vapor total

$$m^{\circ}_T = m^{\circ} + 0.25 m^{\circ}$$

$$m^{\circ}_T = 0.00426 + 0.25 (0.00426)$$

$$m^{\circ}_T = 0.005325 \frac{\text{Lbm}}{s} = 19.17 \frac{\text{Lbm}}{\text{hr}}$$

### Potencia de caldero

$$P_T = 0.005325 \frac{\text{Lbm}}{s} * \frac{3600 s}{\text{hr}} * \frac{\text{HP}}{34.5 \frac{\text{Lbm}}{\text{hr}}}$$

$$P_T = 0.5556 \text{ HP}$$

*Potencia de trabajo = 5 HP*

### **Potencia de diseño**

$$P_D = 2 P_T$$

$$P_D = 2 * 5 \text{ HP}$$

$$P_D = 10 \text{ HP}$$

### **Determinación de la potencia del motor para el agitador del pasteurizador**

$$\text{Potencia} = \frac{K}{g_c} \delta N^3 D^5$$

#### **Donde:**

P = Potencia (w)

K = factor de potencia (Anexo N° 15)

D = Diámetro (m)

$\delta$  = Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)

N = Velocidad angular

#### **Datos experimentales:**

K = 6.3 (Anexo N° 15)

D = 65 cm

$\delta$  = 1048.6 Kg/m<sup>3</sup>

N = 6 rpm = 0.1 rev/s

$$P = \frac{K}{gc} * \rho * N^3 * D^5$$

$$P = \frac{6.3}{9.81 \frac{\text{Kgm}\cdot\text{m}}{\text{N}\cdot\text{s}^2}} * 1048.6 \frac{\text{Kgm}}{\text{m}^3} * \frac{0.1^3}{\text{s}^3} * 0.65^5 \text{m}^5$$

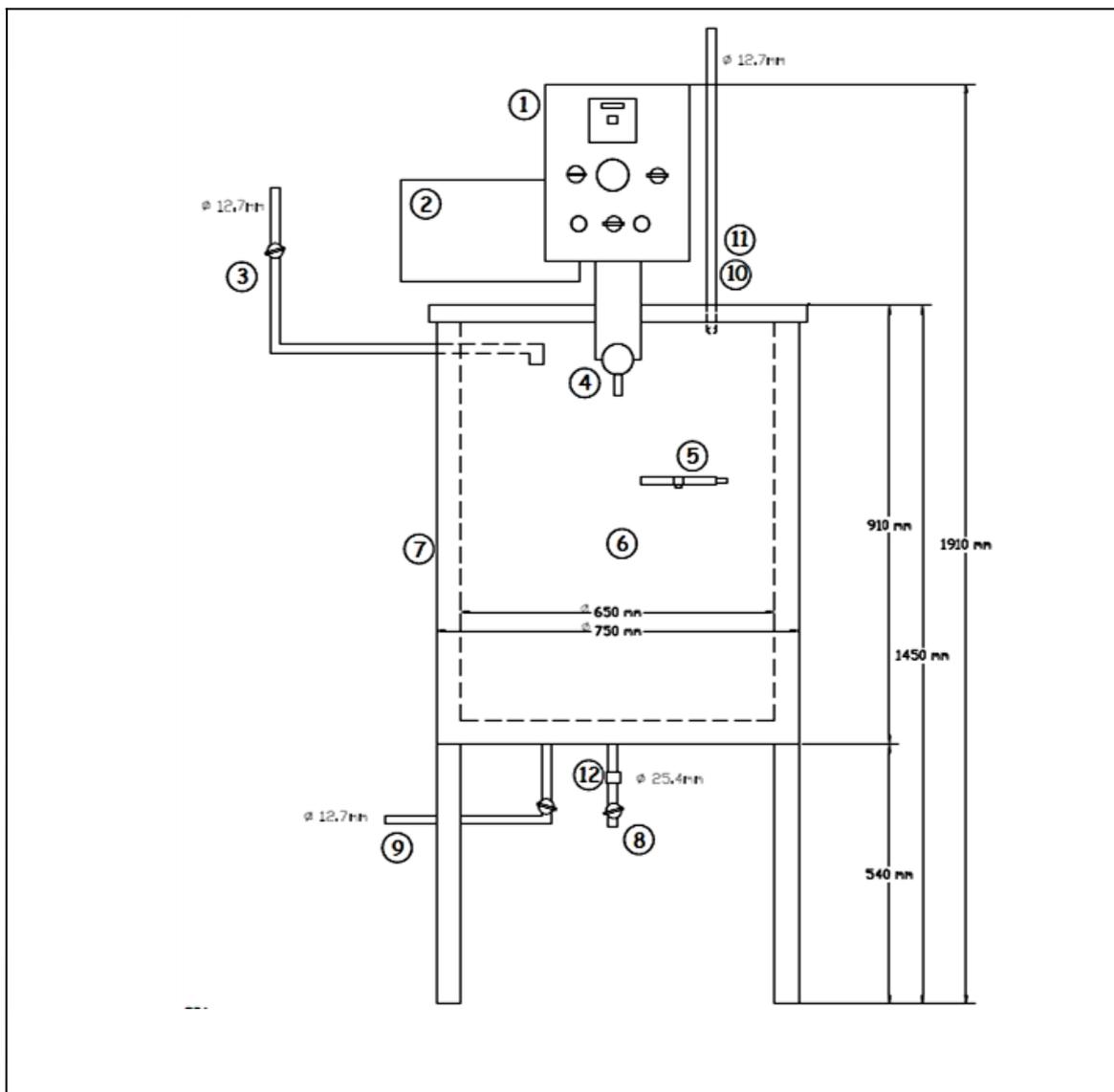
$$P = 7.814 \times 10^{-2} \frac{\text{J}}{\text{s}} (\text{W}) = 1.048 \times 10^{-5} \text{ HP}$$

Nota: se utiliza un motor de 0.5 hp, por no existir un motor de potencia tan disminuida.

### Características del agitador

<u>Descripción</u>	<u>Medidas</u>
Diámetro de la barra	25 mm
Longitud de la barra	1020 mm
Longitud de la base sup. del aspa superior	166 mm
Longitud de la base inf. del aspa superior	165 mm
Longitud de la base sup. del aspa inferior	266 mm
Longitud de la base inf. del aspa inferior	250 mm
Longitud lateral interna de la aspa superior	50 mm
Longitud lateral externa de la aspa superior	65 mm
Longitud lateral interna de la aspa inferior	50 mm
Longitud lateral externa de la aspa inferior	70 mm

### Anexo 7. Diseño del pasteurizador (vista frontal)



#### SIMBOLOGÍA:

1 Tablero de control	7 Cilindro exterior
2 Motor eléctrico del agitador	8 Válvula de desenfoque
3 Entrada de agua purificada para la bebida	9 Salida de vapor condensado
4 Manómetro	10 Entrada de vapor
5 Válvula de emergencia	11 Entrada de agua para enfriar
6 Cilindro interno	12 Salida de producto terminado (Bebida artificial)

## UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

DISEÑO: GUTIÉRREZ C.

DIBUJÓ: GUTIÉRREZ C.

APROBÓ: ING. CRESPÍN J.

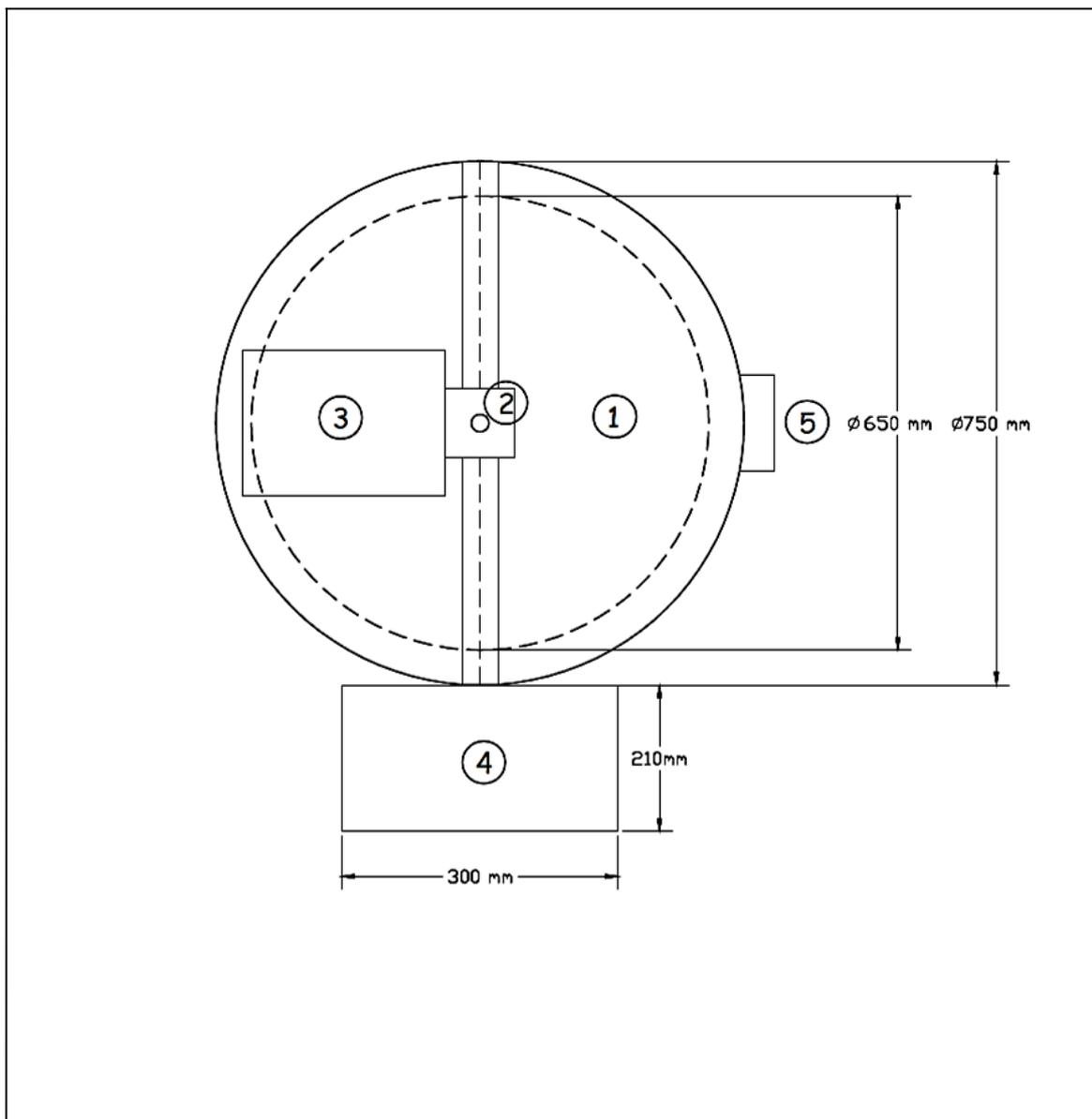
**VISTA FRONTAL:  
PASTEURIZADOR**

FECHA: MAYO 2014

ESCALA: 1:10

PLANO: 1

**Anexo 8.** Diseño del pasteurizador (vista superior)



**SIMBOLOGÍA:**

1 Tapa móvil

3 Motor eléctrico

5 Manija

2 Reductor

4 Tablero de control

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**DISEÑO:** GUTIÉRREZ C.

**FECHA:** MAYO 2014

**DIBUJÓ:** GUTIÉRREZ C.

**VISTA SUPERIOR:**

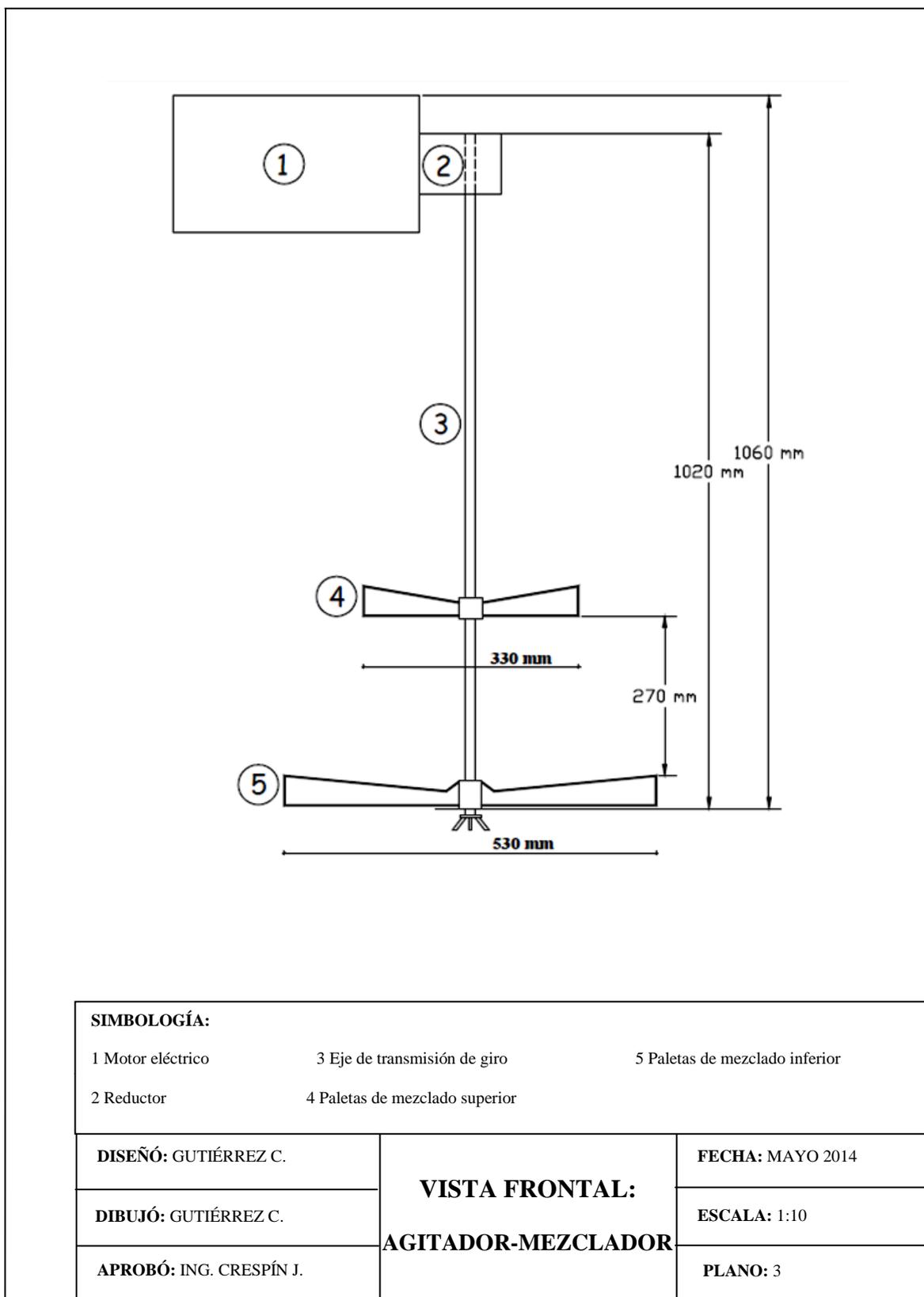
**ESCALA:** 1:10

**APROBÓ:** ING. CRESPÍN J.

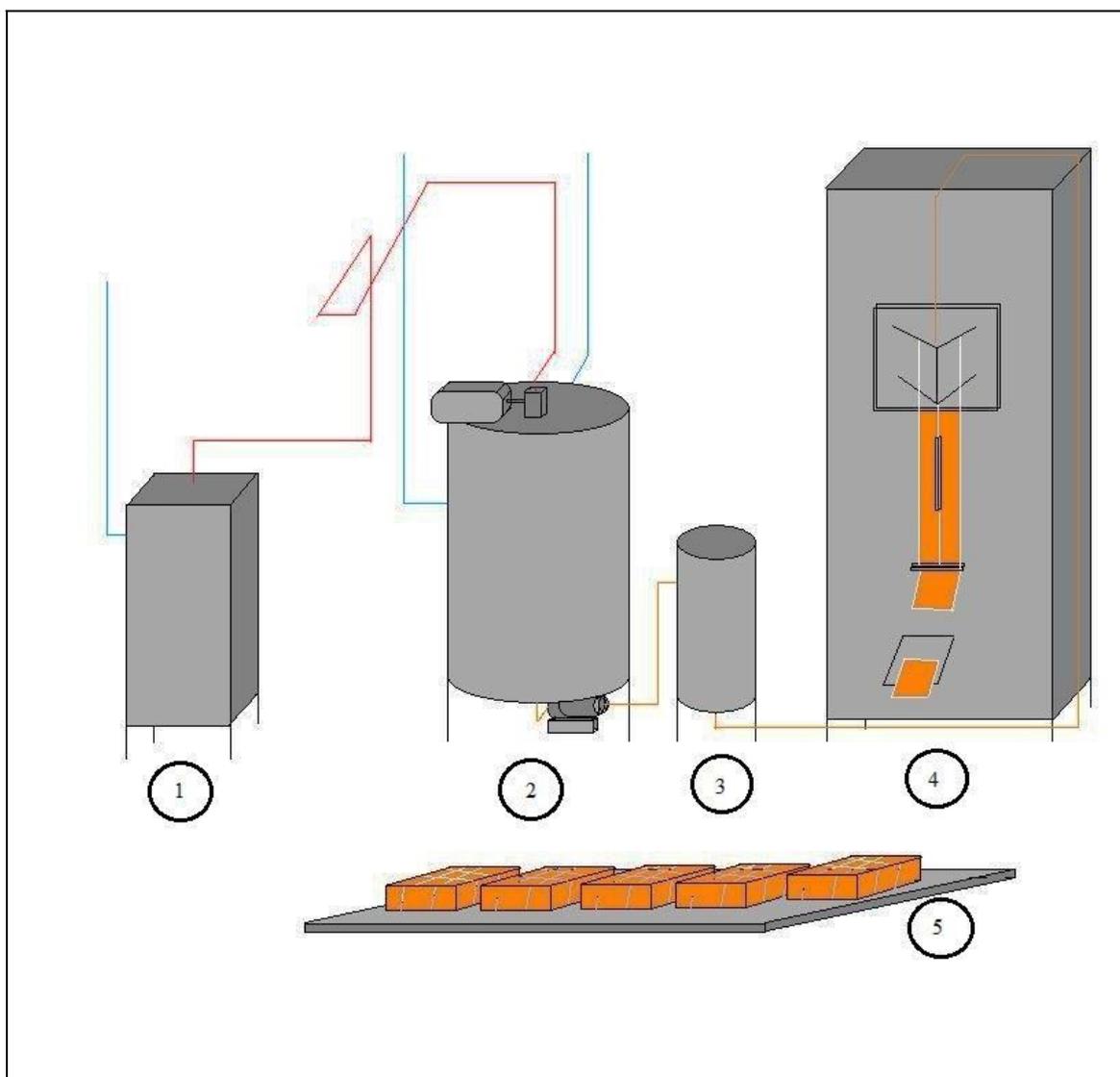
**PASTEURIZADOR**

**PLANO:** 2

**Anexo 9.** Diseño del agitador del equipo (vista frontal)



**Anexo 10.** Plano 3 D de la planta piloto para la elaboración de una bebida artificial con sabor a Citrus Punch



**SIMBOLOGÍA:**

1 Caldero

3 Tanque de almacenamiento 5 Producto final

2 Pasteurizador

4 Llenadora

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**DISEÑO:** GUTIÉRREZ C.

**FECHA:** MAYO 2014

**DIBUJÓ:** GUTIÉRREZ C.

**DISEÑO 3D**

**ESCALA:** 1:10

**APROBÓ:** ING. CRESPÍN J.

**PLANO:** 4

## Anexo 11. Potencial calorífico de los gases

Tabla C-4 Índices característicos de calentamiento de algunos combustibles

<i>Combustible</i>	<i>kJ/kg</i>	<i>Btu/lbm</i>
Madera	20 470	8 800
Turba	20 930	9 000
Carbón lignito	25 590	11 000
Carbón subbituminoso	29 070	12 500
Carbón bituminoso	34 890	15 000
Carbón antracita	30 240	14 000
Metano (gas natural) <sup>a</sup>	50 010	21 500
Propano	46 350	19 930
Octano (gasolina) <sup>b</sup>	44 800	19 260
Aceite combustible (Núm. 2) <sup>b</sup>	45 520	19 570

<sup>a</sup> Gas Natural es expendido usualmente sobre una base de volumen más que sobre una base de masa. El índice de calentamiento del metano es 33 750 kJ/m<sup>3</sup> o de 906 Btu/pie<sup>3</sup> con base en su densidad de 0.674 kg/m<sup>3</sup> en condiciones estándar de 1 atm de presión y 60 °F.

<sup>b</sup> Con frecuencia es conveniente expresar el índice de calentamiento de la gasolina como 34.780 kJ/L o 125 000 Btu/gal. El índice de calentamiento del aceite combustible Núm. 2 es 39 300 kJ/L o 141 000 Btu/gal.

Anexo 12. Propiedades del vapor saturado

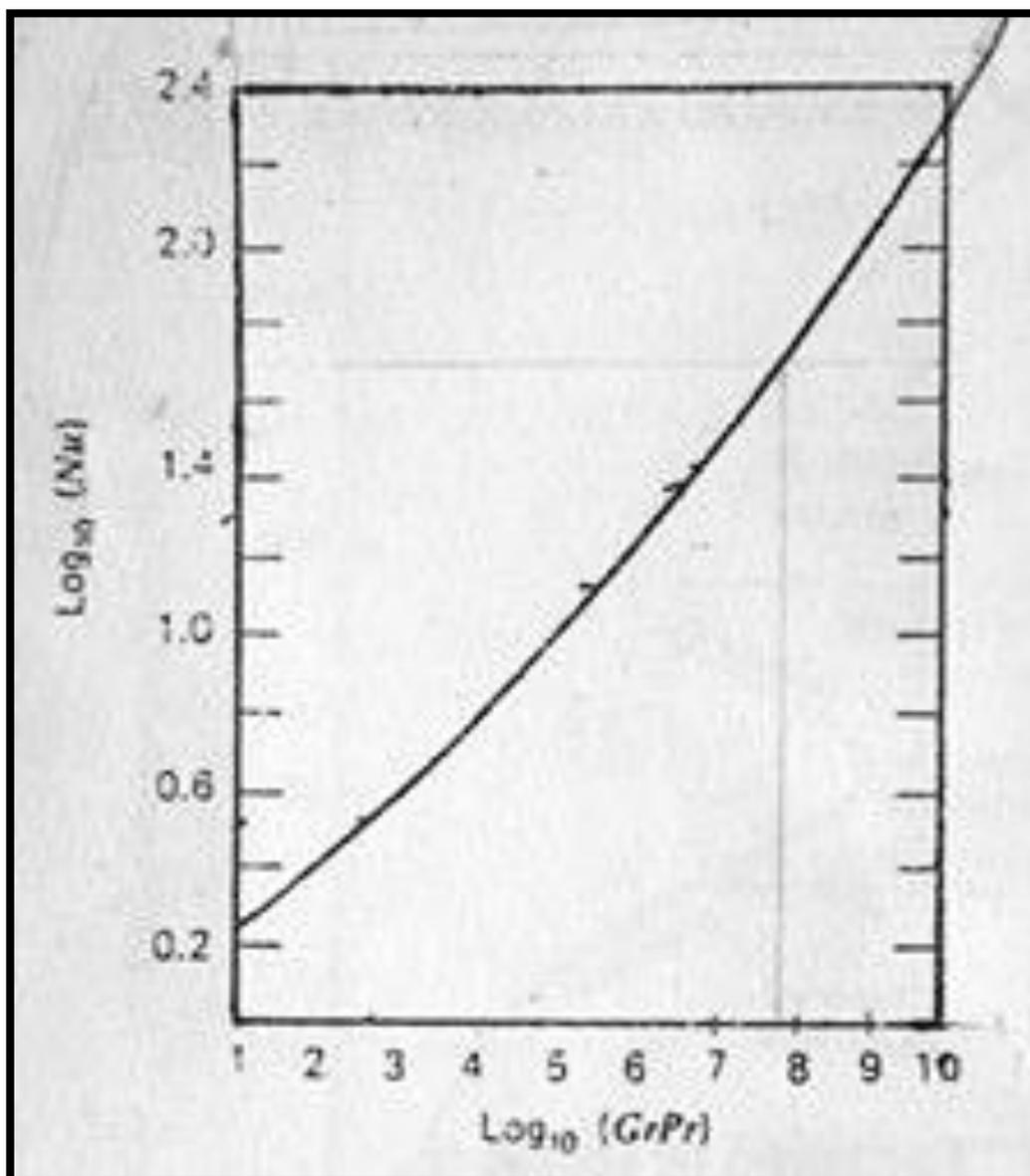
Tabla B-1 Propiedades del vapor saturado: Tabla de temperatura (Unidades SI)

Temp. °C T	Pres. kPa P	Volumen Especifico m <sup>3</sup> /kg		Energia Interna kJ/kg			Entalpia kJ/kg			Entropia kJ/kg·K		
		Liquido sat. v <sub>f</sub>	Vapor sat. v <sub>g</sub>	Liquido sat. u <sub>f</sub>	Evap. u <sub>fg</sub>	Vapor sat. u <sub>g</sub>	Liquido sat. h <sub>f</sub>	Evap. h <sub>fg</sub>	Vapor sat. h <sub>g</sub>	Liquido sat. s <sub>f</sub>	Evap. s <sub>fg</sub>	Vapor sat. s <sub>g</sub>
0.01	0.6113	0.001 000	206.14	.00	2375.3	2375.3	.01	2501.3	2501.4	.0000	9.1562	9.1562
5	0.8721	0.001 000	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	0.001 000	106.38	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	.1510	8.7498	8.9008
15	1.7051	0.001 001	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	.2245	8.5569	8.7814
20	2.339	0.001 002	57.79	83.95	2319.0	2402.9	83.95	2454.1	2538.1	.2966	8.3706	8.6672
25	3.169	0.001 003	43.36	104.88	2304.9	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	.3674	8.1905	8.5580
30	4.246	0.001 004	32.89	125.78	2290.6	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	.4369	8.0164	8.4533
35	5.628	0.001 006	25.22	146.67	2276.7	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	.5053	7.8478	8.3531
40	7.384	0.001 008	19.52	167.56	2262.6	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	.5725	7.6845	8.2570
45	9.593	0.001 010	15.26	188.44	2248.4	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	.6387	7.5261	8.1646
50	12.349	0.001 012	12.03	209.32	2234.2	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	.7038	7.3725	8.0763
55	15.758	0.001 015	9.568	230.21	2219.9	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	.7679	7.2234	7.9913
60	19.940	0.001 017	7.671	251.11	2205.5	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	.8312	7.0784	7.9096
65	25.03	0.001 020	6.197	272.02	2191.1	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	.8935	6.9375	7.8310
70	31.19	0.001 023	5.042	292.95	2176.6	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	.9549	6.8004	7.7553
75	38.58	0.001 026	4.131	313.90	2162.0	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	6.6669	7.6824
80	47.35	0.001 029	3.407	334.86	2147.4	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	6.5369	7.6122
85	57.83	0.001 033	2.828	355.84	2132.6	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	6.4102	7.5445
90	70.14	0.001 036	2.361	376.85	2117.7	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	6.2866	7.4791
95	84.55	0.001 040	1.982	397.88	2102.7	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	6.1659	7.4159
MPa												
100	0.101 35	0.001 044	1.6729	418.94	2087.6	2506.5	418.94	2257.0	2676.1	1.3069	6.0480	7.3549
105	0.120 82	0.001 048	1.4194	440.02	2072.3	2512.4	440.15	2243.7	2683.8	1.3630	5.9328	7.2958
110	0.145 27	0.001 052	1.2102	461.14	2057.0	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	5.8202	7.2387
115	0.169 06	0.001 056	1.0366	482.30	2041.4	2523.7	482.48	2216.5	2699.0	1.4734	5.7100	7.1833
120	0.198 53	0.001 060	0.8919	503.50	2025.8	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	5.6020	7.1256
125	0.2321	0.001 065	0.7706	524.74	2009.9	2534.6	524.99	2188.5	2713.5	1.5813	5.4962	7.0775
130	0.2701	0.001 070	0.6685	546.02	1993.9	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	5.3925	7.0269
135	0.3130	0.001 075	0.5822	567.35	1977.7	2545.0	567.69	2159.6	2727.3	1.6870	5.2907	6.9777
140	0.3613	0.001 080	0.5089	588.74	1961.3	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	5.1908	6.9299
145	0.4154	0.001 085	0.4463	610.18	1944.7	2554.9	610.63	2129.6	2740.3	1.7907	5.0926	6.8833
150	0.4758	0.001 091	0.3928	631.68	1927.9	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	4.9960	6.8379
155	0.5431	0.001 096	0.3468	653.24	1910.8	2564.1	653.84	2098.5	2752.4	1.8925	4.9010	6.7935
160	0.6178	0.001 102	0.3071	674.87	1893.5	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	4.8075	6.7502
165	0.7005	0.001 108	0.2727	696.56	1876.0	2572.5	697.34	2066.2	2763.5	1.9925	4.7153	6.7078
170	0.7917	0.001 114	0.2428	718.33	1858.1	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	4.6244	6.6663
175	0.8920	0.001 121	0.2168	740.17	1840.0	2580.2	741.17	2032.4	2773.6	2.0909	4.5347	6.6256
180	1.0021	0.001 127	0.194 05	762.09	1821.6	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	4.4461	6.5857
185	1.1227	0.001 134	0.174 09	784.10	1802.9	2587.0	785.37	1997.1	2782.4	2.1879	4.3586	6.5465
190	1.2544	0.001 141	0.156 54	806.19	1783.8	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	4.2720	6.5079
195	1.3978	0.001 149	0.141 05	828.37	1764.4	2592.8	829.98	1960.0	2790.0	2.2835	4.1863	6.4698
200	1.5538	0.001 157	0.127 36	850.65	1744.7	2595.3	852.45	1940.7	2793.2	2.3309	4.1014	6.4323
205	1.7230	0.001 164	0.115 21	873.04	1724.5	2597.5	875.04	1921.0	2796.0	2.3780	4.0172	6.3952
210	1.9062	0.001 173	0.104 41	895.53	1703.9	2599.5	897.76	1900.7	2798.5	2.4248	3.9337	6.3585
215	2.104	0.001 181	0.094 79	918.14	1682.9	2601.1	920.62	1879.9	2800.5	2.4714	3.8507	6.3221
220	2.318	0.001 190	0.086 19	940.87	1661.5	2602.4	943.62	1858.5	2802.1	2.5178	3.7683	6.2861
225	2.548	0.001 199	0.078 49	963.73	1639.6	2603.3	966.78	1836.5	2803.3	2.5639	3.6863	6.2503
230	2.795	0.001 209	0.071 58	986.74	1617.2	2603.9	990.12	1813.8	2804.0	2.6099	3.6047	6.2146
235	3.060	0.001 219	0.065 37	1009.89	1594.2	2604.1	1013.62	1790.5	2804.2	2.6558	3.5233	6.1791
240	3.344	0.001 229	0.059 76	1033.21	1570.8	2604.0	1037.32	1766.5	2803.8	2.7015	3.4422	6.1437
245	3.648	0.001 240	0.054 71	1056.71	1546.7	2603.4	1061.23	1741.7	2803.0	2.7472	3.3612	6.1083
250	3.973	0.001 251	0.050 13	1080.39	1522.0	2602.4	1085.36	1716.2	2801.5	2.7927	3.2802	6.0730
255	4.319	0.001 263	0.045 98	1104.28	1496.7	2600.9	1109.73	1689.8	2799.5	2.8383	3.1992	6.0375
260	4.688	0.001 276	0.042 21	1128.39	1470.6	2599.0	1134.37	1662.5	2796.9	2.8838	3.1181	6.0019
265	5.081	0.001 289	0.038 77	1152.74	1443.9	2596.6	1159.28	1634.4	2793.6	2.9294	3.0368	5.9662
270	5.499	0.001 302	0.035 64	1177.36	1416.3	2593.7	1184.51	1605.2	2789.7	2.9751	2.9551	5.9301
275	5.942	0.001 317	0.032 79	1202.25	1387.9	2590.2	1210.07	1574.9	2785.0	3.0208	2.8730	5.8938
280	6.412	0.001 332	0.030 17	1227.46	1358.7	2586.1	1235.99	1543.6	2779.6	3.0668	2.7903	5.8571
285	6.909	0.001 348	0.027 77	1253.00	1328.4	2581.4	1262.31	1511.0	2773.3	3.1130	2.7070	5.8199
290	7.436	0.001 366	0.025 57	1278.92	1297.1	2576.0	1289.07	1477.1	2766.2	3.1594	2.6227	5.7821
295	7.993	0.001 384	0.023 54	1305.2	1264.7	2569.9	1316.3	1441.8	2758.1	3.2062	2.5375	5.7437
300	8.581	0.001 404	0.021 67	1332.0	1231.0	2563.0	1344.0	1404.9	2749.0	3.2534	2.4511	5.7045
305	9.202	0.001 425	0.019 948	1359.3	1195.9	2555.2	1372.4	1366.4	2738.7	3.3010	2.3633	5.6643
310	9.856	0.001 447	0.018 350	1387.1	1159.4	2546.4	1401.3	1326.0	2727.3	3.3493	2.2737	5.6230
315	10.547	0.001 472	0.016 867	1415.5	1121.1	2536.6	1431.0	1283.5	2714.5	3.3982	2.1821	5.5804
320	11.274	0.001 499	0.015 488	1444.6	1080.9	2525.5	1461.5	1238.6	2700.1	3.4480	2.0882	5.5362
325	12.045	0.001 526	0.014 296	1505.3	993.7	2498.9	1525.3	1140.6	2665.9	3.5507	1.9909	5.4417
330	12.845	0.001 558	0.013 297	1570.3	894.3	2464.6	1591.2	1027.9	2622.0	3.6594	1.8763	5.3357
335	13.651	0.001 594	0.012 361	1641.9	776.5	2418.4	1670.0	893.4	2563.9	3.7777	1.7435	5.2122
340	14.546	0.001 634	0.011 597	1720.2	626.3	2351.5	1760.5	720.5	2481.0	3.9147	1.5379	5.0326
345	15.513	0.001 683	0.010 923	1844.0	384.5	2228.5	1896.5	441.6	2332.1	4.1106	0.8863	4.7921
350	18.651	0.002 213	0.004 923	2029.6	0	2029.6	2029.6	0	2029.6	4.4298	0	4.4298

## Anexo 13. Propiedades del aire

$T, ^\circ K$	$\rho$ $kg/m^3$	$c_p$ $kJ/kg \cdot ^\circ C$	$\mu$ $kg/m \cdot s$ $\times 10^4$	$\nu$ $m^2/s$ $\times 10^6$	$k$ $W/m \cdot ^\circ C$	$\alpha$ $m^2/s$ $\times 10^4$	$Pr$
100	3.6010	1.0266	0.6924	1.923	0.009246	0.02501	0.770
150	2.3675	1.0099	1.0283	4.343	0.013735	0.05745	0.753
200	1.7684	1.0061	1.3289	7.490	0.01809	0.10165	0.739
250	1.4128	1.0053	1.488	9.49	0.02227	0.13161	0.722
-300	-1.1774	1.0057	1.983	15.68	0.02624	0.22160	*0.708
-350	*0.9980	1.0090	2.075	20.76	0.03003	0.2983	*0.697
400	0.8826	1.0140	2.286	25.90	0.03365	0.3760	0.689
450	0.7833	1.0207	2.484	28.86	0.03707	0.4222	0.683
500	0.7048	1.0295	2.671	37.90	0.04038	0.5564	0.680
550	0.6423	1.0392	2.848	44.34	0.04360	0.6532	0.680
600	0.5879	1.0551	3.018	51.34	0.04659	0.7512	0.680
650	0.5430	1.0635	3.177	58.51	0.04953	0.8578	0.682
700	0.5030	1.0752	3.332	66.25	0.05230	0.9672	0.684
750	0.4709	1.0856	3.481	73.91	0.05509	1.0774	0.686
800	0.4405	1.0978	3.625	82.29	0.05779	1.1951	0.689
850	0.4149	1.1095	3.765	90.75	0.06028	1.3097	0.692
900	0.3925	1.1212	3.899	99.3	0.06279	1.4271	0.696
950	0.3716	1.1321	4.023	108.2	0.06525	1.5510	0.699
1000	0.3524	1.1417	4.152	117.8	0.06752	1.6779	0.702
1100	0.3204	1.160	4.44	138.6	0.0732	1.969	0.704
1200	0.2947	1.179	4.69	159.1	0.0782	2.251	0.707
1300	0.2707	1.197	4.93	182.1	0.0837	2.583	0.705
1400	0.2515	1.214	5.17	205.5	0.0891	2.920	0.705
1500	0.2355	1.230	5.40	229.1	0.0946	3.262	0.705
1600	0.2211	1.248	5.63	254.5	0.100	3.609	0.705
1700	0.2082	1.267	5.85	280.5	0.105	3.977	0.705
1800	0.1970	1.287	6.07	308.1	0.111	4.379	0.704
1900	0.1858	1.309	6.29	338.5	0.117	4.811	0.704
2000	0.1762	1.338	6.50	369.0	0.124	5.260	0.702
2100	0.1682	1.372	6.72	399.6	0.131	5.715	0.700
2200	0.1602	1.419	6.93	432.6	0.139	6.120	0.707
2300	0.1538	1.482	7.14	464.0	0.149	6.540	0.716
2400	0.1458	1.574	7.35	504.0	0.161	7.020	0.718
2500	0.1394	1.688	7.57	543.5	0.175	7.441	0.730

**Anexo 14.** Correlación de convección libre para superficies verticales. (Curva de valores de Nusselt)



**Anexo 15.** Datos para consumo de potencia de los agitadores - mezcladores

<b>Tipos de Agitadores</b>	<b>Valores de K</b>
Agitador de hélice, tres paletas, paso = diámetro	0.32
Agitador de hélice, tres paletas, paso = dos diámetro	1.00
Agitador de turbina, cuatro paletas, planas	6.30
Agitador de turbina, seis paletas, planas	6.30
Ventilador de turbina, seis paletas inclinadas 45°	1.65
Turbina cubierta, estator de anillo	1.12
Paletas planas, dos paletas (paleta sencilla), $D / W = 4$	2.25
Paletas planas, dos paletas, $D / W = 6$	1.60
Paletas planas, dos paletas, $D / W = 8$	1.15
Paletas planas, dos paletas, $D / W = 6$	2.75
Paletas planas, dos paletas $D / W = 6$	3.25

FUENTE: Badger y Banchemo, Introducción a la Ingeniería Química, pág. 636.